

УДК 528.48; 631.4

© **В.Г. Бурачек**, д-р техн. наук, професор;
Т.Н. Малик, старший преподаватель;
А.С. Олинович, старший преподаватель;
А.Л. Прокопенко, доцент, канд. техн. наук

Университет новейших технологий, г. Киев

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ С ТЕХНОГЕННООПАСНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ЗА СЧЕТ АВТОМАТИЗАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В статье рассмотрен вариант экологической безопасности техногенноопасных территорий при применении автоматической системы контроля геометрических параметров инженерных объектов в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: двойная фотоэлектрическая цепочка, контроль сооружений.

Актуальность темы исследования. Разрушения инженерных сооружений или их конструктивных частей в большинстве случаев приводят к потере ценностей или даже к человеческим жертвам. В свою очередь, непосредственное возникновение чрезвычайной ситуации приводит к извлечению из бюджета больших средств на ликвидацию ее последствий. В связи с этим проблема контроля состояния конструкций сооружений и своевременное предупреждение о возникновении опасной ситуации в сооружении является актуальным и обуславливает появление новых способов и систем оперативного автоматического контроля. Именно контроль пространственного положения конструкций с частотой, учитывающей динамику деформаций сооружений, позволяющий прогнозировать аварии, дающий возможность своевременно принять меры по укреплению сооружения, ремонту его элементов играет важную роль в правильной эксплуатации инженерных сооружений.

Постановка проблемы. Известно немало случаев значительного и даже полного разрушения покрытий, приводящих к частичному разрушению или полной непригодности инженерного сооружения. За последние годы часто рушатся уникальные сооружения, например, покрытия стадионов (2010 г. – повреждение покрытия футбольного стадиона «Шальке», Германия; 2010 г. – полное разрушение покрытия стадиона в г. Миннеаполисе, США; 2011 г. – повреждение покрытия стадиона в нидерландском городе Энсхед), торговоразвлекательные заведения (2010 г. – обвал покрытия супермаркета Теско в г. Скенторп, Англия; 2006 г. – разрушено покрытие ледового комплекса в г. Бад-Райхенхаль, Бавария, Германия), складские сооружения, аэропорты (2004 г. – разрушено покрытие терминала 2Е аэропорта Шарль де Голль, Париж, Франция). В Украине и России также происходят случаи

разрушения покрытий сооружений. Например, разрушение покрытий развлекательных и торговых центров (2011 г. – обвал покрытия в торговом центре Sky Mall в Киеве, 2010 г. – обвал покрытия продуктового рынка в г. Боярка Киевской области, 2004 г. – обвал покрытия аквапарка «Трансвааль-парк» в Москве, 2011 г. – обвал стеклянного покрытия торгового центра «О'кей» в Санкт-Петербурге).

Именно вследствие конструктивных ошибок, экономии на качественном оборудовании и материалах, бесконтрольного использования сооружений разрушаются сложные инженерные сооружения, их элементы, что приводит к потере ценностей и человеческим жертвам.

Анализ статистических данных по поводу причин крупных промышленных экологических аварий в Европе свидетельствует, что более 85% из них случаются из-за недостатков систем управления безопасностью (СУБ). Предъявление новых требований, касающихся защиты населения и окружающей среды, привело к появлению директивы Совета ЕС 96/82/ЕС от 9 декабря 1996 г. «О предотвращении крупных аварий на объектах, где используются опасные вещества» (Севезо II) [1].

Конечно, украинское законодательство тоже обеспечено некоторыми законами Украины, касающимися экологической и техногенной безопасности. Так, в законе Украины «Об основах национальной безопасности Украины» [2] среди приоритетов национальных интересов Украины наряду с «сохранением и укреплением научно-технологического потенциала, утверждением инновационной модели развития» сосредоточено внимание на «обеспечении техногенно-безопасных условий жизнедеятельности граждан и общества». Однако, как составляющая национальной безопасности Украины экологическая и техногенная безопасность в указанном Законе не выделена в отдельную сферу. На сегодняшний день в украинской законодательной базе отсутствует как Концепция, так и Стратегия обеспечения экологической и техногенной безопасности.

На данное время центральным правовым актом в этой области является Закон Украины «Об объектах повышенной опасности». Появление этого закона является логичным результатом процесса гармонизации украинского законодательства с европейским и прямым влиянием Директивы Севезо II. На данное время Закон Украины «Об объектах повышенной опасности» является украинской копией Директивы Севезо II, а по своему правовому статусу – фактически играет роль Закона «О техногенной безопасности». Но из поля зрения этого закона выпадают другие виды опасных объектов, на которых отсутствуют опасные вещества и на которых, соответственно Постановлению Кабинета Министров Украины «О порядке квалификации чрезвычайных ситуаций» [3], могут произойти следующие ситуации:

- 1) транспортные аварии,
- 2) внезапное разрушение сооружений,
- 3) аварии на электроэнергетических системах,
- 4) аварии на системах жизнеобеспечения;
- 5) аварии систем связи и телекоммуникаций,
- 6) аварии на очистных сооружениях,
- 7) гидродинамические аварии.

Кроме того, для Украины характерно свое типовое распределение чрезвычайных ситуаций экологического характера, которое сохраняется на протяжении длительного периода. На примере данных за 2003 год [4]:

- 1) аварии на транспорте – 31%;
- 2) пожары, взрывы – 39%;
- 3) аварии на системах жизнеобеспечения – 14%;
- 4) внезапное разрушение сооружений – 5%;
- 5) аварии в электроэнергетических системах – 5%;
- 6) присутствие в окружающей среде вредных веществ – 3%;
- 7) аварии с выбросом (угрозой выброса) опасных химических веществ (кроме аварий на транспорте) – 1%;
- 8) аварии с выбросом (угрозой выброса) радиоактивных веществ (кроме аварий на транспорте) – 1%;
- 9) аварии на очистных сооружениях – 1%.

Из статистических данных видно, процент аварий, не связанных с использованием химических веществ, весьма высок. Общая изношенность инженерных сооружений, конструкций, оборудования и инженерных сетей во всех секторах экономики, в случае отсутствия срочных мер, может изменить это распределение также за счет потенциально опасных объектов не «химического» профиля. Существует неприятный прогноз увеличения аварий типа «внезапное разрушение сооружений».

Таким образом, для уменьшения последствий аварий и повышения экологической безопасности необходимо разрабатывать новые методы контроля геометрического состояния сооружений, которые бы позволили проводить автоматизированный мониторинг в реальном масштабе времени.

Различные способы и методы контроля объектов с повышенным уровнем экологической и техногенной опасности, в первую очередь, должны быть направлены на предотвращение или снижение вероятности возникновения экологических и техногенных катастроф.

Одним из важнейших способов контроля экологических и техногенных аварий является мониторинг, т.е. постоянное наблюдение за объектами с повышенной вероятностью возникновения аварий. Задачей мониторинга является сбор данных для точного анализа и прогноза поведения объектов при чрезвычайной ситуации.

В статье предложена система автоматизированного контроля инженерных сооружений с повышенной техногенной и экологической опасностью, таких как гидротехнические комплексы, АЭС, плотины, каналы, шахты, предприятия химической и нефтехимической промышленности, магистральные нефте-газопроводы и др.

Обзор предыдущих публикаций. В настоящее время контроль геометрии сложных инженерных сооружений производится как традиционными, так и современными методами и средствами. Классические общеизвестные методы определения деформаций сооружений основаны на геодезических методах [5] (методах высокоточного нивелирования [6], гидро-статического и тригонометрического нивелирования), фотограмметрических методах [7],

методе теодолитного хода [8]. На сьогоднішній день найбільше застосування отримали сучасні методи, засновані на використанні сучасних геодезических приладів. Найдорожчим і найшвидшим способом визначення геометричних параметрів інженерних споруд – лазерне сканування. Більш розповсюджені сучасні засоби для визначення деформацій інженерних споруд – це GPS-приймачі, оптико-електронні тахеометри і різноманітні датчики деформацій (волоконно-оптичні датчики деформацій, поверхнісні нахиломери, струнні тензодатчики, прямий і зворотний отвеси) [9, 10, 11].

Загальним недоліком традиційних методів визначення деформацій є великий обсяг ручних (візуальних) вимірювань і налаштування приладів, складність використання цих методів при автоматичному або автоматизованому моніторингу споруди. Недоліком майже всіх сучасних методів контролю інженерних споруд – це неможливість отримання даних контролю в реальному режимі часу. Виняток становлять роботизовані електронні тахеометри, що працюють на конкретному об'єкті в режимі реального часу. Недоліком цього способу є те, що один або декілька дуже дорогих тахеометрів будуть задіяні тільки на одному об'єкті.

Отже, якщо забезпечити геодезический контроль просторового положення конструкцій з частотою, враховуючою динаміку деформацій споруд, і прогнозувати аварії, то можна своєчасно прийняти заходи по зміцненню споруди, ремонту її елементів або, в крайньому випадку, – в момент виникнення і розвитку недопустимих деформацій – евакуйовувати людей, цінні вантажі, матеріали, обладнання і т.д. В свою чергу, безпосереднє виникнення надзвичайної ситуації призводить до витрат з бюджету великих коштів на ліквідацію її наслідків.

Постановка завдання. Метою запропонованого способу є автоматизований моніторинг екологічних і техногенно небезпечних об'єктів.

Методика дослідження. Коротко ознайомимося з методикою побудови точного приладу з назвою «Двійна фотоелектрична ланка (ДФЕЦ)» для контролю створу [12].

На рис. 1 зображені основні блоки на лінійному ділянці інженерної споруди [12], де позначено:

- 1*, n – прилади ДФЕЦ;
- 5 – блок управління;
- 6 – блок реєстрації і обробки інформації;
- 7 – блок перетворення інформації;
- 8 – блок прийому і передачі інформації;
- 9 – блок запису і зберігання інформації.

Пучки світла між приладами ДФЕЦ позначені товстими лініями зі стрілками, що вказують на напрямку променів світла від джерел світла до приймачів (цифрових камер). На схемі (рис. 1) відображені дві фотоелектричні ланки: верхня і нижня (прилади 1*... n-1*).

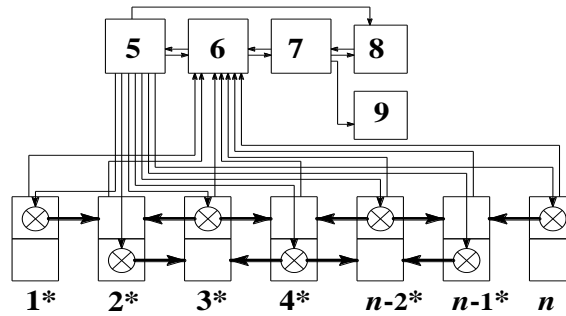


Рис. 1 – Основные электронные блоки системы

Каждое такое устройство, входящее в систему [12], размещено на участке между блоками опорных геодезических знаков-реперов (на рис. 1 это опорные знаки приборов 1*, 2* и n-1*, n). Каждый блок 1*,n установлен на стабильной основе в месте нахождения деформационной марки и жестко соединен с последней. Все блоки идентичны. Строение оптико-электронного прибора точной ДФЭЦ схематически представлено на рис. 2 [13, 18], где обозначено:

- 10 – объективы цифровых фотокамер;
- 11 – фотоприемные матрицы с усилителями;
- 12 – двусторонний источник света;
- 13 – лучи света от источника света 12, идущие в объективы цифровых фотокамер соседних блоков;
- 14 – лучи света, идущие от источника света 12;
- 15 – корпус блока, в котором жестко закреплены все элементы 10, 11, 12.

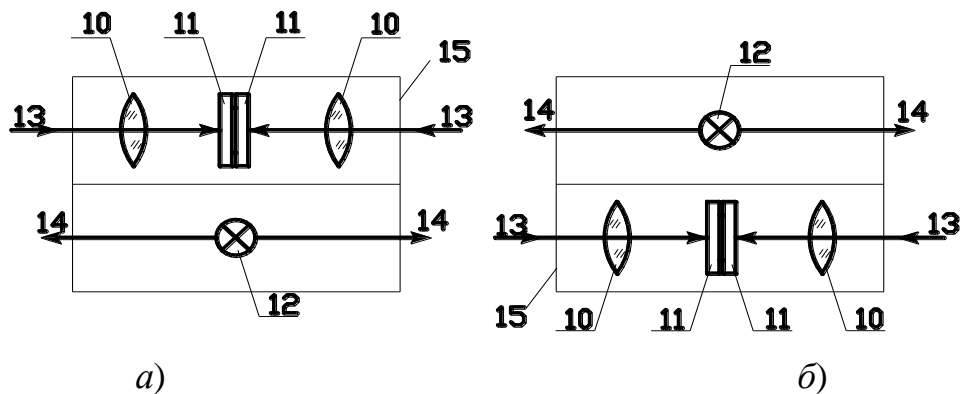


Рис. 2 – Строение прибора точной ДФЭЦ

Приборы 1 ... n ДФЭЦ жестко установлены своими корпусами 15 на конструкциях инженерного сооружения и, по сути, являются деформационными реперами (марками), при этом соседние приборы чередуются так, как это показано на рис. 2. Геометрическая ось светового потока совпадает или параллельна общей оптической оси системы, и изображение источников света 12, сформированное каждым объективом, будет находиться в определенной точке рабочей мишени соответствующего многоэлементного фотоприемника. Чтобы

измерить величину изменения наклона световых лучей, необходимо измерить величину линейного смещения изображения пучка лучей, сформированного объективом, в рабочей плоскости фотоприемника. При включении системы ДФЭЦ световые потоки от источников света (фильтрующихся диафрагмами в светопроводы) падают на объективы, которые фокусируют изображение источников света на мишенях фотоприемников.

В фотоэлектрических каналах двух фотоэлектрических цепочек с фотоприемников в блок поступают электрические сигналы о величинах отклонений изображений источников света от номинального положения, введенных в память устройства (в блок 9) при первичном включении двойной цепочки.

При горизонтальном размещении оси схемы ДФЭЦ (13, 10, 11, 11, 10, 13) (рис. 2) получаем сумму отсчетов на фотоприемниках (матрицах) 11, которые равны нулю. Очевидно, что при отклонении блока источника света 12 на величину Δ световой луч от источника 12 войдет в объектив цифровой фотокамеры блока 10 под углом γ и на фотоприемнике (матрице) 11 будет снят отсчет "-a".

Очевидно, что $\Delta = -S \cdot \text{tg } \gamma$, а $\Delta = -f'_1 \cdot \text{tg } \gamma$. При этом, учитывая малость углов и пренебрегая погрешностями второго и выше порядков, можно записать $\Delta = \frac{S}{f'_1} a$. Напомним, что a – отсчет в пикселях, а Δ – отклонение деформационной марки в мм.

Очевидно, что с матрицы i -го прибора ДФЭЦ будет получен отсчет, равный сумме: $\varpi_i = -a_{i-1} + 2a_i - a_{i+1}$, что соответствует сумме отклонений $+\Delta_{i-1} - 2\Delta_i + 2\Delta_{i+1}$.

Рассмотрим взаимосвязь отсчетов положения изображений источников света на фотоприемных матрицах приборов ДФЭЦ. В таблице 1 показаны суммы на матрицах приборов ДФЭЦ, содержащих 9 точек, из которых точки 1, 2 и 8, 9 – опорные реперы.

Таблица 1 – Содержание суммарных отсчетов на матрицах ДФЭЦ

| № приборов ДФЭЦ Отсчеты ϖ_i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| ϖ_2 | $-a_1$ | $+2a_2$ | $-a_3$ | | | | | | |
| ϖ_3 | | $-a_2$ | $+2a_3$ | $-a_4$ | | | | | |
| ϖ_4 | | | $-a_3$ | $+2a_4$ | $-a_5$ | | | | |
| ϖ_5 | | | | $-a_4$ | $+2a_5$ | $-a_6$ | | | |
| ϖ_6 | | | | | $-a_5$ | $+2a_6$ | $-a_7$ | | |
| ϖ_7 | | | | | | $-a_6$ | $+2a_7$ | $-a_8$ | |
| ϖ_8 | | | | | | | $-a_7$ | $+2a_8$ | $-a_9$ |
| $\sum \varpi_i$ | $-a_1$ | $+a_2$ | | | | | | $+a_8$ | $-a_9$ |

Таблиця 2 – Содержание значений отклонений ДФЭЦ, соответствующих отсчетам ϖ_i

| № приборов ДФЭЦ / Отсчеты ϖ_i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| ϖ_2 | $+\Delta_1$ | $-2\Delta_2$ | $+\Delta_3$ | | | | | | |
| ϖ_3 | | $+\Delta_2$ | $-2\Delta_3$ | $+\Delta_4$ | | | | | |
| ϖ_4 | | | $+\Delta_3$ | $-2\Delta_4$ | $+\Delta_5$ | | | | |
| ϖ_5 | | | | $+\Delta_4$ | $-2\Delta_5$ | $+\Delta_6$ | | | |
| ϖ_6 | | | | | $+\Delta_5$ | $-2\Delta_6$ | $+\Delta_7$ | | |
| ϖ_7 | | | | | | $+\Delta_6$ | $-2\Delta_7$ | $+\Delta_8$ | |
| ϖ_8 | | | | | | | $+\Delta_7$ | $-2\Delta_8$ | $+\Delta_9$ |
| $\sum \varpi_i$ | $+\Delta_1$ | $-\Delta_2$ | | | | | | $-\Delta_8$ | $+\Delta_9$ |

В таблице 1 обозначено $\sum \varpi_i = -a_1 + a_2 + a_8 - a_9$, что соответствует содержанию значений $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_8, \Delta_9$ положения опорных знаков с известными координатами в таблице 2.

Отсчеты на матрице ϖ_i образованы суммами углов $\gamma_{i-1}, \dots, \gamma_{i+1}$, при этом углы $180^\circ - |\varpi_i|$ в полигонометрическом ходе на рис. 3 – это правые углы, а $180^\circ + |\varpi_i|$ – левые углы.

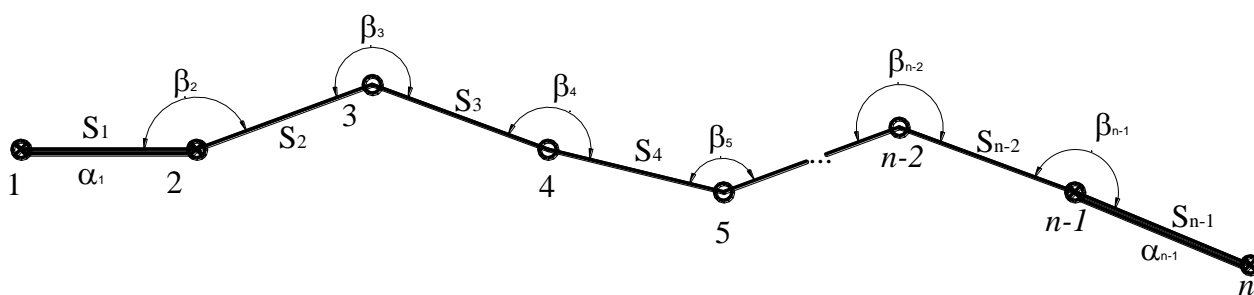


Рис. 3 – Схема разомкнутого хода полигонометрии, опирающегося на два базиса

1, 2, ..., n – пункты хода полигонометрии;

1–2 і n–1 – n – базисы;

S_1, \dots, S_n – стороны хода полигонометрии;

$\beta_2, \beta_3, \dots, \beta_{n-1}$ – углы, измеряемые между направлениями сторон хода;

α_1 і α_{n-1} – исходные дирекционные углы.

Суть метода высокоточной ДФЭЦ для контроля створа. Представим схематически фрагмент высокоточной ДФЭЦ для контроля створа инженерных конструкций (рис. 4). Высокоточная ДФЭЦ состоит из двух створных линий, параллельных друг другу [14].

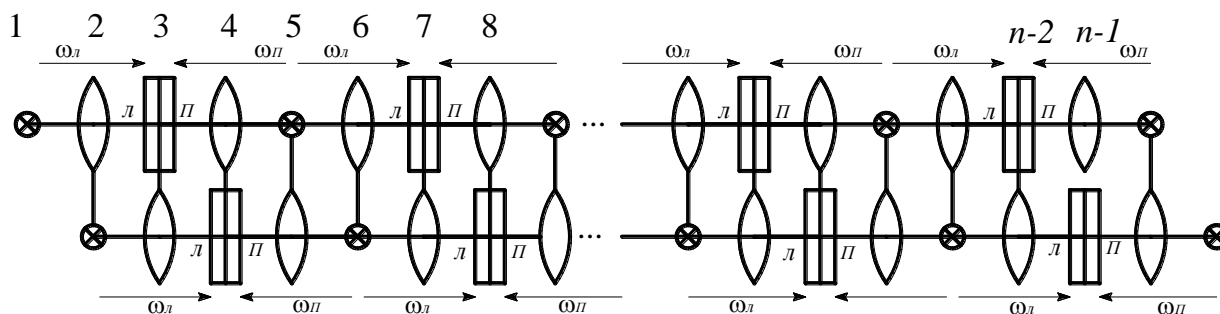


Рис. 4 – Схема фрагмента высокоточной ДФЭЦ для контроля створа

На рис. 4 обозначены:

- 1 – источник света;
- 2 – объектив цифровой камеры верхней линии ДФЭЦ, которая соединена с источником света нижней линии;
- 3 – фотоприемник (двойная матрица) и объектив цифровой камеры;
- 4 – объектив цифровой камеры и фотоприемник (двойная матрица);
- 5 – источник света и объектив цифровой камеры;
- 6 – как позиция 2, т.е. объектив цифровой камеры и источник света;
- 7 – как позиция 3;
- 8 – как позиция 4;
- $n-1$ – как позиция 3 или 7;
- n – как позиция 4 или 8 [14].

Перечисленные блоки 1... n – это жестко соединенные в едином корпусе элементы приборов ДФЭЦ. Отличия от варианта точной сети ДФЭЦ следующие:

- чередование элементов (объектив, источник света, двойная матрица) друг с другом и по расположению в верхней и нижней линиях;
- как видно из рис. 4, образованные элементами цифровые камеры имеют большие фокусные расстояния – до единиц метров, за счет чего существенно повышается точность измерений.

На рис. 4 показан принцип работы высокоточной ДФЭЦ, который заключается в следующем: световой луч от источника света 1 проходит через объектив 2 и попадает на фотоприемную двойную матрицу 3 $л$, с которой снимается отсчет $\varpi_{3л}$, (направление такого светового луча – слева направо – обозначим условно $л$). Направление стрелки справа налево (обозначим условно $П$) – световой луч от источника света 5 проходит через объектив 4 и попадает на фотоприемную двойную матрицу 3 $П$, с которой снимается отсчет $\varpi_{3П}$. Аналогично работает вся цепочка.

Составим таблицу 3 для отсчетов ϖ'_i на левых и правых фотоприемных матрицах приборов ДФЭЦ, изображенных на рис. 4, что состоит из 10 деформационных марок.

Анализ данных таблицы 3 позволяет сделать следующие выводы:

1. В общем случае отклонения световых лучей источников света для каждой левой и правой фотоприемных матриц приборов ДФЭЦ будут следствием суммы отклонений деформационных марок в каждом канале «источник света – объектив цифровой камеры – фотоприемная матрица (левая или правая)»

2. Очевидно, что отсчет по каждой из фотоприемных матриц будет содержать величины a_i , соответствующие отклонениям Δ_i :

$$\varpi'_{\text{Лi}} = -a_{i-2} + 2a_{i-1} - a_i,$$

$$\varpi'_{\text{Пi}} = -a_i + 2a_{i+1} - a_{i+2}.$$

3. Также очевидно, что отсчет по каждой из фотоприемных матриц соответствует сумме отсчетов по двойным фотоприемным матрицам в точной системе ДФЭЦ (табл. 3) и несет информацию про угол при вершине полигонометрических ходов.

Таблица 3 – Содержание измеренных значений отсчетов ϖ'_i для высокоточной ДФЭЦ (рис. 4)

| № приборов ДФЭЦ Отсчеты ϖ'_i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| ϖ'_2 | $-a_1$ | $+2a_2$ | $-a_3$ | | | | | | | |
| ϖ'_4 | | | $-a_3$ | $+2a_4$ | $-a_5$ | | | | | |
| ϖ'_3 | | $-a_2$ | $+2a_3$ | $-a_4$ | | | | | | |
| ϖ'_5 | | | | $-a_4$ | $+2a_5$ | $-a_6$ | | | | |
| ϖ'_6 | | | | | $-a_5$ | $+2a_6$ | $-a_7$ | | | |
| ϖ'_8 | | | | | | | $-a_7$ | $+2a_8$ | $-a_9$ | |
| ϖ'_7 | | | | | | $-a_6$ | $+2a_7$ | $-a_8$ | | |
| ϖ'_9 | | | | | | | | $-a_8$ | $+2a_9$ | $-a_{10}$ |
| $\sum \varpi'_i$ | $-a_1$ | $+a_2$ | | | | | | | $+a_9$ | $-a_{10}$ |

В таблице 3 обозначено:

ϖ'_i – отсчеты на матрицах приборов ДФЭЦ;

a_i – составляющие отсчетов ϖ'_i на матрицах приборов ДФЭЦ.

Таблиця 4 – Значения отсчетов на матрицах, которые соответствуют величинам суммарных отклонений Δ_i в ДФЭЦ

| № приборов ДФЭЦ Отклонение ϖ_i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| ϖ'_2 | $+\Delta_1$ | $-2\Delta_2$ | $+\Delta_3$ | | | | | | | |
| ϖ'_4 | | | $+\Delta_3$ | $-2\Delta_4$ | $+\Delta_5$ | | | | | |
| ϖ'_3 | | $+\Delta_2$ | $-2\Delta_3$ | $+\Delta_4$ | | | | | | |
| ϖ'_5 | | | | $+\Delta_4$ | $-2\Delta_5$ | $+\Delta_6$ | | | | |
| ϖ'_6 | | | | | $+\Delta_5$ | $-2\Delta_6$ | $+\Delta_7$ | | | |
| ϖ'_8 | | | | | | | $+\Delta_7$ | $-2\Delta_8$ | $+\Delta_9$ | |
| ϖ'_7 | | | | | | $+\Delta_6$ | $-2\Delta_7$ | $+\Delta_8$ | | |
| ϖ'_9 | | | | | | | | $+\Delta_8$ | $-2\Delta_9$ | $+\Delta_{10}$ |
| $\sum \varpi'_i$ | $+\Delta_1$ | $-\Delta_2$ | | | | | | | $-\Delta_9$ | $+\Delta_{10}$ |

В таблице 4 обозначено:

Δ_i – отклонения деформационных марок в приборах ДФЭЦ.

Конечно, сумма отклонений $\sum_{i=3}^{n-2} \varpi'_i$ определит невязку, которую обозначим как f_H . Невязка f_H распределяется между значениями отклонений пунктов 3, 4, ..., $n-2$ по высоте согласно классическим методам геодезии [15, 16]. Также необходимо отметить, что каждое значение отклонений Δ_i на пунктах 3, 4, ..., $n-2$ будет содержать случайную погрешность σ_{Δ} .

Если выполнить сравнение таблиц определения отклонений точной ДФЭЦ (табл. 2) и высокоточной ДФЭЦ (табл. 4), то можно обратить внимание, что сумма отклонений ϖ_i из таблицы 2 по двум матрицам равна сумме отклонений по каждой из двух матриц (левой и правой) из таблицы 4.

Таким образом, из таблицы 3 следует, что сумма отсчетов в ДФЭЦ будет равна

$$\sum \varpi'_i = -a_1 + a_2 + a_9 - a_{10},$$

а из таблицы 4 следует, что сумма отклонений будет равна

$$+\Delta_1 - \Delta_2 - \Delta_9 + \Delta_{10},$$

где значения $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_9, \Delta_{10}$ – известные координаты опорных геодезических знаков, а величины отклонений $\Delta_3 \dots \Delta_8$ ($\Delta_8 = \Delta_{n-2}$) – значения отклонений от номинальных для блоков 3, ..., 8 ($8 = n - 2$) [14].

Аналогично варианту точной ДФЭЦ, суммы отсчетов по двум матрицам каждого прибора ДФЭЦ являются результатом измерения углов при вершинах хода. При равных расстояниях $S_1 = S_2 = \dots = S$ из выражения для вытянутого хода полигонометрии, опирающегося на базисы 1–2 і $n-1 - n$ (рис. 3), получим координаты других точек по классическим формулам геодезии [17].

Выводы. Методика высокоточной ДФЭЦ позволяет осуществлять контроль пространственного геометрического положения элементов сложных инженерных сооружений во время эксплуатации, позволяет предсказать критические линейные и угловые медленные изменения положения сооружения и предупредить о приближении повреждения в реальном масштабе времени с точным обозначением определенного участка для оперативного реагирования, в итоге обеспечивает экологическую и техногенную безопасность сложных инженерных сооружений. Методика исключает дорогие и ручные (визуальные) геодезические измерения.

Список использованной литературы

1. Council Directive 82/501/EEC (Seveso I) of 24 June 1982 on major accident hazards of certain industrial activities.
2. Закон України від 19 червня 2003 року № 964-IV «Про основи національної безпеки України».
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 15 липня 1998 року № 1099 «Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій».
4. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2003 році.
5. Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. М.: Недра, 1980.
6. Сундаков Я.А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных и высотных зданий. М.: Недра, 1980.
7. Лобанов А.Н. Фотограмметрия. М. Недра, 1984.
8. Климов О.Д., Калугин В.В., Писаренко В.К. Практикум по прикладной геодезии. Изыскания, проектирование и возведение инженерных сооружений. – М.: Недра. 1991.
9. Малік Т.М., Нерус О.В. Сучасні методи контролю деформацій інженерних споруд. Матеріали науково-практичної конференції. Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій: Коледж інформаційних технологій та землевпорядкування Національного авіаційного університету, Інститут землевпорядкування та інформаційних технологій при Національному авіаційному університеті. К. НАУ, 2011. – 176 с.
10. Боровий В.О., Борисюк Л.В., Бурачек В.Г. Автоматизація геодезичних вимірювань. Під ред. Борового В.О. – Чернігів, КП «Видавництво – Чернігівські обереги», 2004. – 368 с.

11. Савиных В.П., Ивандиков Я.М., Майоров А.А., Зацаринный А.В., Герасимов И.М., под ред. Савиных В.П. Теория и практика автоматизации высокоточных измерений в прикладной геодезии. – М.: Академический Проект; Альма Матер, 2009. – 394 с.
12. Боровий В.О., Буравльов Є.П., Бурачек В.Г., Крисенко М.В. Система контролю просторового положення елементів конструкцій магістральних нафтогазопроводів. Патент України на винахід № 84605 від 10.11.2008. Бюл. № 21. – 2008.
13. Боровий В.О., Бурачек В.Г., Крисенко М.В., Рябчій В.В., Шульц Р.В. Пристрій для контролю положення елементів інженерної споруди. Патент України на винахід № 82247, 25.03.2008 р. Бюл. № 6. – 2008.
14. Малік Т.М. Методика побудови високоточного подвійного фотоелектричного ланцюга (ПФЕЛ) для контролю створу. / Малік Т.М. / Збірник наукових праць VIII міжнародної науково-практичної конференції «Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід» – ISBN 978-966-502-516-0. Чернігів ЧДІЕіУ. – 2012, № 8. – С. 56–63.
15. Большаков В.Д., Левчук Г.П., Новак В.Е. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам. М.: Недра, 1980.– 781 с.
16. Ключин Е.Б., Киселев М.И., Михеев Д.Ш., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия, под ред. Д.Ш. Михеева. Учеб. для вузов. – 3-е изд. испр. – М.: Высш. шк., 2002. – 464 с.
17. Куштин И.Ф. Уравнивание геодезических построений: Учебное пособие. – Ростов н/д: Рост. гос. строит. ун-т, 1999.– 136 с.
18. Бурачек В.Г., Олінович А.С., Кривоберець С.В. Інноваційні підходи режимного експрес-аналізу до системи контролю зсувних масивів / Екологічна безпека та природокористування, збірник наукових праць, № 11 Київ-2012, С. 77–87.

Стаття надійшла до редакції 23.01.14 російською мовою

**© В.Г. Бурачек, Т.М. Малік, А.С. Олінович, А.Л. Прокопенко
ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕРИТОРІЙ З ТЕХНОГЕННО
НЕБЕЗПЕЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ ЗА РАХУНОК АВТОМАТИЗАЦІЇ
ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ**

У статті розглянуто варіант екологічної безпеки техногеннонебезпечних територій при застосуванні автоматичної системи контролю геометричних параметрів інженерних об'єктів в реальному масштабі часу.

**© V.G. Burachek, T.M. Malik, A.S. Olinovich, A.L. Prokopenko
ENVIRONMENTAL SAFETY INCREASING OF AREAS WITH MAN-TRIGGERED AND
DANGEROUS OBJECTS THROUGH AUTOMATION GEODETIC MONITORING**

The article describes the ecological safety of man-triggered and dangerous areas when applying automatic control system of geometric parameters of engineering objects in real time.