О.С. ЦАРЁВА
ассистент

ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

УДК 528.06

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ **ДЕФОРМАЦИЙ ПО ИЗМЕНЕНИЯМ** РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ДЕФОРМАЦИОННЫМИ **МАРКАМИ**

В статье представлен анализ изменений расстояний между деформационными марками для определения деформаций зданий и сооружений. В частности, рассмотрено выявление относительных деформаций по изменениям расстояний между деформационными марками на примере деформации растяжения/сжатия, а также неравномерной осадки. Исследования выполнены при условии отсутствия опорных пунктов при наблюдениях. Выполнено теоретическое моделирование деформаций и разработан алгоритм их выявления и определения их количественного значения по изменениям расстояний, основанный на построении модели сети в виде линейной пространственной засечки и полигональной сетки треугольников.

Ключевые слова: *вектор смещения, относительные деформации, деформационная марка, здания, оценка деформаций, расстояния.*

Введение

Деформации можно оценивать различными способами [5-15]. В частности, в работе [6] выполняется оценка деформаций по расстояниям и их изменениям между рефлекторами и облучателями антенн. Выполним анализ расстояний и их изменений между деформационными марками для выявления относительных деформаций. Если исключить абсолютные смещения (оседания, крены и проч.), при которых деформационные марки, закрепленные на сооружении, взаимно не перемещаются, то и при относительных смещениях могут быть такие из них, которые не изменят своего взаимного положения между смежными циклами наблюдений, а значит, не изменятся и длины между ними. Назовем их квазиопорными. Определить такие пункты можно, нормируя матрицу изменений расстояний ошибками их изменений [6]. Тогда относительно них можно определить векторы смещений всех остальных деформационных марок. Для этой цели целесообразно использовать треугольники, если оценка производится в каком-либо сечении (горизонтальной вертикальной или наклонной плоскостях) или тетраэдры, если схема расположения марок пространственная.

Рассмотрим сначала плоский вариант, при этом заметим, что не следует выбирать треугольники, в которых изменились длины всех сторон. На рис. 1 изображен треугольник, в котором из трех сторон две (показаны двойной линией) не изменили своей длины. Такая ситуация возможна, если между циклами измерений переместилась только точка C, или изменили свое положение сразу две точки (например, точки C и A). В первом случае (рис. 1, а) решением является точка пересечения вектора AC' с дугой окружности радиусом BC и оно единственное.

Во втором случае решение – это точки пересечения вектора A'C'с дугами двух окружностей. Но таких точек для отрезка длиной l может быть сколько угодно, поэтому и решений бесчисленное множество. Таким образом, в треугольнике приходится принимать неподвижными либо пару точек B и C, либо пару A и B (как видим, тоже неопределенность).

Если длина только одной стороны, например AB, не изменилась, следует принять, что причина – смещение точки C, так как другие варианты не имеют единственного решения.

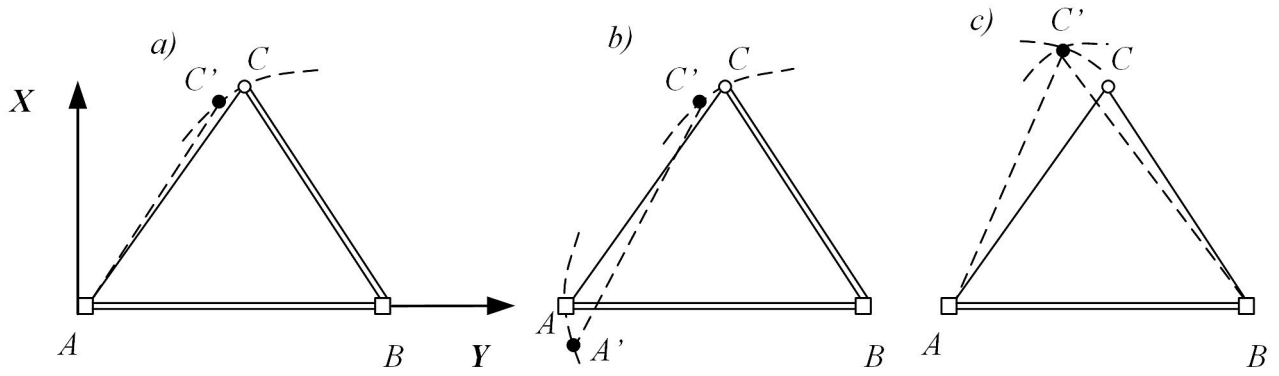

Рисунок 1 — Решение треугольников

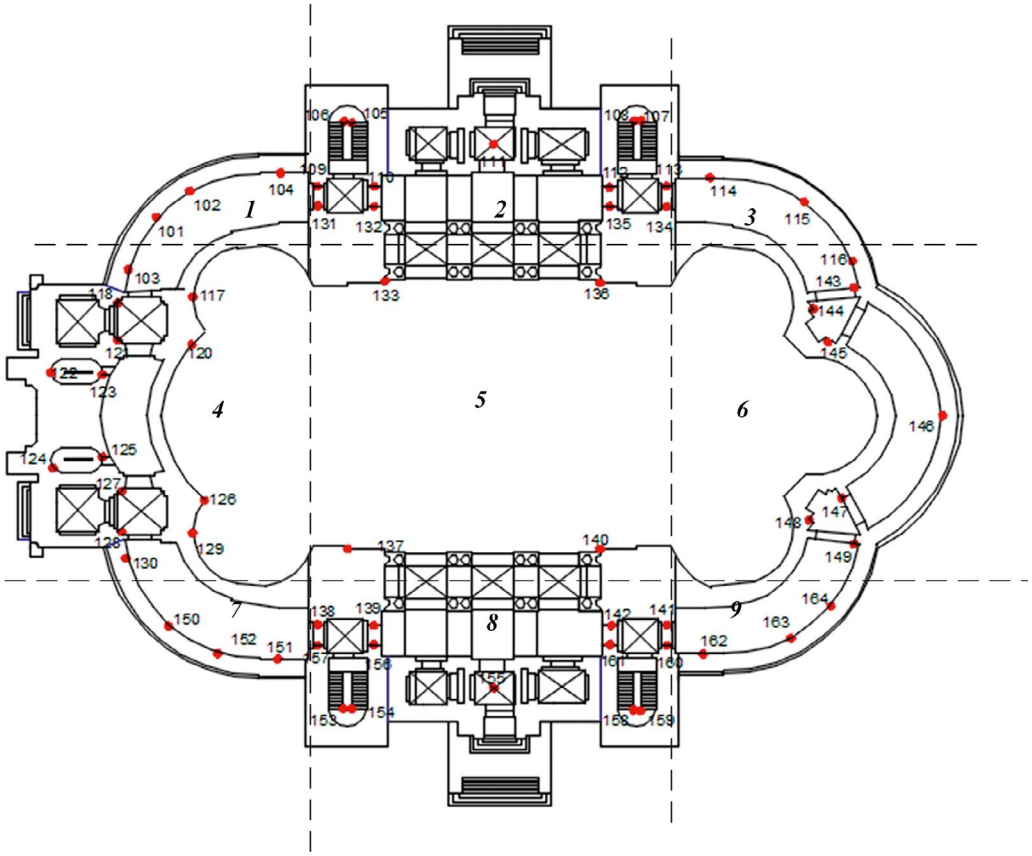

Рисунок 2 — План крестово-купольного храма, схема размещения марок 1-й уровень и разделение на блоки

При условии, что началом координат является точка А, а оси направлены как на рисунке, для определения координат точки С (или С') можно использовать известные соотношения (1):

$$X = \left(b^2 - \frac{\left(b^2 + c^2 - a^2\right)^2}{4c^2} \right)^{1/2}; Y = \left(b^2 - X^2\right)^{1/2} \quad (1)$$

Разность координат точек С и С' и будет равна смещениям последней в плоскости треугольника. Триангуляционную модель можно построить различными способами (Делоне, «жадная» триангуляция) [4].

Выполним исследование относительных деформаций с использованием полигональной сетки треугольников и пространственной линейной засечки на примере модели зданий памятников культурного наследия в виде крестово-купольных храмов (рис. 2, 3). В строительной практике [2, 3] крестово-купольные храмы с четырьмя колоннами делят на 9 самостоятельных блоков – компартиментов (на рис. 2 они пронумерованы цифрами 1-9).

Добавим опорные пункты 1-3 к модели здания, показанной на рисунках 2 и 3. Зададим локальную прямоугольную систему координат модели здания памятника культурного наследия (рис. 4):

1. Начало системы координат совместим с опорным пунктом 1;
2. Ось X совместим с опорным пунктом 2;
3. Опорный пункт 3 расположим в плоскости XY;
4. Ось Z направим наверх, чтобы координаты марок модели были положительны;

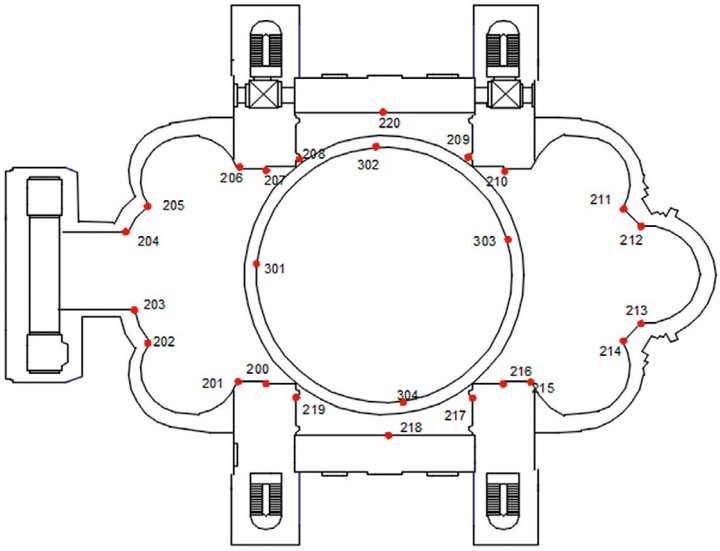

Рисунок 3 — Схема размещения марок 2-го и 3-его уровней

Таблица 1 — Координаты марок в системах координат треугольника и их изменения, мм

Номера марок	Координаты «идеальной» модели, мм		Координаты «текущей» модели, мм		Координаты вектора смещения	
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY
101	6131,22	12260,47	6139,22	12256,47	+8	-4
102	10817,55	6952,75	10812,55	6959,75	-5	+7
103	4523,39	2089,86	4533,39	2084,86	+10	-5
104	8532,19	2308,30	8538,19	2315,30	+6	+7

Таблица 2 — Координаты марок и их изменения, мм

Номера треугольников	Координаты исходных пунктов в треугольниках, мм			
	X	Y	X	Y
	206		117	
9	0	10445,41	0	0
	117		205	
4	0	4234,64	0	0
	206		205	
7	0	11192,06	0	0
	206		117	
10	0	10445,41	0	0

5. Масштабный коэффициент равен 1.

Исследование деформации растяжения/сжатия

Как известно [2, 3] деформация сжатия присуща аркам, поэтому исследуем эту деформацию в арке блока №1. После искажения марок 101-104 деформацией получим следующие данные (табл. 1, рис. 5):

Так, треугольники №1-3 – расположены в горизонталь-

ной плоскости, №4-9 – в вертикальной плоскости, №10-14 – в наклонной плоскости. Интерес представляют треугольники № 4, 7, 9, 10, 11, 13, 14, в остальных треугольниках либо изменились все стороны, либо длины сторон остались без изменений (треугольник №12). Значит, изменили свое положение марки 101-104, так как другие варианты не имеют

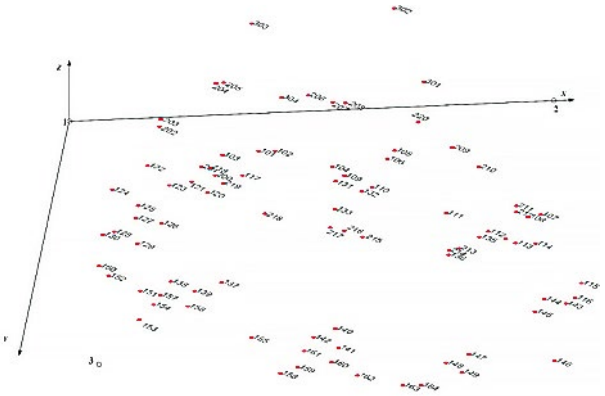

Рисунок 4 — Модель здания памятника в пространстве: 1-3 опорные пункты, 101-164 – деформационные марки

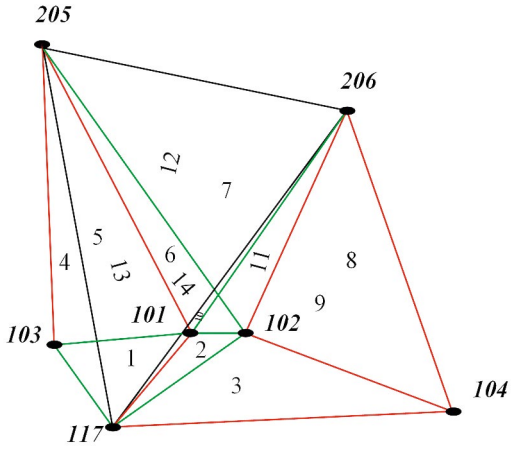

Рисунок 5 — Полигональная сетка «текущей» модели при деформации растяжения/сжатия: красным цветом показано растяжение сторон, зеленым – сжатие

единственного решения. Определим координаты марок 101-104 «идеальной» и «текущей» моделей и векторы смещений этих марок по формулам 1 (рис. 6 и табл. 1):

Координаты стабильных марок в системе координат треугольника представлены в таблице 2:

Сделать предположение о виде деформации невозможно, так как векторы смещений представлены в различных системах координат. Для определения вида деформации необходимо привести полученные векторы в единую систему координат объекта. Рассмотрим преобразование координат на плоскости [16]:

Пусть $K\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$ – вектор исходной системы координат треугольника; $\overline{K}\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix}$ – вектор в единой системе координат всего объекта; $K_0\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}$ – вектор смещений по осям координат начала второй системы относительно первой. Обозначим поворот осей новой системы координат относительно старой через ω. Матрица разворота осей $P\begin{pmatrix} \cos\omega & \sin\omega \\ -\sin\omega & \cos\omega \end{pmatrix}$. Формулы перехода из одной системы координат в другую будут выглядеть следующим образом (2-4):

$$\overline{K} = P\left(K - K_0\right)$$
$$K = P^T\overline{K} + K_0 \qquad (2)$$

$$X = (x - x_0)\cos\omega + (y - y_0)\sin\omega$$
$$Y = (y - y_0)\cos\omega - (x - x_0)\sin\omega \qquad (3)$$

Или при обратном переходе:

$$x = X\cos\omega - Y\sin\omega + x_0$$
$$y = X\sin\omega + Y\cos\omega + y_0 \qquad (4)$$

Отметим, что в нашем случае отсутствует изменение масштаба, поэтому для определения параметров перехода необходимо иметь как минимум координаты двух точек в исходной и преобразованной системах координат. Дважды решая обратную геодезическую задачу, находим дирекционный угол стороны в исходной и преобразованной си-

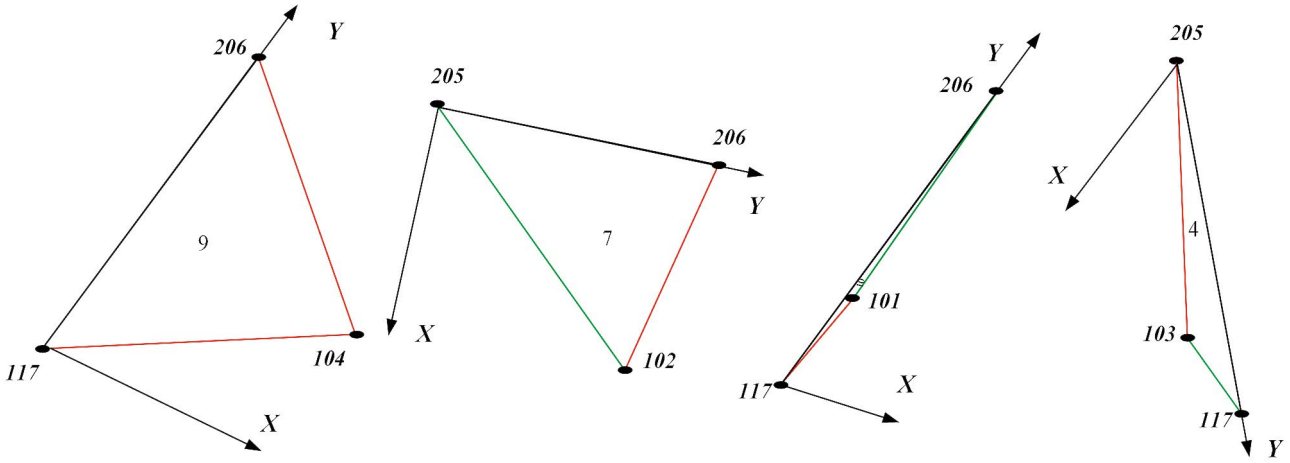

Рисунок 6 — Линейная засечка при деформации растяжения/сжатия: красным цветом показано растяжение сторон, зеленым – сжатие

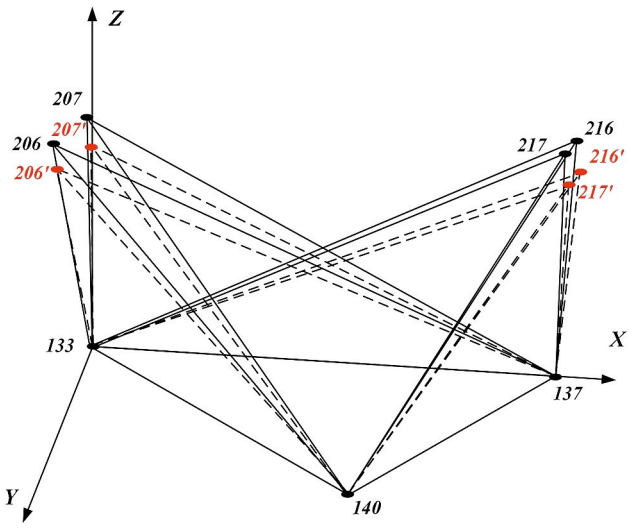

Рисунок 7 — Тетраэдры, построенные на квазиопорных марках

стемах координат. Разность дирекционных углов даст угол поворота ω одной системы координат относительно другой. Далее решая систему уравнений (2), находят вектор смещений по осям координат $K_0\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}$. Рассмотрим преобразование плоских прямоугольных координат на примере треугольников №9 и №10 (рис. 5), у которых система координат общая. Возьмем марки 101 и 104. Решим обратную геодезическую задачу:

В системе координат треугольника: $\alpha_{101-104} = 103°33'48''$.

В системе координат объекта: $\alpha'_{101-104} = 108°42'14''$.

Угол поворота будет равен: $\omega = 354°51'35''$.

Решая (4), получим $x_0 = -54513,45мм$, $y_0 = -4066,46мм$

Полученные параметры позволяют вычислить координаты марок 104 и 101 в единой системе координат объекта в текущем цикле наблюдений по формуле (3):

$$X_{101} = 58945,99мм;\ Y_{101} = 21690,66мм$$

$$X_{104} = 62226,97мм;\ Y_{104} = 12004,62мм$$

Подобным образом определим координаты остальных марок. Определим векторы смещений марок 101-104 в системе координат объекта (табл. 3)

Сравнивая данные таблиц 1 и 3 видим, что в результате преобразования координат векторы смещений остались равными между собой. Таким образом, можно сделать вывод о том, что произошла деформация переноса вдоль осей X и Y, в частности растяжения/сжатия. Вычислим деформацию растяжения/сжатия ε по формуле (5):

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \qquad (5)$$

где Δl – изменение расстояния, l – расстояние между марками.

$$\varepsilon_{103-101} = \frac{-2,2}{4,9} = 1 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{102-101} = \frac{-16,83}{2,1} = -7 \cdot 10^{-6};$$

$$\varepsilon_{102-104} = \frac{2,5}{8,3} = 3 \cdot 10^{-7}$$

Сравним полученные значения с допустимыми, установленными нормативными документами. Согласно [10] $\varepsilon = \pm 2 \cdot 10^{-3}$ при расстояниях 15-20 м. Полученные величины не превышают допустимое значение, значит, деформации строительных конструкций находятся в допустимых пределах.

Исследование деформации неравномерной осадки

Выполним исследование деформации неравномерной осадки с использованием линейной пространственной засечки (тетраэдров, построенных на квазиопорных марках). Допустим, в результате нормирования матрицы изменений расстояний ошибками изменений расстояний выявлены квазиопорные марки 133, 137 и 140. Исказим марки 206, 207, 216, 217 деформацией неравномерной осадки.

Построим тетраэдры с использованием квазиопорных марок (рис. 7):

Определить координаты X, Y, Z марок 206, 207, 216, 217 можно из решения системы трех квадратных уравнений вида (6):

$$L_i = \sqrt{(X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2 + (Z_i - Z)^2}, \qquad (6)$$

где L_i – расстояние от опорных пунктов до пункта P, $i = 1,2,3$,

Но, если выбрать систему координат, как это представлено на рисунке 7 (начало системы координат совмещено с точкой 133 и плоскость XY совпадает с плоскостью, содержащей опорные марки 133, 137 и 140), для которой $X_1 = Y_1 = Z_1 = Y_2 = Z_2 = Z_3 = 0$, то легко получить (7):

$$X = \left(L_1^2 + X_2^2 - L_2^2\right)/2X_2 \ \text{ и } \ Y = \left(Y_3^2 - B + A\right)/2Y_3 \qquad (7)$$

Таблица 3 — Координаты марок и их изменения в системе координат модели, мм

Номера марок	«Идеальная» модель		«Текущая» модель		Изменение координат, мм	
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY
101	58937,99	21694,66	58945,99	21690,66	+8	-4
102	60340,51	20081,55	60335,51	20088,55	-5	+7
103	54575,66	24062,74	54585,66	24057,74	+10	-5
104	62220,97	11997,62	62226,97	12004,621	+6	+7

Таблица 4 — Координаты марок «идеальной» модели, мм

Номер марки	В единой системе координат объекта			В системе координат тетраэдра		
	X	Y	Z	X	Y	Z
133	4737,29	54389,88	201,8	0	0	0
137	3898,79	30943,96	228,8	23460,9	0	0
140	-14958,4	31570,74	462,2	23508,78	18868,97	0
206	8934,17	53929,9	18601,8	330,85	-3982,75	18450,30
207	5278,9	54542,9	18733,7	-151,01	-306,55	18537,30
216	-16595,38	31388,2	18566,1	23770,56	20722,15	18082,08
217	-14863,58	30584,7	18741,7	24511,88	18965,03	18278,57

Таблица 5 — Координаты марок «текущей» модели в системе координат тетраэдра, мм

Номер марки	Координаты марок, мм			Изменение координат, мм		
	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
133	0	0	0	0	0	0
137	23460,9	0	0	0	0	0
140	23508,78	18868,97	0	0	0	0
206	330,85	-3982,75	18460,30	0	0	+10
207	-151,01	-306,55	18547,30	0	0	+10
216	23770,56	20722,15	18084,07	0	0	+2
217	24511,88	18965,03	18280,57	0	0	+2

Таблица 6 — Координаты марок «текущей» модели в системе координат объекта, мм

Номер марки	Координаты марок, мм			Изменение координат, мм		
	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
206	8934,172	53929,895	18611,8	0	0	+10
207	5278,897	54542,939	18743,7	0	0	+10
216	-16595,381	31388,175	18568,1	0	0	+2
217	-14863,578	30584,651	18743,7	0	0	+2

В приведенных выше соотношениях (8):

$$A = L_1^2 - X^2, \quad B = L_3^2 - \left(X_3 - X\right)^2 \qquad (8)$$

Координату Z проще всего вычислить, из уравнения (6) для расстояния L_1 (9):

$$Z = \sqrt{L_1^2 - X^2 - Y^2} \qquad (9)$$

Вычислив координаты обеих точек (например, 206' и 206'), можно оценить и вектор смещения.

В единой системе координат объекта модели марки, изображенные на рисунке 7, имеют следующие координаты (табл.4):

После искажения марок деформацией неравномерной осадки получим следующие координаты «текущей» модели в системе координат тетраэдра (табл.5):

Для суждения о виде деформации выполним преобразование координат марок 206, 207, 216 и 217 «текущей» модели из системы координат тетраэдра в систему координат объекта. Формула преобразования координат выглядит следующим образом [1]:

$$\begin{pmatrix} XN \\ YN \\ ZN \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} XC \\ YC \\ ZC \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \quad (10)$$

где XC, YC, ZC – координаты точки в старой системе координат, ΔX, ΔY, ΔZ – координаты точки в новой системе координат, ΔX, ΔY, ΔZ – линейные элементы трансформирования систем координат при переходе из старой системы в новую систему; M – масштабный коэффициент трансформирования систем координат при переходе из старой системы в новую систему; a_{ik} – элементы ортогональной матрицы поворота. Используем метод преобразования, основанный на линейной процедуре [1]. В уравнение (10) вносится масштабный коэффициент и формируется три системы линейных уравнений (11-13):

$$Q \begin{pmatrix} Ma_{11} \\ Ma_{12} \\ Ma_{13} \\ \Delta X \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -XN_1 \\ -XN_2 \\ \dots \\ -XN_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{x1} \\ v_{x2} \\ \dots \\ v_{xn} \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$Q \begin{pmatrix} Ma_{21} \\ Ma_{22} \\ Ma_{23} \\ \Delta Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -YN_1 \\ -YN_2 \\ \dots \\ -YN_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{y1} \\ v_{y2} \\ \dots \\ v_{yn} \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$Q \begin{pmatrix} Ma_{31} \\ Ma_{32} \\ Ma_{33} \\ \Delta Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -ZN_1 \\ -ZN_2 \\ \dots \\ -ZN_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{z1} \\ v_{z2} \\ \dots \\ v_{zn} \end{pmatrix} \quad (13)$$

Из всех трех систем матрица Q общая (14):

$$Q = \begin{pmatrix} XC_1 & YC_1 & ZC_1 & 1 \\ XC_2 & YC_2 & ZC_2 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ XC_n & YC_n & ZC_n & 1 \end{pmatrix} \quad (14)$$

Введем обозначения для векторов свободных членов (15):

$$\overline{L}_X = \begin{pmatrix} -XN_1 \\ -XN_2 \\ \dots \\ -XN_n \end{pmatrix}; \overline{L}_Y = \begin{pmatrix} -YN_1 \\ -YN_2 \\ \dots \\ -YN_n \end{pmatrix}; \overline{L}_Z = \begin{pmatrix} -ZN_1 \\ -ZN_2 \\ \dots \\ -ZN_n \end{pmatrix} \quad (15)$$

Из решения систем уравнений (11-13) по МНК получим девять элементов неортогональной матрицы и составляющие сдвигов по осям координат ΔX, ΔY, ΔZ (16):

$$\begin{pmatrix} Ma_{11} \\ Ma_{12} \\ Ma_{13} \\ \Delta X \end{pmatrix} = -\left(Q^T Q\right)^{-1} Q^T \overline{L}_X;$$

$$\begin{pmatrix} Ma_{21} \\ Ma_{22} \\ Ma_{23} \\ \Delta Y \end{pmatrix} = -\left(Q^T Q\right)^{-1} Q^T \overline{L}_Y; \quad (16)$$

$$\begin{pmatrix} Ma_{31} \\ Ma_{32} \\ Ma_{33} \\ \Delta Z \end{pmatrix} = -\left(Q^T Q\right)^{-1} Q^T \overline{L}_Z$$

В этом решении связь систем координат определяется двенадцатью параметрами – девятью элементами матрицы П (17):

$$\Pi = \begin{pmatrix} Ma_{11} & Ma_{12} & Ma_{13} \\ Ma_{21} & Ma_{22} & Ma_{23} \\ Ma_{31} & Ma_{32} & Ma_{33} \end{pmatrix} \quad (17)$$

и параметрами сдвига ΔX, ΔY, ΔZ.

В частности, для марок модели 206, 207, 216, 217 матрица Q будет иметь вид:

$$Q = \begin{pmatrix} 330,85 & -3982,75 & 18450,3 & 1 \\ -151,01 & -306,547 & 18537,3 & 1 \\ 23770,56 & 20722,15 & 18082,08 & 1 \\ 24511,88 & 18965,03 & 18278,57 & 1 \end{pmatrix}$$

Векторы свободных членов:

$$\overline{L}_X = \begin{pmatrix} -8934,17 \\ -5278,9 \\ 16595,38 \\ 14863,58 \end{pmatrix};$$

$$\overline{L}_Y = \begin{pmatrix} -53929,9 \\ -54542,9 \\ -31388,2 \\ -30584,7 \end{pmatrix};$$

$$\overline{L}_Z = \begin{pmatrix} -18601,8 \\ -18733,7 \\ -18566,1 \\ -18741,7 \end{pmatrix}$$

Матрица П будет равна:

$$\Pi = \begin{pmatrix} -0,036 & -0,999 & 0,012 \\ -0,999 & 0,036 & 0,001 \\ 0,001 & 0,012 & 0,999 \end{pmatrix};$$

Сдвиги:

$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4737,33 \\ 54389,91 \\ 201,56 \end{pmatrix} мм$$

Подставляя полученные значения в (10), получим координаты марок в единой системе координат объекта «текущей» модели (табл.6):

Сравнивая данные таблиц 5 и 6, видим, что изменения координат или векторы смещений равны между собой, это означает, что произошла деформация переноса вдоль оси Z. Поскольку векторы смещений разные по длине, и марки располагаются на пилонах, которые, согласно нагрузкам, получают наибольшую осадку, можно сделать вывод о том, что произошла деформация неравномерной осадки.

Вычислим относительную неравномерность осадок между марками 206 и 216 ΔS/L:

$$\Delta S_{216\text{-}206} / L = 8/34057 = 0,0002$$

Сравним полученную величину с предельной, установленной нормативными документами. Согласно [15] для III категории технического состояния зданий для памятников культурного наследия относительная разность осадок составляет 0,0007. Полученная величина не превышает допуск, значит деформации строительных конструкций находятся в допустимых пределах.

Исследование деформации изгиба выполняется аналогичным способом.

Выводы:

В результате исследований получены следующие выводы:

- Выполнено выявление относительных деформаций по изменениям расстояний при отсутствии опорных пунктов, в частности:
- Исследование относительных деформаций, таких как растяжение, сжатие, следует выполнять с использованием полигональной сетки треугольников;
- Исследование относительных деформаций изгиба и неравномерной осадки следует выполнять с использованием линейной пространственной засечки, построенной на квазиопорных марках;
- Для контроля выявления той или иной деформации следует выполнять преобразование координат. Если происходит деформация растяжения, сжатия, изгиба, неравномерной осадки, то векторы смещений при преобразовании координат остаются одинаковыми в любой системе координат.

Литература

1. Безменов В.М. Теоретические основы определения параметров преобразования пространственных геоцентрических систем координат. Казань, 2007. 28 с.

2. Бессонов Г.Б. Исследование деформаций, расчет несущей способности и конструктивное укрепление древних распорных систем. М.: Объединение «Союзреставрация», 1989. 163 с.

3. Девина Р.А. Микроклимат церковных зданий [Электронный ресурс] // ARTConservation мастерская. М.: ГосНИИР, 2000. URL: http://art-con.ru/node/2064 (дата обращения 20.09.2018).

4. Жихарев С.А. Моделирование рельефа в системе графИн // Геоинформатика: Теория и практика. Томск: Изд-во Том. Ун-та, 1998. Вып. 1. С. 193-204.

5. Комиссаров Д. В., Иванов А.В. Обзор программных продуктов для обработки данных наземного лазерного сканирования // ГЕО-Сибирь-2005. Науч. конгр.: сб. материалов в 7 т. (Новосибирск, 25–29 апреля 2005 г.). Новосибирск: СГГА, 2005. Т. 1. С. 205–206.

6. Контроль сохранности положения элементов спутниковых антенных систем в период их наземной эксплуатации // 28 антенная конференция Европейского космического агентства, Нордвик, 2005 г.

7. Кукаренко И.С., Новоселов Д.Б. ПК CREDO для обработки наблюдений за кренами и осадками Спасо-Преображенского Собора в Новокузнецке // Геопрофи. 2015. N 5. С. 36-40.

8. МДС 13-22.2009. Методика геодезического мониторинга технического состояния высотных и уникальных зданий и сооружений (2010) // ООО «ТЕКТОПЛАН». М.: ОАО «ЦПП».

9. Николаев С.А. Статистические исследования осадок инженерных сооружений. М.: Недра, 1983. 112 с.

10. ПБ 07-269-98. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях (1998): утв. постановлением Госгортехнадзора России 16.03.98 г. № 13. СПб.: ВНИМИ.

11. П 87-2001. Рекомендации по проведению натурных наблюдений за осадками грунтовых плотин (2001) // ОАО «ВНИИГ». СПб., 2001.

12. Руководство по геодезическим методам измерения горизонтальных смещений в основаниях сооружений (1960). М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова.

13. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений (1975). М.: Стройиздат (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова).

14. СО 153-34.21.322-2003. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадкой фундаментов и деформациями зданий и сооружений строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций (2005). М.

15. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений (2016). М.: АО «НИЦ «Строительство» (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова).

16. Телеганов Н.А., Тетерин Г.Н. Метод и системы координат в геодезии : учеб. пособие. Новосибирск: СГГА. 2008. 143 с.

Материалы хранятся по адресу:
196143, Санкт-Петербург, ул. Алтайская, д. 33, кв. 75

TSAREVA O.S., assistant, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

DETERMINATION OF RELATIVE DEFORMATIONS BY CHANGES IN DISTANCE BETWEEN THE DEFORMATION MARKS

Abstract

The article is presented the analysis of changes distances between deformation marks for an estimation of stability of buildings and constructions. In particular, the investigation is considered of relative deformations from changes in distances between deformation marks on the example of deformation of tension / compression, and differential settlement. Studies were carried out under the condition that there were no support points for observations. The theoretical modeling of deformations is performed and an algorithm for their detection and determination of their quantitative value from distance changes is developed, based on the construction of a network model in the form of a linear spatial intersection and a polygonal grid of triangles.

Keywords: *displacement vector, relative deformation, deformation mark, buildings, evaluation of deformations, distances.*

References

1. Bezmenov V.M. Teoreticheskie osnovy opredeleniya parametrov preobrazovaniya prostranstvennykh geotsentricheskikh sistem koordinat. Kazan, 2007. 28 p. (In Russian)
2. Bessonov G.B. Issledovanie deformatsiy, raschet nesushchey sposobnosti i konstruktivnoe ukreplenie drevnikh raspornykh sistem. Moscow, obedinenie «Soyuzrestavratsiya», 1989. 163 p. (In Russian)
3. Devina R.A. Mikroklimat tserkovnykh zdaniy [Microclimate of church buildings] [Electronic resource] // ARTConservation masterskaya. Moscow, GosNIIR, 2000. URL: http://art-con.ru/node/2064 (data obrashcheniya 20.09.2018).
4. Zhikharev S.A. Modelirovanie relefa v sisteme grafIn // Geoinformatika: Teoriya i praktika. Tomsk ed. Tomsk University, 1998. Release. 1. P. 193-204. (In Russian)
5. Komissarov D. V., Ivanov A.V. Obzor programmnykh produktov dlya obrabotki dannykh nazemnogo lazernogo skanirovaniya // GEO-Siberia-2005 Scientific cong. Sat materials in 7 tons. (Novosibirsk, April 25-29, 2005). Novosibirsk: SSGA, 2005. T. 1. p. 205-206.
6. Kontrol' sokhrannosti polozheniya elementov sputnikovykh antennykh sistem v period ikh nazemnoy ekspluatatsii // 28th European Space Agency Antenna Conference, Nordvik, 2005.
7. Kukarenko I.S., Novoselov D.B. PK CREDO dlya obrabotki nablyudeniy za krenami i osadkami Spaso-Preobrazhenskogo Sobora v Novokuznetske // Geoprofi. 2015. N 5. p. 36-40. (In Russian)
8. MDS 13-22.2009. Metodika geodezicheskogo monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya vysotnykh i unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy (2010) // OOO «TEKTOPLAN». Moscow, OAO «TsPP». (In Russian)
9. Nikolaev S.A. Statisticheskie issledovaniya osadok inzhenernykh sooruzheniy. Moscow, Nedra, 1983. 112 p. (In Russian)
10. PB 07-269-98. Pravila okhrany sooruzheniy i prirodnykh ob"ektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh gornykh razrabotok na ugol'nykh mestorozhdeniyakh (1998): approved. Resolution of the Gosgortekhnadzor of Russia 16.03.98 №13. St. Petersburg: VNIMI, 211 p. (In Russian)
11. P 87-2001. Rekomendatsii po provedeniyu naturnykh nablyudeniy za osadkami gruntovykh plotin (2001) // OAO «VNIIG». St. Petersburg. (In Russian)
12. Rukovodstvo po geodezicheskim metodam izmereniya gorizontal'nykh smeshcheniy v osnovaniyakh sooruzheniy (1960). Moscow: NIIOSP them. N.M. Gersevanova. 80 p. (In Russian)
13. Rukovodstvo po nablyudeniyam za deformatsiyami osnovaniy i fundamentov zdaniy i sooruzheniy (1975). Moscow: (Stroyizdat) NIIOSP them. N.M. Gersevanova, 1960. 80 p. (In Russian)
14. SO 153-34.21.322-2003. Metodicheskie ukazaniya po organizatsii i provedeniyu nablyudeniy za osadkoy fundamentov i deformatsiyami zdaniy i sooruzheniy stroyashchikhsya i ekspluatiruemykh teplovykh elektrostantsiy (2005). Moscow. (In Russian)
15. SP 22.13330.2016. The foundations of buildings and structures. – Moscow, JSC «SIC «Construction» (NIIOSP named after N.M. Gersevanov), 2016. – 220 p.
16. Teleganov N.A, Teterin G.N. Metod i sistemy koordinat v geodezii: studies. allowance. Novosibirsk: SSGA. 2008. 143 p. (In Russian)

Для цитирования: Царева О.С. Определение относительных деформаций по изменениям расстояний между деформационными марками // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. № 5. С. 29-37.

For citation: Tsareva O.S. Determination of relative deformations by changes in distance between the deformation marks // Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [*Earthquake engineering. Constructions safety*], 2018, no. 5, pp. 29-37. (In Russian).

КНИЖНЫЕ НОВИНКИ

Е.Н. Курбацкий
СПЕКТРЫ ФУРЬЕ И СПЕКТРЫ ОТВЕТОВ НА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (ТЕОРИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ)
-М.:EACA (Eurasian SEISMO Association): АНО «СРОСЭКСПЕРТИЗА»: "Onebook.ru", 2018.-156 с.

Монография д.т.н., профессора Е.Н. Курбацкого «Спектры Фурье и спектры ответов на землетрясения (теория и приложения)» представляет значительный интерес для специалистов, аспирантов и студентов соответствующих направлений подготовки.
Монография состоит из введения, двух частей в 15 главах.
По вопросам приобретения обращаться по телефону 8 (499) 174 70 65.