

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ  
ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ИНФРАСТРУКТУР  
Кафедра «Геодезия и кадастр»

**ДОПУСТИТЬ**  
**к защите декан ФИСИ**  
**Ташпулатов С.А.** \_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

выполнено для получения степени бакалавра  
по направлению образования: 5311500 «Геодезия, картография и кадастр»

Тема работы: *«Обоснование допусков геодезических измерений при  
возведении сборных сооружений с применением  
теории размерных цепей».*

Дипломная работа изложена  
на \_\_\_\_\_ страницах.  
Презентационные слайды  
На \_\_\_\_\_ листах.

Автор работы: студентка гр. 48а-12 ГКК  
Ражабова Дилрабо Рахматиллаевна

Руководитель: Ташпулатов С. А.

РАЗРЕШЕНО К ЗАЩИТЕ»  
Кафедра «ГС» протокол №\_\_ от \_\_\_\_\_ 2016 г.  
Зав. Кафедры \_\_\_\_\_ Назаров Б.Р.

Ташкент 2016 г.





## ВВЕДЕНИЕ

Расчёт необходимой и достаточной точности геодезических разбивочных работ в последние годы успешно решаются применением теории размерных цепей с учетом конструктивно-планировочных решений в проектах зданий и сооружений, способов изготовления и монтажа отдельных элементов и выполнения геодезических построений. Такой расчёт дает возможность обоснованию назначить оптимальные величины допусков на все стадии геодезических работ и способствует исключению разного рода подгонок, снижению дополнительных затрат труда и средств на выполнение строительно-монтажных разбивочных работ.

Теория размерных цепей возникла в связи необходимостью учесть различия между контурными и проектными размерными цепями при создании машин. <sup>[1,2,3]</sup>

Впервые теорию размерных цепей применил к расчёту точности геодезических работ проф. Видуев Н. Г., который в своих научных трудах (4-9) доказал теоретическую обоснованность этого метода и дал практические указания по его изменению в геодезическом производстве.

Свое дальнейшее развитие в области геодезического обеспечения строительства теории размерных цепей получила в трудах Чмчяна Т. Т., Сыткина В.С. и др. <sup>[10,11,12, 13]</sup>

При современном уровне строительно - монтажного производства построение пространственно геодезической сети является одной из самых сложных инженерно - геодезических работ. Сложность выполнения таких работ начинается с построения базисной фигуры, являющейся основным элементом пространственной геодезической сети. Базисная фигура строится на перекрытии нулевого монтажного яруса, вершины ее закрепляются опорными пунктами. Предварительная разбивка опорных пунктов осуществляется от пунктов осевой геодезической основы возводимого сооружения. Правильный выбор мест расположения опорных пунктов и

базисной фигуры и способа их закрепления имеет существенное значение, так как такие пункты должны быть надежно сохранены до конца возведения здания. Опыт построения пространственных геодезических сетей показывает, что лучшим вариантом закрепления вершин базисной фигуры являются железобетонные трапециевидные тумбы размерами 300x400x500 мм с металлическими закладными пластинами, на которых насечкой намечаются вершины базисной фигуры. При возведении каркасных зданий пункты базисной фигуры располагаются на одном уровне в непосредственной близости от группы колонн, оставляющих ядро жесткости здания, к монтажу которого предъявляются более высокие требования. При возведении панельных зданий опорные пункты базисной фигуры располагаются в углах здания. Стороны базисной фигуры располагаются в углах здания. Стороны базисной фигуры параллельно смещаются относительно осевой геодезической основы здания. Величина смещения часто зависит от конструктивных особенностей возводимого здания.

Взаимное положение вершин базисной фигуры определяется в результате выполнения точных измерений. Длины сторон базисной фигуры измеряются базисным прибором, рулетками. Угловые измерения выполняются современными электронными и оптическими теодолитами. Точные угловые измерения при построении базисной фигуры сводятся к соблюдению геометрических условий в построениях. Стороны базисной фигуры обычно не превышают 20-25 м. Это обстоятельство позволяет производить измерения длин линий с одной установки мерного прибора с высокой точностью (точные механические мерные приборы позволяют измерять расстояния с погрешностью до  $1 \times 10^{-6}$ ).

**Цель данной работы является,** на основе двух теории, теории размерных цепей и пространственных геодезических сетей обосновать допуски геодезических измерений при строительстве сборных сооружений. Размерные цепи отражают объективные размерные связи в конструкции инженерных сооружений.

**Размерная цепь** - совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур.

Размеры, образующие размерную цепь, называют звеньями размерной цепи. Одно звено в размерной цепи замыкающее (исходное), а остальные - составляющие.

**Замыкающим** (исходным) звеном размерной цепи называют звено, получающееся последним или первым (исходным) при ее построении. Составляющим звеном размерной цепи называют звено размерной цепи, функционально связано с замыкающим звеном. Составляющие звенья, в зависимости от их влияния на замыкающее звено, бывают увеличивающие или уменьшающие:

**Увеличивающим** звеном называется звено, при увеличении которого, замыкающее звено увеличивается.

**Уменьшающим** звеном называется звено, при увеличении которого, замыкающее звено уменьшается.

**Компенсирующее звено**- звено, за счет изменения величины которого достигается требуемая точность замыкающее звено.

**Общее звено** - звено, одновременно принадлежащее нескольким размерным цепям.

Размерные цепи удобно классифицировать по характеру решаемой задачи, содержанию, характеру звеньев, геометрическому представлению и виду связи. Схематично классификация представлена на рис.

По характеру решаемой задачи размерные цепи различают конструкторские технологические, измерительные.

**Конструкторская размерная цепь** - размерная цепь, определяющая расстояние или относительный поворот поверхностей (осей) в деталях.

**Технологические - размерные цепи** - размерные цепи, обеспечивающие требуемые расстояние или относительный поворот поверхностей изделия в процессе их изготовления.

**Измерительная размерная цепь** - цепь, с помощью которой познается значение измеряемого размера, относительного поворота, расстояния поверхностей или их осей изготовленного или изготавливаемого изделия.

**Основная размерная цепь** - цепь, замыкающим звеном которой является размер (расстояние, относительный поворот), обеспечиваемый в соответствии с решением основной задачи.

**Производная размерная цепь** - цепь, замыкающим звеном которой является одно из составляющих звеньев основной размерной цепи.

Производная размерная цепь раскрывает содержание составляющего звена основной размерной цепи.

**Линейная размерная цепь** - цепь, звеньями которой являются линейные размеры.

**Угловая размерная цепь** - цепь, звеньями которой являются угловые параметры. По геометрическому представлению цепи бывают плоские и пространственные.

**Плоская размерная цепь** - цепь, звенья которой расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях.

**Пространственная размерная цепь** — цепь, звенья которой расположены в непараллельных плоскостях.

По виду связей размерные цепи бывают параллельные, последовательно и параллельно-последовательно связанные.

**Параллельно связанные цепи** - цепи, имеющие одно или несколько общих звеньев Последовательно связанные цепи - цепи, в которых каждая последующая имеет одну общую базу с предыдущей.

Параллельно-последовательно связанные цепи (комбинированные) - цепи, имеющие оба вида связей.

## Глава I. Пространственная размерная цепь.

В пространственной размерной цепи положение каждой вершины определяется в плане и по высоте. В первом случае размерная цепь считается аналогом полигонометрического хода, а во втором – аналогом буссольного или нивелирного ходов.

При расчёте размерных цепей инженерных сооружений аналог буссольного хода используется для вертикальных или близких к ним линейных звеньев цепи, а аналог нивелирного хода – для горизонтальных или близких к ним линейных звеньев цепи.

Пространственная размерная цепь расчленяется на ряд плоских цепей, например 1 2' 3' 4' с замыкающим звеном (рис 1).

Рассматривая ее как аналог полигонометрического хода, найдём СКП вершин цепи в плане при условии, что  $\sigma(\beta) = \sigma(\beta_2) = \sigma(\beta_3)$ :

$$\sigma(1') = 0; \sigma(2') = \sigma^2(s'_2)$$

$$\sigma(3') = \sqrt{\sigma^2(s'_2) + \sigma^2(s'_3) + \sigma^2(\beta)s'_3}$$

$$\sigma(3') = \sqrt{\sigma^2(s'_2) + \sigma^2(s'_3) + \sigma^2(s'_4) + \sigma^2(\beta)(s_3'^2 + 2s'_4)}; \quad (1)$$

Если  $\sigma(s'_2) = \sigma(s'_3) = \sigma(s'_4) = \sigma(s'_0)$ ;  $s'_1 = s'_2 = s'_3 = s'_4 = s'_0$ ;

$$\sigma(\beta') = \sigma(s'_0)/s'_0, \text{ то}$$

$$\sigma(1') = 0; \sigma(2') = \sigma(s'_0); \quad (2)$$

$$\sigma(3') = \sigma(s'_0)\sqrt{3}; \sigma(s'_0)\sqrt{3}; \sigma(4') = \sigma(s'_0)\sqrt{4}.$$

Рассматривая эту же цепь как пространственную и принимая за аналогию нивелирный ход, получим СКП вершин цепи по высоте:

$$\sigma(1') = 0; \sigma(2') = \sigma(h_{12}); \sigma(3') = \sqrt{\sigma^2(h_{12}) + \sigma^2(h_{23})}; \quad (3)$$

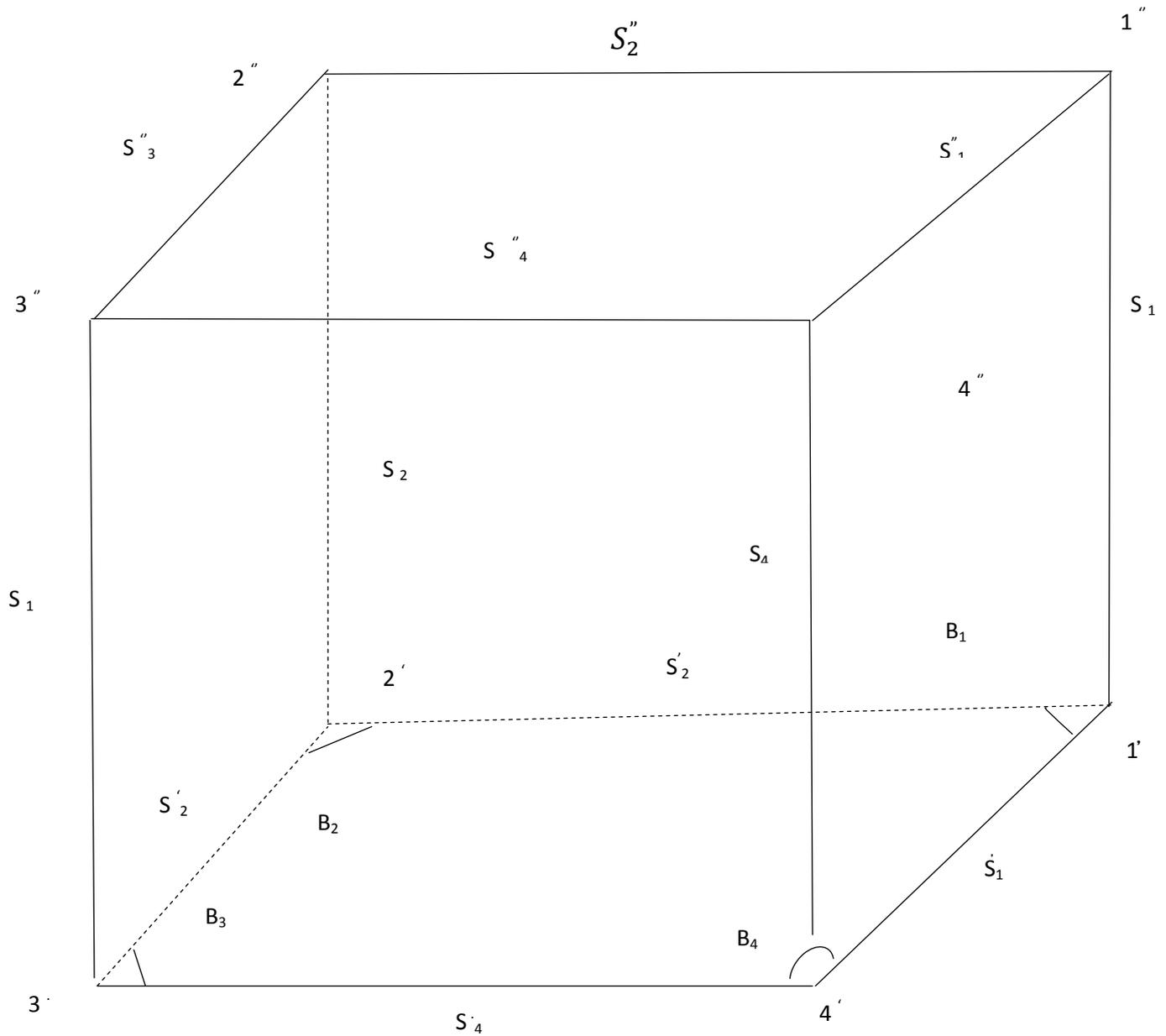
$$\sigma(4') = \sqrt{\sigma^2(h_{12}) + \sigma^2(h_{23}) + \sigma^2(h_{34})};$$

Где  $h_{12}, h_{23}, h_{34}$ - превышения.

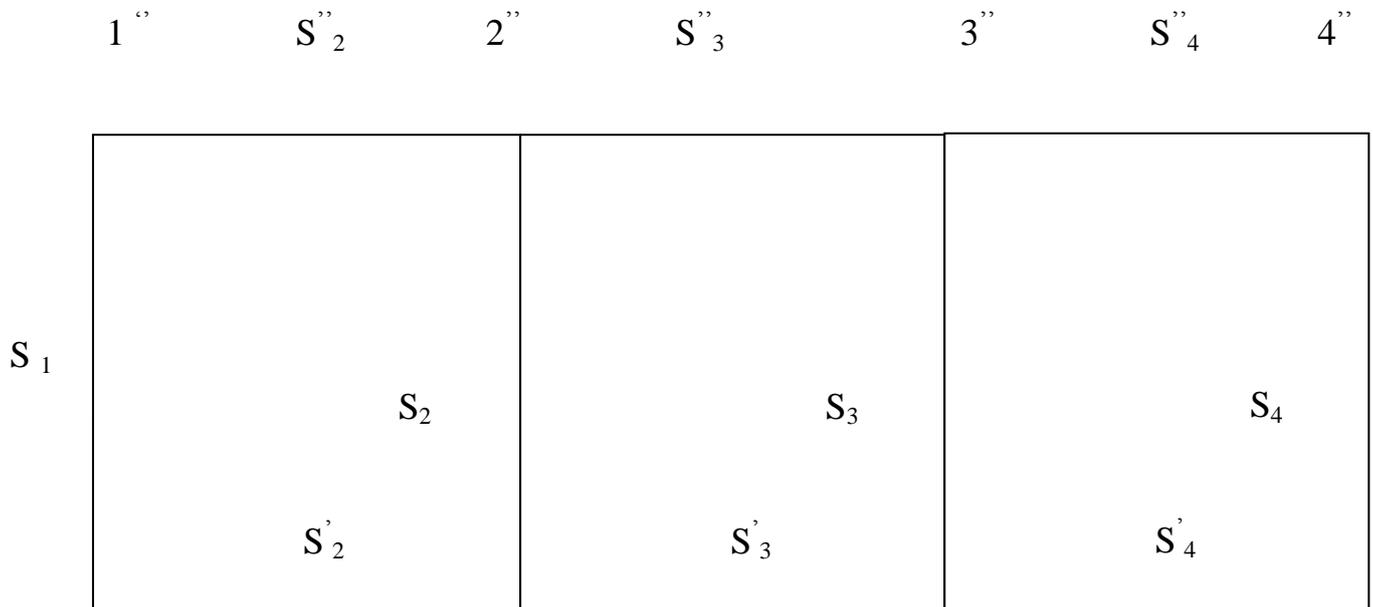
Если считать, что  $\sigma(h_{12}) = \sigma(h_{24}) = \sigma(h_{34}) = \sigma(h)$ , то

$$\sigma(1') = 0; \sigma(2') = \sigma(h); \quad (4)$$

$$\sigma(3') = \sigma(h)\sqrt{2}; \sigma(4') = \sigma(h)\sqrt{3};$$



**Рис.1. Пространственная размерная цепь.**



**Рис.2. Развёрнутая пространственная размерная цепь.**

СКП замыкающего звена в плане и по высоте будут;

$$\sigma(s'_1) = \sqrt{\sigma^2(1') + \sigma^2(4')} = \sigma^2(S'_0)\sqrt{6} = \sigma(4'); \quad (5)$$

$$\sigma(s'_1) = \sqrt{\sigma^2(1) + \sigma^2(4')} = \sigma(h)\sqrt{3} = \sigma(4).$$

Общее СКП замыкающего звена определяют по формуле:

$$\sigma_0(s'_1) = \sqrt{\sigma^2(s'_1) + \sigma^2(s'_1)} = \sqrt{6\sigma^2(s'_0) + 3\sigma^2(h)}. \quad (6)$$

Дальнейший расчёт пространственной размерной цепи (рис.1) может быть осуществлен несколькими способами. Наиболее просто выполнить развертку этой цепи (рис.2). СКП положения вершин по высоте будут:

$$\sigma(1'') = \sqrt{\sigma^2(2') + \sigma^2(s_1)} = \sigma(s_1);$$

$$\sigma(2'') = \sqrt{\sigma^2(2') + \sigma^2(s_2)} = \sqrt{\sigma^2(h) + \sigma^2(s_2)}; \quad (7)$$

$$\sigma(3'') = \sqrt{\sigma^2(3') + \sigma^2(s_3)} = \sqrt{2\sigma^2(h) + \sigma^2(s_3)};$$

$$\sigma(4'') = \sqrt{\sigma^2(4') + \sigma^2(s_4)} = \sqrt{3\sigma^2(h) + \sigma^2(s_4)};$$

Если  $\sigma(s_1) = \sigma(s_2) = \sigma(s_3) = \sigma(s_4) = \sigma(s_0)$ , то

$$\sigma(1'') = \sigma(s_0); \sigma(2'') = \sqrt{\sigma^2(h) + \sigma^2(s_0)}; \quad (8)$$

$$\sigma(3'') = \sqrt{2\sigma^2(h) + \sigma^2(s_0)}; \sigma(4'') = \sqrt{3\sigma^2(h) + \sigma^2(s_0)};$$

СКП положения вершин в плане находят по формулам:

$$\sigma(1'') = \sqrt{\sigma^2(1') + s_1^2 \sigma^2(\alpha_1)} = s_0 \sigma(\alpha_1);$$

$$\sigma(2'') = \sqrt{\sigma^2(2') + s_2^2 \sigma^2(\alpha_2)} = \sqrt{\sigma^2 s'_0 + s_0 \sigma^2(\alpha)};$$

$$\sigma(3'') = \sqrt{\sigma^2(3') + s_3^2 \sigma^2(\alpha_3)} = \sqrt{3\sigma^2(s'_0) + s_0 \sigma^2(\alpha)}; \quad (9)$$

$$\sigma(4'') = \sqrt{\sigma^2(4') + s_4^2 \sigma^2(\alpha_4)} = \sqrt{6\sigma^2(s'_0) + s_0^2 \sigma^2(\alpha)}$$

где

$$\sigma(\alpha_1) = \sigma(\alpha_2) = \sigma(\alpha_3) = \sigma(\alpha_4) = \sigma(\alpha); s_1 = s_2 = s_3 = s_4 = s_0 \quad (10)$$

Общее СКП замыкающего звена будет следующим:

$$\sigma(s'_0) = \sqrt{\sigma^2(1'') + \sigma^2(2'') + \sigma^2(4'') + \sigma^2(4'')}$$

$$= \sqrt{s_0^2 \sigma^2(\alpha) + \sigma^2(s_0) + 6\sigma^2(s'_0) + s_0^2 \sigma^2 + 3\sigma^2(h) + \sigma^2(s_0)}$$

$$= \sqrt{6\sigma^2(s'_0) + 2\sigma^2(s_0) + 2s_0^2 \sigma^2 + 3\sigma^2(h)}. \quad (11)$$

$$\text{Если } \sigma(\alpha) = \sigma(s_0)/s_0; \sigma^2(s'_0) = \sigma^2(s_0) = \sigma^2(h), \text{ то} \quad (12)$$

$$\sigma(s''_0) = 3.6 \sigma(s_0)$$

Допуск замыкающего звена составит

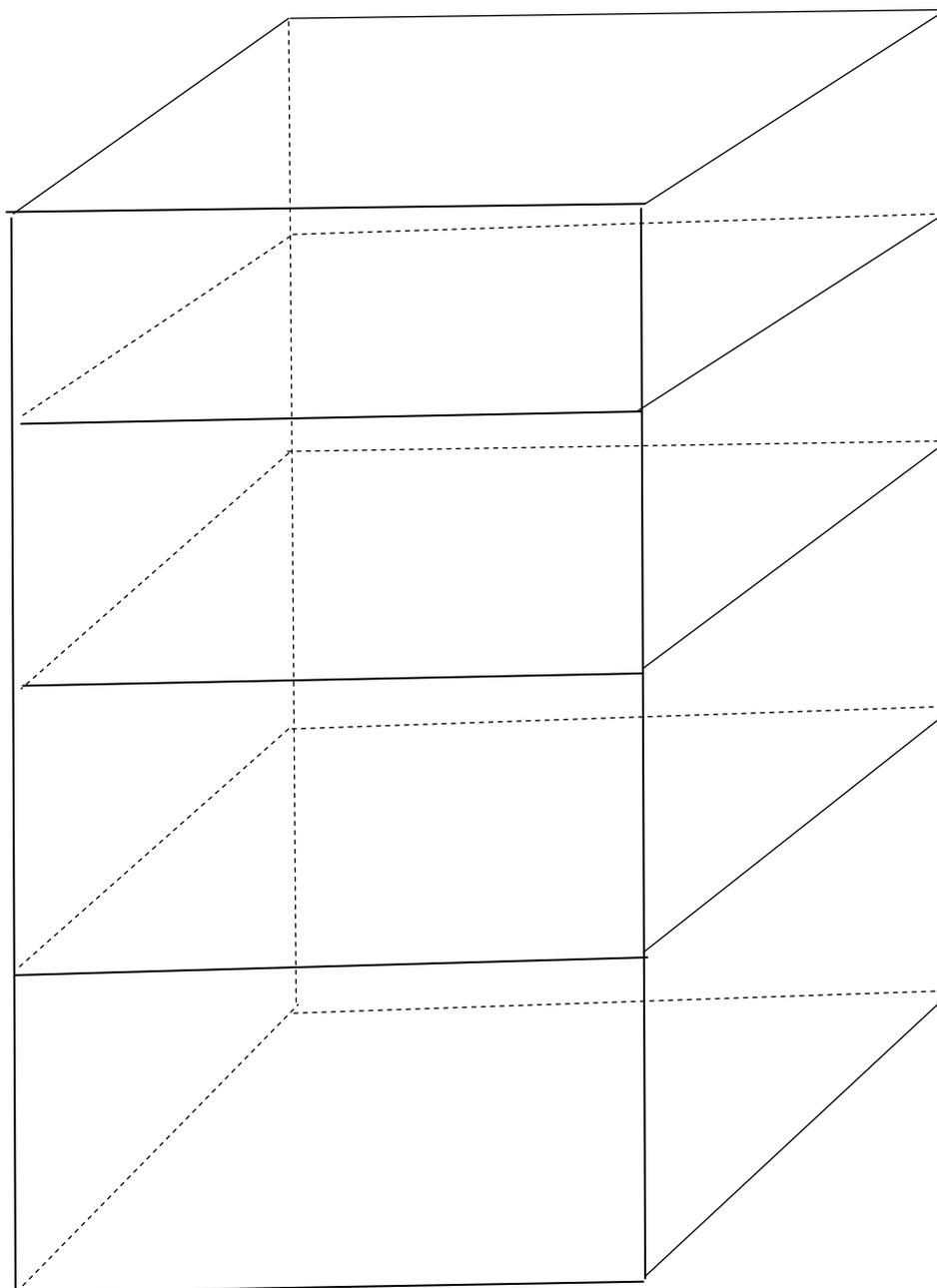
$$\Delta(s''_1) = 7.2 t\sigma(s_0) \quad (13)$$

Отсюда можно получить формулу для допусков составляющих звеньев

$$\Delta(s_0) = \Delta s''_1 / 3,6.$$

Следовательно,

$$\sigma(\alpha_1) = \sigma(\alpha_2) = \sigma(\alpha_3) = \sigma(\alpha_4) = \frac{\Delta(s''_1)}{21,6 s_0};$$



**Рис.3. поэтажная система пространственных размерных цепей.**

$$\sigma(s_1) = \sigma(s_2) = \sigma(s_3) = \sigma(s_4) = \sigma(s'_2) = \sigma(s'_3) = \sigma(s'_4) = \frac{\Delta(s''_1)}{21.6} ;$$

$$\sigma(h_{12}) = \sigma(h_{23}) = \sigma(h_{34}) = \frac{\Delta(s''_1)}{21.6 s_0} \quad (15)$$

Например, для  $\Delta(s''_1) = 5\text{см}$ ;  $s_0 = 3\text{м}$  и  $s'_0 = 6\text{м}$  будет

$$\sigma(\alpha_1) = \sigma(\alpha_2) = \sigma(\alpha_3) = \sigma(\alpha_4) = 2,6'$$

$$\sigma(\beta_2) = \sigma(\beta_3) = 1,3' ;$$

$$\sigma(s_1) = \sigma(s_2) = \sigma(s_3) = \sigma(s_4) = \sigma(s'_2) = \sigma(s'_3) = \sigma(s'_4)$$

$$= \sigma(h_{12}) = \sigma(h_{23}) = \sigma(h_{34}) = 2,3\text{мм}.$$

Расчёт систем пространственных размерных цепей.

Продолжим ранее приведённый расчёт для системы пространственных размерных цепей (рис.3). В этой поэтажной системе пространственных размерных цепей СКП положения вершин размерной цепи Г'2'3'4' находят по формулам (1),(2) – в плане и по формулам (3),(4) – по высоте i.

Для определения СКП замыкающего звена  $s'_1$  в плане и по высоте служат формулы (5). Общее СКП этого звена вычисляют по формуле (6).

СКО положения вершин поэтажной пространственной цепи будут:

по высоте

$$\sigma(1'') = \sqrt{\sigma^2(1') + n\sigma^2(s_1)} = \sigma(s_0)\sqrt{n};$$

$$\sigma(2'') = \sqrt{\sigma^2(2') + n\sigma^2(s_2)} = \sqrt{\sigma^2(h) + n\sigma^2(s_0)}; \quad (16)$$

$$\sigma(3'') = \sqrt{\sigma^2(3') + n\sigma^2(s_3)} = \sqrt{2\sigma^2(h) + n\sigma^2(s_0)};$$

$$\sigma(4'') = \sqrt{\sigma^2(4') + n\sigma^2(s_4)} = \sqrt{3\sigma^2(h) + n\sigma^2(s_0)};$$

в плане

$$\begin{aligned}
\sigma(1'') &= \sqrt{\sigma^2(1') + ns^2_0\sigma^2(\alpha)} = s_0 \sigma(\alpha)\sqrt{n}; \\
\sigma(2'') &= \sqrt{\sigma^2(2') + ns^2_0\sigma^2(\alpha)} = \sqrt{\sigma^2(s^2_0) + ns^2_0\sigma^2(\alpha)}; \\
\sigma(3'') &= \sqrt{\sigma^2(3') + ns^2_0\sigma^2(\alpha)} = \sqrt{3\sigma^2(s^2_0) + ns^2_0\sigma^2(\alpha)}; \\
\sigma(4'') &= \sqrt{\sigma^2(4') + ns^2_0\sigma^2(\alpha)} = \sqrt{6\sigma^2(s^2_0) + ns^2_0\sigma^2(\alpha)}.
\end{aligned} \tag{17}$$

Общее СКП замыкающего звена составит

$$\begin{aligned}
\sigma(s''_1) &= \sqrt{\sigma^2(1'') + \sigma^2(1'') + \sigma^2(4'') + \sigma^2(4'')} \\
&= \sqrt{ns^2_0\sigma^2(\alpha) + n\sigma^2(s_0) + 6\sigma^2(s'_0) + ns^2_0\sigma^2(\alpha) + 3\sigma^2(h) + n\sigma^2(s_0)} \\
&= \sqrt{6\sigma^2(s'_0) + 2ns^2_0\sigma^2(\alpha) + 2\sigma^2(s_0) + 3\sigma^2(h)}.
\end{aligned} \tag{18}$$

$$\text{Если } \sigma(\alpha) = \sigma(s_0)/s_0; \sigma^2(s'_0) = \sigma^2(s_0) = \sigma^2(h), \text{ то} \tag{19}$$

$$\sigma(s''_1) = \sigma(s_0)\sqrt{4n + 9}.$$

Допуск замыкающего звена будет

$$\Delta(s''_1) = 2t\sigma(s_0)\sqrt{4n + 9} = \Delta(s_0)\sqrt{4n + 9} \tag{20}$$

Допуски составляющих звеньев определяют по формулам:

$$\Delta(s_0) = \Delta(s''_1)\sqrt{4n + 9} \tag{21}$$

Или

$$\sigma = \frac{\Delta(s''_1)}{6\sqrt{4n+9}} \tag{22}$$

Например, для  $\Delta(s''_1) = 5\text{ см}, s_0 = 3\text{ м}, s'_0 = 6\text{ м}$  и  $n = 10$

получим  $\sigma(s_0) = 1,2\text{ мм}; \sigma(\alpha) = 1,4'\sigma(\beta) = 0,7'$ .

Замыкающим может быть принято и другое звено, например  $s''_3$ . Тогда, возвращаясь к размерной цепи Г2'3'4', получим СКП положения ее вершин в плане:

$$\begin{aligned}
\sigma(1) &= 0; \sigma(2') = \sqrt{\sigma^2(s'_2) + s'_2 \sigma^2(\beta)}; \\
\sigma(3') &= \sqrt{\sigma^2(s'_1) + \sigma^2(s'_4) + s'_4 \sigma^2(\beta)}; \\
\sigma(4') &= \sigma(s'_1)
\end{aligned} \tag{23}$$

Для  $\sigma(s'_1) = \sigma(s'_2) = \sigma(s'_3) = \sigma(s'_4) = \sigma(s'_0)$ ;

$$\sigma = (\beta_1) = (\beta_4) = (\beta);$$

$$s'_1 = s'_2 = s'_3 = s'_4 = s'_0;$$

$$\sigma(\beta) = \sigma(s'_0)/s'_0; \quad \text{найдем}$$

$$\sigma(1) = 0; \quad \sigma(2') = \sigma(s'_0)\sqrt{2};$$

$$\sigma(3') = \sigma(s'_0)\sqrt{3}; \sigma(4') = \sigma(s'_0); \tag{24}$$

СКП положения вершин этой цепи по высоте будут:

$$\sigma(1) = 0; \sigma(2') = \sigma(h_{12});$$

$$\sigma(3') = \sqrt{\sigma(h_{14}) + \sigma(h_{34})};$$

$$\sigma(4') = \sigma(h_{14}). \tag{25}$$

Если  $\sigma(h_{12}) = \sigma(h_{14}) = \sigma(h_{34}) = \sigma(h)$ ; то

$$\sigma(1) = 0; \sigma(2') = \sigma(h) = \sigma(h_{34}) = \sigma(h)\sqrt{2}; \sigma(4') = \sigma(h). \tag{26}$$

СКП замыкающего звена 2'3' в плане и по высоте составят:

$$\sigma(s'_3) = \sqrt{\sigma^2(2') + \sigma^2(3')} = \sqrt{2\sigma^2(s'_0) + 3\sigma^2(s'_0)} = \sigma(s'_0)\sqrt{5}; \tag{27}$$

$$\sigma (s' _3) = \sqrt{\sigma^2(2') + \sigma^2(3')} = \sqrt{\sigma^2(h) + 2\sigma^2(h)} = \sigma(h)\sqrt{3};$$

Общее СКП замыкающего звена 2'3' определяется по формуле:

$$\sigma (s' _3) = \sqrt{\sigma^2(s' _3) + \sigma^2(s' _3)} = \sqrt{5\sigma^2(s' _0) + 3\sigma^2(h)}; \quad (28)$$

В случае, когда  $\sigma (h) = \sigma (s' _0)$ , найдём

$$\sigma_0(s' _3) = \sigma (s' _0)\sqrt{8} \quad (29)$$

СКП положения вершин цепи 1' 2' 3' 4' по высоте вычисляются по формулам:

$$\sigma(1^n) = \sqrt{\sigma^2(1') + n\sigma^2 (s_0)} = \sigma(s_0)\sqrt{n};$$

$$\sigma(2^n) = \sqrt{\sigma^2(2') + n\sigma^2 (s_0)} = \sqrt{\sigma^2(h) + n\sigma^2(s_0)}; \quad (30)$$

$$\sigma(3^n) = \sqrt{\sigma^2(3') + n\sigma^2 (s_0)} = \sqrt{2\sigma^2(h) + n\sigma^2(s_0)};$$

$$\sigma(4^n) = \sqrt{\sigma^2(4') + n\sigma^2 (s_0)} = \sqrt{3\sigma^2(h) + n\sigma^2(s_0)};$$

Если  $\sigma (h) = \sigma (s' _0) = \sigma(s_0)$ , то

$$\sigma(1^n) = \sqrt{\sigma^2(1') + ns^2_0\sigma^2(\alpha)} = s_0\sigma (\alpha)\sqrt{n};$$

$$\sigma(2^n) = \sqrt{\sigma^2(2') + ns^2_0\sigma^2(\alpha)} = \sqrt{2\sigma^2(s_0) + ns^2_0\sigma^2(\alpha)};$$

$$\sigma(3^n) = \sqrt{\sigma^2(3') + ns^2_0\sigma^2(\alpha)} = \sqrt{3\sigma^2(s_0) + ns^2_0\sigma^2(\alpha)};$$

$$\sigma(4^n) = \sqrt{\sigma^2(4') + ns^2_0\sigma^2(\alpha)} = \sqrt{\sigma^2(s_0) + ns^2_0\sigma^2(\alpha)};$$

Если  $\sigma (h) = \sigma (s' _0) = \sigma(s_0)$ , то

$$\begin{aligned}\sigma(1^n) &= \sigma(s_0)\sqrt{n}; \sigma(2^n) = \sigma(s_0)\sqrt{n+1}; \\ \sigma(3^n) &= \sigma(s_0)\sqrt{n+2}; \sigma(4^n) = \sigma(s_0)\sqrt{n+1};\end{aligned}\tag{31}$$

СКП положения вершин цепи  $1^n 2^n 3^n 4^n$  в плане будут:

$$\begin{aligned}\sigma(1^n) &= \sqrt{\sigma^2(1') + ns^2_0\sigma^2(\alpha)} = s_0\sigma(\alpha)\sqrt{n}; \\ \sigma(2^n) &= \sqrt{\sigma^2(2') + ns^2_0\sigma^2(\alpha)} = \sqrt{2\sigma^2(s_0) + ns^2_0\sigma^2(\alpha)}; \\ \sigma(3^n) &= \sqrt{\sigma^2(3') + ns^2_0\sigma^2(\alpha)} = \sqrt{3\sigma^2(s_0) + ns^2_0\sigma^2(\alpha)}; \\ \sigma(4^n) &= \sqrt{\sigma^2(4') + ns^2_0\sigma^2(\alpha)} = \sqrt{\sigma^2(s_0) + ns^2_0\sigma^2(\alpha)};\end{aligned}\tag{32}$$

Для  $\sigma(\alpha) = \sigma(s_0)/s_0$ , получим

$$\begin{aligned}\sigma(1^n) &= \sigma(s_0)\sqrt{n}; \sigma(2^n) = \sigma(s_0)\sqrt{n+2}; \\ \sigma(3^n) &= \sigma(s_0)\sqrt{n+3}; \sigma(4^n) = \sigma(s_0)\sqrt{n+1};\end{aligned}\tag{33}$$

СКП замыкающего звена  $s^n_3$  в плане и по высоте будут:

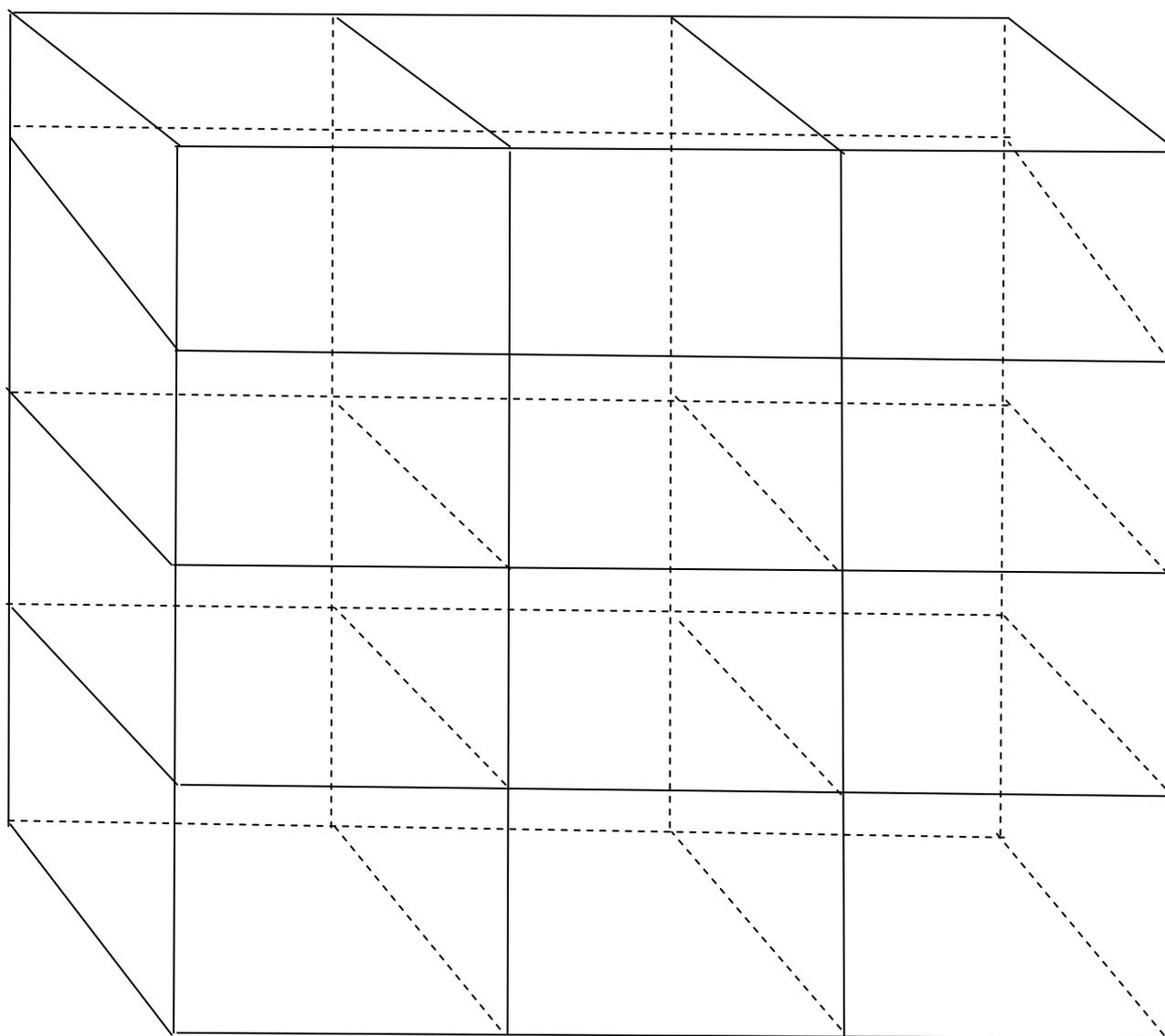
$$\begin{aligned}\sigma(s^n_3) &= \sqrt{\sigma^2(2^n) + \sigma^2(3^n)} = \sigma(s_0)\sqrt{2n+5}; \\ \sigma(s^n_3) &= \sqrt{\sigma^2(2^n) + \sigma^2(3^n)} = \sigma(s_0)\sqrt{2n+3};\end{aligned}\tag{34}$$

Общее СКП этого звена вычисляют по формуле:

$$\sigma(s^n_3) = \sqrt{\sigma^2(s^n_3) + \sigma^2(s^n_3)} = \sigma(s_0)\sqrt{4n+8};\tag{35}$$

Дальнейшим расчёт допусков замыкающего и составляющих звеньев не представляет затруднений.

Выполним расчёт сложной системы пространственной размерных цепей (рис.4). Допустим, что все ее блоки аналогичны поэтажной системе пространственных размерных цепей (рис.3).



**Рис.4. Сложная система пространственных размерных цепей**

Замыкающее звено может быть выбрано различным образом. Например, для подсчёта допуска замыкающего звена  $s^n_3$  нужно вычислить допуски замыкающих звеньев  $s^n_1$  и  $s^n_2$  по первому и второму блокам цепи. Более целесообразно определить СКП положения вершин СКП положения вершин цепи  $A^n B^n C^n D^n$ .

Они составят:

в плане

$$\sigma(A^n) = 0; \sigma(B^n) = \sigma(s_0);$$

$$\sigma(C^n) = \sigma(s_0)\sqrt{18+n}; \sigma(D^n) = \sigma(s_0)\sqrt{17+n}; \quad (36)$$

по высоте

$$\sigma(A^n) = 0; \sigma(B^n) = \sigma(s_0);$$

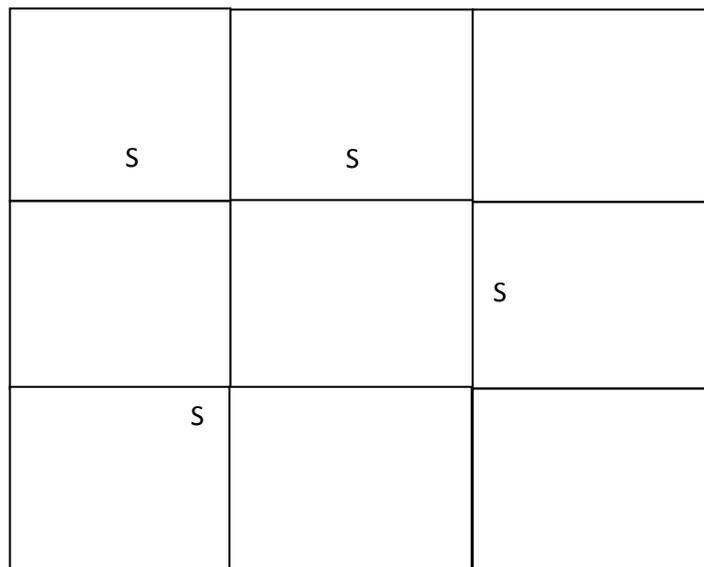
$$\sigma(C^n) = \sigma(s_0)\sqrt{4+n}; \sigma(D^n) = \sigma(s_0)\sqrt{3+n}; \quad (37)$$

Общие СКП положения вершин замыкающего звена будут

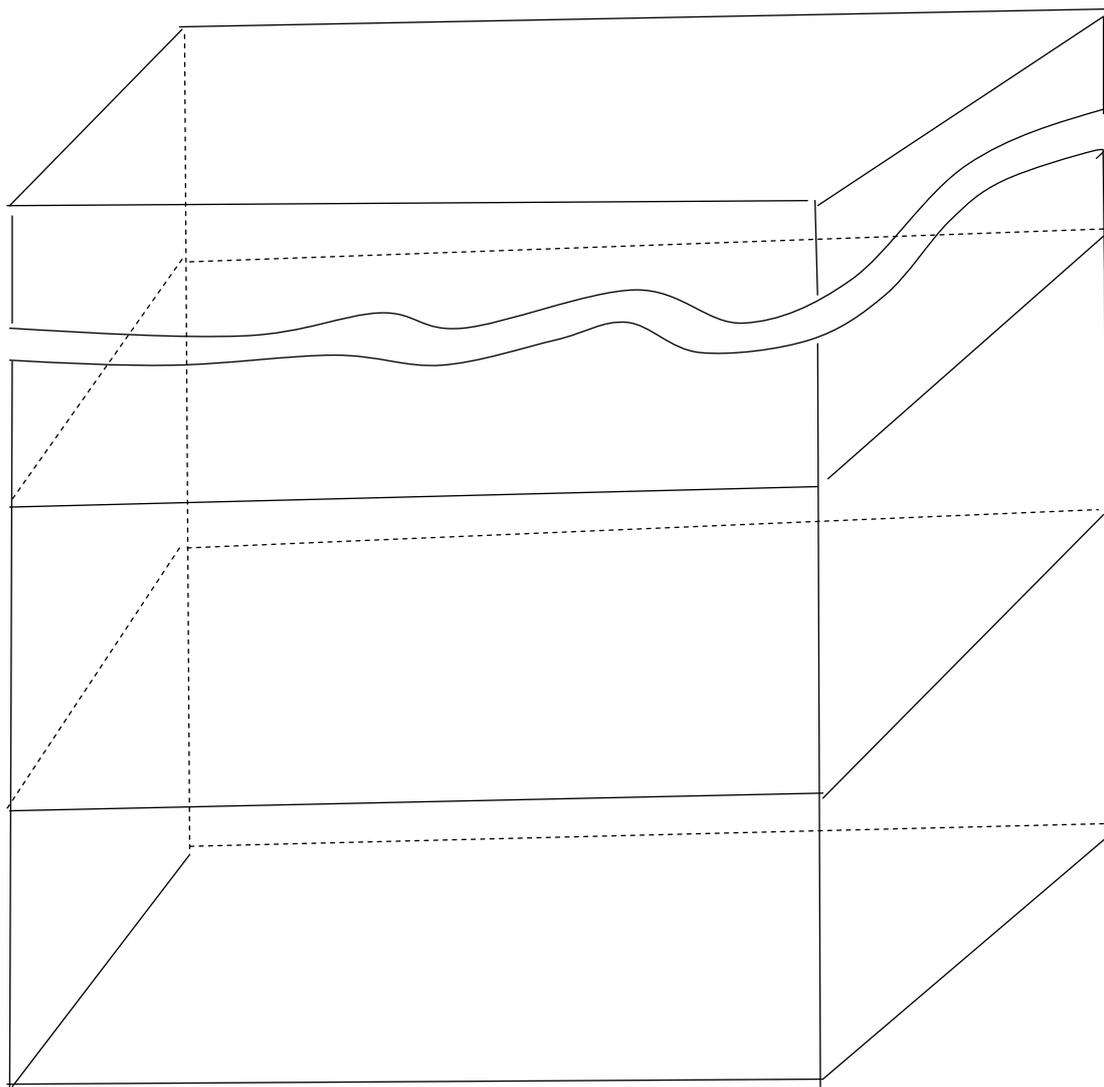
$$\sigma_0(C^n) = \sigma(s_0)\sqrt{22+2n}; \sigma_0(D^n) = \sigma(s_0)\sqrt{20+2n}; \quad (38)$$

Формула для СКП замыкающего звена приобретет следующий вид

$$\sigma(s^n_3) = \sigma(s_0)\sqrt{4n+42}; \quad (39)$$



**Рис.5. Преобразование к линейному виду плоская размерная цепь**



**Рис.6. Преобразование к линейному виду пространственная размерная  
цепь**

## 1.1. Пространственный геодезические сети.

### Допуска относительно $\sigma$ базисной фигуры.

От пунктов и сторон пространственной геодезической сети монтажные оси, на которых определяются маяки, необходимые монтажа конструкций. Наибольшее значения погрешность замыкания строительных конструкций приобретает на последнем по высоте монтажном горизонте. Источниками возникновения её являются случайные и систематические погрешности в размерах элементов строительных конструкций, производстве строительномонтажных и разбивочных работ. Если такие частные среднеквадратические погрешности принять равными  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , то средняя квадратическая погрешность замыкания конструкций будет

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + 2r\sigma_2\sigma_3} \quad (40)$$

В этой формуле учтено, что погрешности строительномонтажных и разбивочных работ корреляционно зависимы. Такая зависимость характеризуется коэффициентом корреляции  $r$ . Она вызвана тем, что в образовании  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  действовал общий источник погрешностей геодезических и технических измерений, а также фиксации опорных пунктов и маяков. Обозначив среднее квадратическое значение такой погрешности через  $\sigma_0$  можно считать, что

$$\sigma_2 = \sqrt{\sigma_{21}^2 + \sigma_0^2} \quad \text{и} \quad \sigma_3 = \sqrt{\sigma_{31}^2 + \sigma_0^2} \quad (41)$$

К такому представлению о связи погрешностей разбивочных и строительных–монтажных работ приходится прибегать, так как эмпирическое значение коэффициента теоретическим путем

решим уравнение

$$\sigma^2_2 + \sigma^2_3 + 2r\sigma_2\sigma_3 = \sigma^2_{21} + \sigma^2_{31} + \sigma^2_0 \quad (42)$$

Подставим значения  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  найденные по формулам (41), левую часть уравнения. Тогда

$$r = \frac{0,5\sigma^2_0}{\sqrt{\sigma^2_{21} + \sigma^2_0}\sqrt{\sigma^2_{31} + \sigma^2_0}} \quad (43)$$

Практически стремятся к тому, чтобы действие погрешностей измерений мало влияло на точность строительно-монтажных работ. Если принять, что  $\sigma_{21} = \sigma_{31} = 4\sigma_0$  то  $r \approx -0.05$ . Такой корреляционной связью погрешностей разбивочных и строительно-монтажных работ можно пренебречь и в формуле (40), отбросить последний член в подкоренном выражении. Кроме того, достаточно реально принять, что  $\sigma_2 = \sigma_1 = 2\sigma_3$ .

Тогда

$$\sigma_2 = 0,33\sigma \quad (44)$$

В образовании  $\sigma_3$  участвует большое число источников погрешностей. На последнем по высоте монтажном горизонте наиболее существенную роль играют погрешности наблюдения при установке строительных конструкции относительно маяков  $\sigma_4$ , определения этих маяков на монтажных осях  $\sigma_5$ , разбивке монтажных осей относительно пунктов пространственной геодезической сети  $\sigma_6$  на рассматриваемом монтажном горизонте, определения таких пунктов относительно базисной фигуры  $\sigma_7$  - и определения самих пунктов базисной фигуры  $\sigma_8$ . Принимая, что приведённые погрешности независимы, обозначая их средние квадратические значения

Соответственно

$$\sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7, \sigma_8, \text{ получим } \sigma_3 = \sqrt{\sigma_4^2 + \sigma_5^2 + \sigma_6^2 + \sigma_7^2 + \sigma_8^2} \quad (45)$$

Тщательно учёт характера действия каждой из указанных частных погрешностей может быть выполнен лишь для конкретных условий возведения здания или сооружения. Для предварительного расчёта необходимой точности построения пространственной геодезической сети достаточно задаться более или менее реальными соотношениями частных погрешностей. На строительной площадке минимальное значение будет иметь  $\sigma_8$ . Допустим, что ортогональное проектирование пункта базисной фигуры на  $n$ -й монтажный горизонт выполняется со средней квадратической погрешностью  $\sigma_3 = 2\sigma_0\sqrt{n}$ .

Достаточно реально принять, что,  $\sigma_6 = \sigma_5 = \sigma_8$  и  $\sigma_4 = 2\sigma_0$ . Отсюда

$$\sigma_3 = \sigma_8\sqrt{7 + 4n}. \quad (46)$$

Следовательно, погрешность определения взаимного положения пунктов базисной фигуры не должна превышать

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_3}{\sqrt{7+4n}} = 0.33 \frac{\sigma_3}{\sqrt{7+4n}} \quad (47)$$

Аналогично найдём

$$\sigma_3 = 0.66 \sigma \frac{n}{\sqrt{7+4n}}, \quad \sigma_6 = \sigma = 0.3 \frac{\sigma}{\sqrt{7+4n}},$$

$$\sigma_4 = 0.66 \frac{\sigma}{\sqrt{7+4n}}, \quad (48)$$

**Вывод:** Допуски указываются для замыкания конструкций в плане и по высоте. Поэтому расчёт необходимой точности выполнения геодезических работ по формулам (47) и (48) ведется также в плане и по высоте.

## 1.2. Допуски относительно других ранее смонтированных элементов.

Допуски указываются не относительно исходного пункта базисной фигуры, а характеризуют возможные смещения элементов сооружения или здания относительно других ранее смонтированных элементов. Например, указывается допуск  $\sigma'$ , определяющий

$$\sigma_3 = \sqrt{\sigma_4^2 + \sigma_5^2 + \sigma_6^2} = 0,33 \sigma' \quad (49)$$

Сохраняя прежнюю модель разбивочных работ, получим

$$\sigma_3 = \sigma_8 \sqrt{6} = 0,33 \sigma' \quad \text{или} \quad \sigma_8 \approx 0,14 \sigma' \quad (50)$$

$$\text{Отсюда} \quad \sigma_7 = 0,28 \sigma' \sqrt{n}, \quad \sigma_8 = \sigma_5 = 0,14 \sigma' \quad \text{и} \quad \sigma_4 = 0,28 \sigma' \quad (51)$$

Теперь для  $\sigma' = 5$  мм и  $n = 4$

найдем  $\sigma_8 = \sigma_6 = \sigma_5 = 0,7$  мм,  $\sigma_7 = 1,4\sqrt{n}$  мм и  $\sigma_4 = 1,4$  мм. Конечно, и в этом случае требуется производство точных геодезических и технических измерений. Чаще ограничиваются допуском при котором  $\sigma''$ ,

$$\sigma_4 = 0,33 \sigma'' \quad (52)$$

$$\text{Тогда} \quad \sigma_8 = \sigma_6 = \sigma_5 \approx 0,17 \sigma'', \quad \sigma_7 = 0,33 \sigma'' \sqrt{n} \text{ мм}$$

Например, для  $\sigma' = 5$  мм и  $n = 4$  (53)

получим  $\sigma_4 \approx 1.6$  мм,  $\sigma_5 = \sigma_6 = \sigma_8 \approx 0,8$  мм, и  $\sigma_7 = 1,6\sqrt{n}$  мм.

**Вывод:** При расчёте необходимой и точности геодезических разбивочных работ нужно иметь четкое представление, относительно каких осей требуется соблюдения заданную среднюю квадратическую погрешность замыкания строительных конструкций.

Существенную роль играет повышение точности изготовления и монтажа строительных конструкций.

Если  $\sigma = \sigma_2 = \sqrt{\sigma_3}$ , то  $\sigma_3 = 0,14 \sigma$  (54)

В этом случае для  $\sigma_4 = \sigma_5 = \sigma_6 = \sigma_8$  и  $\sigma_7 = \sigma_8\sqrt{n}$ , получим  
 $\sigma_3 = \sigma_8\sqrt{4+n}$ , (55)

Отсюда,

$\sigma_8 = 0,41 \frac{\sigma}{\sqrt{4+n}}$ ;  $\sigma_8 = 0,41\sigma \frac{n}{\sqrt{4+n}}$ ;  $\sigma_4 = \sigma_5 = \sigma_6 = \sigma_8$  (56)

Если  $\sigma = 5$  мм и  $n = 4$ , то  $\sigma_8 = \sigma_6 = \sigma_5 = \sigma_4 \approx 0,8$  мм, а  $\sigma_7 \approx 0,8\sqrt{n}$

Однако иные допуски возникнут, если

$\sigma_3 = \sqrt{\sigma_4^2 + \sigma_5^2 + \sigma_6^2} = 0,41 \sigma'$  (57)

Тогда  $\sigma_8 = 0,24 \sigma'$ ,  $\sigma_7 = 0,24\sigma'\sqrt{n}$ ,  $\sigma_4 = \sigma_5 = \sigma_6 = 0,24 \sigma'$  (58)

Для  $\sigma = 5$  мм и  $n = 4$ ,  $\sigma_4 = \sigma_5 = \sigma_6 = \sigma_8 = 1.2$  мм и  $\sigma_7 = 1,28\sqrt{n}$  мм.

В наиболее простом случае  $\sigma_4 = 0.41''$  (59)

Отсюда  $\sigma_5 = \sigma_6 = \sigma_8 = 0,41 \sigma''$  и  $\sigma_7 = 0,41\sigma''\sqrt{n}$  (60)

Если  $\sigma'' = 5$  мм и  $n = 4$ , получим  $\sigma_4 = \sigma_5 = \sigma_6 = \sigma_8 = 2,1$  мм и  
 $\sigma_7 = 2\sqrt{n}$  мм.

**Вывод:** Допуск  $\sigma$  характеризует точность возведения здания или сооружения в целом. При заданных значениях  $\sigma'$  и  $\sigma''$  такая характеристика определяется по формулам

$$\sigma = 1,7 \text{ мм} \sigma' \sqrt{0,23 + 0,06n} \quad (61)$$

$$\sigma = 1,7 \text{ мм} \sigma'' \sqrt{0,68 + 0,17n} \quad (62)$$

Пример: примем  $\sigma' = \sigma'' = 55 \text{ мм}$ , тогда

Формула расчёта	Этаж	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(59)	$\sigma^2_4 = \sigma^2_5$ $= \sigma^2_6$ $= \sigma^2_8(\text{мм})$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
(59)	$\sigma^2_7(\text{мм})$	1,2	1,7	2,1	2,4	2,7	2,9	3,2	3,4	3,6
(60)	$\sigma''_4 = \sigma''_5 = \sigma''_6$ $= \sigma''_8(\text{мм})$	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
(61)	$\sigma''_7(\text{мм})$	2,1	3,0	3,6	4,2	4,7	5,1	5,6	5,9	6,3
(62)	$\sigma$ при $\sigma'$	4,6	5,0	5,4	6,0	6,2	6,5	6,9	7,2	7,5
(63)	$\sigma$ при $\sigma''$	7,8	8,6	9,3	9,9	10,5	11,1	11,6	12,1	12,6
(58)	$\sigma_3$ при $\sigma'$	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
(55)	$\sigma_3$	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
(52)	$\sigma_4$	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
(52) (50)	$\sigma_5 = \sigma_6$ $= \sigma_8$	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
(52)	$\sigma_7$	0,7	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1
(50)	$\sigma_3$	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
(53)	$\sigma_4$	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
(54)	$\sigma_5 = \sigma_6$ $= \sigma_8$	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
(54)	$\sigma_7$	1,6	2,3	2,8	3,2	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8

### 1.3. Погрешность пунктов базисной фигуры, приближенный расчёт точности.

Например, для  $n=4$ ,  $\sigma'$  и  $\sigma''$ , равным 5 мм, получим, что  $\sigma$  составляет 6 и 10 мм. Следует заметить, что выбор той или иной математической модели накопления погрешностей при возведении здания или сооружения весьма сильно влияет на необходимую точность построения пространственной геодезической сети, конструкцию её и методы измерения элементов сети. К сожалению, ещё нет достаточно глубоко разработанной теории строительно-монтажных работ, нет и большого опыта создания пространственных геодезических сетей. Нельзя считать основательно разработанными допуски на замыкание строительных конструкций. Поэтому важное значение имеют дальнейшие исследования по строительной метрологии и специальным инженерно-геодезическим сетям.

Создание пространственной геодезической сети относится к исключительно ответственным геодезическим работам. Сложность выполнения таких работ начинается с построения базисной фигуры. Это линейно-угловая сеть. Найденные допуски взаимного положения пунктов такой сети рассчитаны для пунктов, расположенных в наиболее слабом её месте. Они включают в себя погрешности измерений, фиксации пунктов и редуцирования. Если средние квадратические значения этих погрешностей считать

$\sigma_{81}, \sigma_{82}, \sigma_{83}$ , то

$$\sigma_8 = \sqrt{\sigma_{81}^2 + \sigma_{82}^2 + \sigma_{83}^2} \quad (63)$$

Практически можно принять, что  $\sigma_{82} = 0,1$  мм,  $\sigma_{83} = 0,3$  мм.

$$\text{Тогда } \sigma_8 = \sqrt{\sigma_8^2 - 0,1} \text{ мм} \quad (64)$$

Для ранее приведенных трех систем допусков ( $\sigma, \sigma'$  и  $\sigma''$ ) и условий, при которых выведены формулы (56), относящиеся к допуску  $\sigma$ , формулы (58), относящиеся к допуску  $\sigma'$ , и формулы (60), относящиеся к допуску  $\sigma''$ ,

получим

$$\sigma_{81} = \sqrt{\frac{0,16\sigma^2}{4+n}} - 0,1; \quad \sigma_{81} = \sqrt{0,06} \sigma' - 0,1; \quad \sigma_{81} = \sqrt{0,06} \sigma'' - 0,1; \quad (65)$$

Принимая, что  $\sigma, \sigma'$  и  $\sigma''$  равны 5 мм и  $n=4$ , найдём  $\sigma_{81} = 0,7; 1,2$  и  $2,0$  мм. И базисной фигуре измеряют не только необходимые –  $R$ , но и избыточные (дополнительные)  $n - R$  элементы. Это приводит к повышению веса  $P$  определяемых пунктов по сравнению с их весом, полученным при отыскании положения пунктов по сравнению с результатом необходимых измерений. Если средняя квадратическая погрешность единицы веса будет  $\sigma_0$ , то

$$\sigma_{81} = \frac{\sigma_0}{\sqrt{P}} = \sigma_0 \sqrt{\frac{R}{n}} \quad (66)$$

Например, в линейно-угловой базисной фигуре, имеющей вид веского четырехугольника,  $R= 5$  и  $n = 14$ . Следовательно,  $\sigma_{81} \approx 0,36 \sigma_0$ . При заданном значении  $\sigma_{81}$  средняя квадратическая погрешность определения положения пункта по результатам необходимых измерений не должна превышать

$$\sigma_0 = \sigma_{81} \sqrt{\frac{n}{R}} \quad (67)$$

В ранее приведенном случае  $\sigma_p = 2,8 \sigma_{81}$  и  $\sigma_0 = 2,0; 3, 4$  и  $5, 6$  мм. Для приближённого расчёта точности базисной фигуры можно принять, что

$$\sigma_p = \sqrt{m^2(S) + S \frac{m^2(\beta)}{\rho^2}} \quad (68)$$

где  $S$  -длина стороны фигуры;

$m(S)$ - средняя квадратическая погрешность измерения этой длины.

## Глава II. Погрешности геодезических измерений и оценка их точности.

Количественное измерение геометрических параметров является неотъемлемой операцией технологических процессов и контроля деталей, конструкции и габаритов зданий и сооружений. Измерить некоторый параметр  $Q$  это значит сравнить его с другим значением  $q$ , принятым за единицу измерений, и выразить первое значение в долях последнего. В математической форме это выглядит так:

$$Q = r q$$

где  $r$  - любое положительное целое или дробное число, показывающее, во сколько раз  $Q$  больше или меньше  $q$ . В качестве истинного значения геометрического параметра принимают такое его значение, которое идеальным образом отражает в качественном и количественном отношениях свойство измеряемого объекта. Понятие истинного значения измеренной величины тождественно понятию номинального или проектного значения. Значение параметра, которое настолько приближается к истинному, что может быть использовано вместо него, называется действительным значением параметра. Степень приближения измеренного значения параметра к истинному (действительному) характеризуется точностью измерения (получения, вычисления) этого параметра. Точность измерений определяется числовыми значениями, которые могут выражаться в единицах параметра или в безразмерной относительной форме. Точность измерений зависит от характера и цели измерений, применяемых методов и приборов. При всех измерительных операциях она должна быть оптимальной, так как грубые измерения приводят к ошибочным выводам и браку, а необоснованное завышение точности увеличивает затраты времени и средств на их производство.

Параметр можно получить прямыми (непосредственными) или косвенными (посредственными) измерениями, при которых его находят как функцию непосредственных измерений величин. Различают измерения необходимые, дающие только одно значение измеряемой величины и повторные (дополнительные), в результате которых получают несколько значений измеряемой величины. Точность измерений можно оценить только при наличии повторных измерений. Для контроля и оценки точности необходимо, по крайней мере, два раза измерить один и тот же параметр. Любое измерение является процессом, который предполагает наличие в момент измерений следующих фактов: объекта измерения, оператора (лица, выполняющего измерение), измерительного прибора, метода измерений и среды, в которой ведутся измерения. В соответствии с этими факторами различают следующие погрешности:

- объекта измерения, связанные с изменением измеряемой величины в процессе измерений, неоднородностью объекта измерения, нечеткими границами его и т. п.;
- личные, зависящие от психологических особенностей оператора и его квалификации (эти погрешности полностью устраняются при автоматизированных системах измерений);
- инструментальные, возникающие вследствие недостаточной точности приборов, несвоевременного выполнения их поверок и т.д.;
- метода, обусловленные упрощением используемых формул, алгоритмов и процессов измерений;
- внешней среды, возникающие от влияния температуры, влажности, освещенности, вибрации и т.д.

Измерения считаются равноточными, если все перечисленные факторы и их влияние на процесс измерений примерно одинаковы в течение всего периода измерений. При неодинаковых в течение всего периода измерений, разность  $S$  между измеренным  $x$  и истинным (действительным) номинальным проектным значением физической величины  $X$

$$S = X_1 - X$$

называется истинной (действительной) абсолютной погрешностью. Абсолютные погрешности измерений, как правило состоят из двух компонент: систематической  $\zeta$  и случайной  $\eta$ . Систематические погрешности имеют конкретный знак и накапливаются по определенному функциональному закону в результате односторонне действующих факторов. Они должны исключаться из результатов измерений путем введения поправок или компенсироваться соответствующей организацией методики и обработки измерений. Случайные погрешности, возникающие в результате несовершенства техники и методов измерений, изменения внешних условий, округления чисел при отсчетах и т.п. неизбежны и полностью исключить их из результатов измерений невозможно. Принципы и методы, положенные в основу обработки результатов измерений и их оценки, применимы, главным образом, к случайным погрешностям. Отличительными свойствами случайных погрешностей являются следующие: положительные и отрицательные погрешности одинаково часто встречаются в рядах измерений: среднее арифметическое из случайных погрешностей измерений одной и той же физической величины, выполненных при одинаковых условиях, приближается к нулю при возрастании числа измерений: чем больше абсолютная величина погрешности, тем реже она встречается в ряду измерений, одинаковых по точности; по абсолютной величине случайные погрешности практически не могут превосходить определенного предела, величина которого зависит от

условий измерений и их точности. Перечисленные свойства случайных погрешностей заметно проявляются только статистически, т.е. при довольно большом количестве измерений, но их оставляют в силе и при малом числе измерений, хотя в этом случае они не столь очевидны. Одной из разновидностей случайных погрешностей являются промахи или грубые ошибки, значительно превосходящие случайные и систематические погрешности. Промахи приводят к явному браку и их отсутствие во всех измерениях и вычислениях должно быть полностью гарантировано путем обязательного повторения измерений.

При проведении измерений следует придерживаться следующих правил: если систематическая погрешность является определяющей, т.е. её величина существенно больше случайной погрешности, присущей данному методу, то достаточно измерения выполнить только два раза, так как увеличение их числа не повысит точности конечного результата.

Если систематические погрешности меньше случайных, то, увеличивая число измерений, можно получить результат, точность которого будет выше, чем точность одного измерения. Рассмотрим элементы оценки точности результатов измерений. В качестве наилучшего или наиболее надежного истинного значения параметра принимается среднее арифметическое  $\bar{X}$  результатов измерений  $x_i$ .

$$\bar{X} = \sum_i^n X_i / n$$

Мерой точности измерений служит среднее квадратическое отклонение где,

$$m = \sqrt{\sum_{i=1}^n S_i^2 / n}$$

В том случае, когда неизвестно номинальное или действительное значение измеряемой величины, среднее квадратическое отклонение определяется по формуле

$$m = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2 / (n - 1)}$$

Всегда имеет место равенство  $\sum_{i=1}^n u_i = 0$ ,

которое используют для контроля вычислений среднего арифметического. При увеличении числа измерений среднее квадратическое отклонение  $m$  стремится к своему статистическому пределу  $\sigma$ , называемому стандартом распределения погрешностей

$$\lim_{n \rightarrow \infty} m = \sigma = \text{const}$$

Среднее квадратическое отклонение является оценкой стандарта с той или иной степенью точности, в зависимости от числа измерений. Точность получения среднего квадратического отклонения определяется формулой

$$m_m = m \sqrt{2(n - 1)}.$$

Значение среднего квадратического отклонения может быть вычислено по результатам многократных измерений или установлено априорно. Точность среднего арифметического  $X$  характеризуется средним квадратическим отклонением

$$m = m / \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2 / n(n-1)}.$$

Иногда в качестве меры точности принимают среднее отклонение

$$0 = \sum_{i=1}^n |S| / \approx \sum_{i=1}^n |v| / n$$

где  $|S|$ ,  $|v|$  - модули погрешностей.

Для нормального (гауссового) распределения погрешностей между  $0$  и  $m$  существует соотношение  $m \approx 1,250$ , по которому для сокращения вычислений можно найти  $m$  по вычисленному  $0$ . Для сравнения точности измерений двух неравных между собой величин применяют относительные формы оценок точности

$$\frac{m}{x} = \frac{1}{\frac{m}{x}}$$

Относительные погрешности записывают в виде дроби, в числителе которой стоит единица. Значение относительной средней квадратической погрешности, выраженное в процентах, называется коэффициентом вариации  $V = m100/x$ .

Оценки  $\bar{x}$ ,  $m$  измеренной величины  $X$  и стандарта  $\sigma$ , записанные в форме  $X \approx \bar{x} \approx$ ,  $\sigma \approx m$ , называют точечными оценками. Когда требуется отразить в записи точность получения результатов, среднее значение измеренной величины представляют в форме интервальных оценок

$$X \bar{X} \pm m_{\bar{x}}; \sigma = m \pm m_m \text{ или } X = m_{\bar{x}} \leq X \leq \bar{X} + m_{\bar{x}}; m - m_m \leq \sigma \leq m + m_m$$

Интервальные оценки в общем случае указывают вероятность  $P$  нахождения измеренной величины  $X$  и среднего квадратического отклонения  $\sigma$  в заданных пределах и в общем случае записывают в виде неравенств:

$$P(X - t, m_{\bar{X}} \leq X \leq \bar{X} + m_{\bar{X}}) = a;$$

$$P(\gamma, m \leq \sigma \leq \gamma_2 m) = a,$$

Коэффициенты  $t$  и  $\gamma_t$ , находят по специальным таблицам, приведенным в курсах по теории вероятностей и математической статистики.

### **2.1. Расчёт точности линейных и угловых измерений при различных системах допусков.**

Продолжая расчёт точности пространственной геодезической сети при различной системе допусков, найдём  $m(S) = 1,4; 2,4$  и  $4,0$  мм. Если  $S = 24$  м, то  $m(\beta) = 12'', 20'', 35''$ . Такая точность линейных и угловых измерений базисной фигуры соответствует условию равенства погрешностей изготовления строительных конструкций, монтажа и разбивки их. Если же исходить из условия (44), то расчёт нужно выполнять по формулам (47) и (48). Тогда для  $a = 5$  мм и  $n = 4$  получим  $\sigma_8 = 0,4$  мм,  $\sigma_{81} \approx 0,2$  мм,  $\sigma_0 = 0,6$  мм,  $m(S) = 0,4$  мм и  $m(\beta) \approx 5'', 5(S = 24 \text{ м})$ . Соблюдая то же условие, но пользуясь допуском  $\sigma' = 5$  мм, нужно применять формулу (50) и считать, что  $\sigma_8 = 0,7$  мм,  $\sigma_8 \approx 0,6$  мм,  $\sigma_0 = 1,6$  мм,  $m(S) = 1,1$  мм,  $m(\beta) \approx 10'' (S = 24 \text{ м})$ . Если же принимается допуск  $\sigma'' = 5$  мм, то пользуясь формулами (53), получим  $\sigma_8 = 0,8$  мм,  $\sigma_{81} = 0,7$  мм,  $\sigma_0 = 2,0$  мм,  $m(S) = 1,4$  мм и  $m(\beta) = 11'' (S = 24 \text{ м})$ .

Следует иметь в виду, что средние квадратические погрешности выведены для окончательных результатов измерений длин сторон и горизонтальных углов базисной фигуры. Для выбора необходимых приборов

и методов измерений нужно подсчитать средние квадратические погрешности отдельных результатов измерений. При  $n$  приёмах измерений такие погрешности будут

$$m'(S) = m(S)\sqrt{n} \text{ и } m'(\beta) = m(\beta)\sqrt{n} \quad (69)$$

Например, для  $m(S) = 1,0$  мм и  $m(\beta) = 10''$ , в случае  $n = 4$ , получим  $m'(S) = 20$  мм и  $m'(\beta) = 20''$ . Различные варианты расчёта точности измерений элементов базисной фигуры показывают широкие возможности использования для этих измерений обычных геодезических приборов.

**Вывод:** Измерение длин сторон фигуры выполнимо стальными и инварными проволоками, рулетками. Не исключено применение оптического дальномера и короткобазисного параллактического метода определения расстояния. Для измерения горизонтальных углов используются оптические теодолиты соответствующей точности с оптическими отвесами.

## **2.2. Методы проектирования пунктов базисной фигуры на монтажные горизонты.**

Существенное значение имеет правильный выбор мест расположения вершин базисной фигуры и способа их закрепления. Пространственная геодезическая сеть может быть наружной и внутренней. В первом случае пункты ее располагаются вне здания или сооружения. Вершины базисной фигуры проектируются на консольные устройства, закладываемые на монтажных горизонтах и выступающие за наружные стены. Выполнение разбивочных работ от наружной геодезической сети осуществимо тогда, когда при возведении здания или сооружения создаются леса или подвижные подвесные устройства. Более удобной является внутренняя пространственная геодезическая основа, пункты которой располагаются внутри здания или сооружения. Вершины базисной фигуры проектируются на монтажные горизонты сквозь специальные отверстия в перекрытиях - геодезические отверстия или отверстия, предназначенные для санитарно-технических и других коммуникаций. Проектирование вершин базисной фигуры на

монтажные горизонты может быть сквозным и последовательным. В первом случае строится в вершине базисной фигуры вертикальный луч, пронизывающий все монтажные горизонты, а во втором случае осуществляется вертикальное проектирование последовательно с одного горизонта на другой. В обоих случаях нужно считаться с погрешностями  $\sigma(\alpha)$  и  $\sigma(\beta)$  измерения зенитных расстояний  $\alpha = 0$  и  $\beta = 0$  в координатных плоскостях  $xOz$  и  $yOz$ . Средние квадратические погрешности положения ярусного пункта в плане будут

$$\sigma(X) = \sqrt{z^2 \frac{\sigma^2(\alpha)}{p^2}} \sigma_{\phi x} ;$$

$$\sigma(X) = \sqrt{z^2 \frac{\sigma^2(\beta)}{p^2} + \sigma^2 \phi \gamma} , \quad (70)$$

где  $z$ — разность высот ярусов;

$\phi x$  и  $\phi \gamma$ - средние квадратические погрешности центрирования проектирующего прибора и фиксации яруса. Очевидно

$$\sigma(t) = \sqrt{\sigma^2(X) + \sigma^2(\gamma)} = \sqrt{z^2 \frac{\sigma^2(\gamma)}{p^2} + \sigma^2}; \quad (71)$$

$$\text{При этом } \sigma(\gamma) = \sqrt{\sigma^2(\alpha) + \sigma^2(\beta)}; \quad \sigma_{\phi} = \sqrt{\sigma_{\phi x}^2 + \sigma_{\phi \gamma}^2} \quad (72)$$

В случае сквозного проектирования на  $n$  - ярусе погрешность положения пункта будет

$$\sigma_2 = \sqrt{n^2 h^2 \frac{\sigma^2(\gamma)}{p^2} + \sigma_\phi^2}, \quad (73)$$

где  $h$ - межярусное превышение.

Допустим, что  $\sigma_{\phi x} = 0,2\sqrt{2}$ мм,  $\sigma_{\phi y} = 0,2 \sqrt{2}$ мм. Тогда  $\sigma_\phi = 0,4$ мм. При заданных значениях  $\sigma_7, n$  и  $h$  получим

$$\sigma(\gamma) = \frac{P}{nh} \sqrt{\sigma_7^2 - 0,4^2} \quad (74)$$

Если воспользоваться системой допусков, выведенной при условии

$\sigma_1 = \sigma_2 = 2\sigma_3$ , то по формулам (48), (51) и (53) найдём

$$\sigma(\gamma) = \frac{P}{nh} \sqrt{0,44 \frac{\sigma^2 n}{7+4n} - 0,16} \quad (75)$$

$$\sigma(\gamma) = \frac{P}{nh} \sqrt{0,08 \sigma^2 n - 0,16} \quad (76)$$

$$\sigma(\gamma) = \frac{P}{nh} \sqrt{0,08^2 n - 0,16} \quad (77)$$

Для  $h=3$  м,  $n=24$  и  $\sigma, \sigma', \sigma''$ , равных 5мм, получим  $\sigma(\gamma) = 4'', 5; 18'', 5$  и  $24'', 0$ . Ортогональное проектирование пунктов базисной фигуры на монтажные горизонты выполним механическим путём с помощью отвеса и оптическим путём, используя лот, аппараты или специальные проектирующие приборы. Применение оптических приборов оказывается

более удобным и точным. Погрешность проектирования этими приборами зависит от чувствительности уровня и визирования, т.е

$$\sigma(\alpha) = \sigma(\beta) = \sqrt{\sigma_{\gamma}^2 + \sigma_{\beta}^2} \quad (78)$$

Если цена деления уровня равна  $E$  и увеличение зрительной трубы  $\Gamma$ , то

$$\sigma_{\gamma} = 0,2 E \text{ и } \sigma_{\beta} = \frac{40''}{\Gamma} \quad (79)$$

Поэтому,

$$\sigma(\gamma) = \sqrt{0,2E} \quad (80)$$

$$\text{Для условия } 0,2E = \frac{40''}{\Gamma} \text{ получим } E = 2,5 \sigma(\gamma) \text{ и } \Gamma = \frac{80''}{\sigma(\gamma)} \quad (81)$$

В рассмотренной системе допусков  $E = 9''$ ,  $39''$  и  $48''$ ,  $\Gamma = 18,4$  и  $3''$ . Для системы допусков, основанных на условии  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ , применяя формулы (57), (59) и (61), найдём

$$\sigma(\gamma) = \frac{P}{nh} \sqrt{\frac{\sigma^2 n}{4+n} - 0,16 - 0,16} \quad (82)$$

$$\sigma(\gamma) = \frac{P}{nh} \sqrt{0,06 \sigma^2 n - 0,16} \quad (83)$$

$$\sigma(\gamma) = \frac{P}{nh} \sqrt{0,16 \sigma^2 n - 0,16} \quad (84)$$

Например, для ранее принятых параметров  $-h=3\text{м}$ ,  $p=24$  и  $\sigma, \sigma'$ ,  $\sigma''$ , равных  $5 \text{ мм}$ , получим  $\sigma(\gamma) = 14''$ .  $18''$ .  $27''$ . В этом случае  $E = 21''$ ,  $27''$ , и

40". При последовательном проектировании на ярусе погрешность положения пункта будет

$$\sigma_7 = \sqrt{\left[ h^2 \frac{\sigma^2(\gamma)}{p^2} + \sigma_\phi^2 \right] n} \quad (85)$$

Отсюда,

$$\sigma(\gamma) = \frac{p}{h} \sqrt{\frac{\sigma_7^2}{n} - \sigma_\phi^2} = \sqrt{\frac{\sigma_7^2}{n} - 0,16} \quad (86)$$

Для системы допусков, построенных при условии  $\sigma_1 = \sigma_2 = 2 \sigma_3$  получим

$$\sigma(\gamma) = \frac{p}{h} \sqrt{0,44 \frac{\sigma^2}{7+4n} - 0,16} \quad (87)$$

$$\sigma(\gamma) = \frac{p}{h} \sqrt{0,08 \sigma^2 n - 0,16} \quad (88)$$

$$\sigma(\gamma) = \frac{p}{h} \sqrt{0,1 \sigma^2 n - 0,16} \quad (89)$$

Сохраняя прежние параметры, найдём, что в первом случае задача не имеет решения. Нужно увеличить допуск  $\sigma$  или уменьшить погрешность фиксации ярусного пункта, Зато во втором и третьем случаях можно принять довольно большую погрешность построения вертикального луча. Для  $\sigma'$  и  $\sigma''$  равных 5 мм, найдём  $\sigma(\gamma) = 90''$  и  $110''$ . В целом последовательное проектирование открывает возможность построения пространственной геодезической сети не только открытого типа, когда ярусные пункты

располагаются только на отвесных линиях, разбитых в вершинах базисной фигуры, но и закрытого типа, в котором нарушается приведенное условие. Это избавляет от необходимости устраивать специальные геодезические отверстия в перекрытиях. Разбивка пространственной геодезической сети выполняется в условиях, обеспечивающих связь только двух смежных ярусов.

### **2.3. Проектирование разбивочных осей и передача отметок на монтажные горизонты.**

Для обеспечения собираемости конструкций в многоэтажных зданиях или многоярусных сооружениях на монтажные горизонты каждого этажа (яруса) переносят опорные точки разбивочных осей, закрепленных на исходном горизонте. Система таких опорных точек представляет собой геодезическое обоснование на монтажном горизонте. Монтажный горизонт - это условная плоскость, проходящая через опорные площадки возведенных несущих конструкций определенного этажа или яруса надземной части здания или сооружения. Выбор точек плановой разбивочной основы принимаемых за исходные для проектирования на монтажный горизонт, обуславливается возможностью обеспечения видимости с исходного горизонта на все этажи (ярусы) здания формой плановой разбивочной сети, возможностью построения с этих точек плановой основы на монтажном горизонте, методами выполнения строительно-монтажных работ. Количество опорных точек, передаваемых на монтажный горизонт, определяется в зависимости от размеров здания или сооружения в плане и организации строительно-монтажного процесса, но должно быть не менее трёх.

В зависимости от типа здания или сооружения, его этажности, конструктивных особенностей и сложности технологического оборудования в нем проектирование точек опорной сети на монтажный горизонт может

осуществляться методом построения вертикальной плоскости с помощью теодолита или методом построения вертикальной плоскости с помощью надири- или зенит приборов. Выбор метода проектирования и расчёт точности производится при составлении ПГТГР. При первом методе теодолит устанавливается над точкой А створа разбивочной оси и труба его ориентируется на риску А'. Примерно в створе этой же оси на перекрытии данного этажа на расстоянии не менее 50 см от грани наружной стены устанавливается тренога с закрепленным на ней оптическим или нитяным отвесом (в случае отсутствия ветра) или визирной маркой. Ориентированную трубу теодолита при закрепленном горизонтальном круге вращают в вертикальной плоскости до тех пор, пока визирная цель (отвес или марка) попадает в зрение трубы. После этого трубу закрепляют в вертикальной плоскости и в заданный створ вводят визирную цель, которая и фиксирует положения разбивочной оси на перекрытии. Аналогичные операции выполняют и при другом круге теодолита, что составляет полный перенос оси. Расстояние между двумя рисками, полученными при двух положениях вертикального круга теодолита, делится пополам и полученная средняя риска принимается за искомое положение данной разбивочной оси на перекрытии. Применение данной разбивочной оси на перекрытии. Применение данного способа целесообразно при возведении зданий малой и средней этажности, а также при наличии больших свободных территорий в границах строительной площадки. Работа должна выполняться хорошо выверенным теодолитом и обязательно при двух положениях вертикального круга. При проектировании точек разбивочных осей на различные горизонты этим способом влияют ошибки наклона оси вращения трубы, наклона оси вращения инструмента визирования, фиксации точки на монтажном горизонте, установка инструмента в створ, коллимационная ошибка. Средняя квадратическая ошибка проектирования опорной точки разбивочной оси при двух положениях круга вычисляется по формуле

$$m_{\text{пр}} = \sqrt{0,25 \frac{h^2}{p''^2} r^2 + \frac{400}{p''^2} - \frac{S^2}{v^2} + \frac{l^2}{S^2} m_{\text{ств}}^2 + m_{\phi}^2} \quad (90)$$

где  $h$  - высота, на которую проектируется точка;

$S$ - расстояние от теодолита до проектируемой опорной точки;

$\gamma''$  - цена деления цилиндрического уровня при горизонтальном круге теодолита;

$l$ - отклонение определяемой точки в визирной плоскости инструмента от вертикали, проходящей через опорную точку;

$v$  - увеличение зрительной трубы теодолита.

Расхождение в положении опорной точки, полученное при проектировании при двух кругах инструмента, не должно превышать удвоенного значения  $m_{\text{пр}}$  вычисленного по формуле(90). Третья слагаемая ошибка  $m_{\text{пр}}$  не учитывается если исходная и фиксированная на монтажном горизонте риски лежат в одной вертикальной плоскости, проходящей через продольную ось стены. Для повышения точности проектирования опорной точки отвесной плоскостью применяют теодолиты с накладными уровнями. Рассмотрим пример. При проектировании осей пятиэтажного здания при его высоте  $h = 15$  м применяется теодолит ТЗО ( $v = 25^x$ ,  $\tau = 45''$ ).

Инструмент устанавливался в створ оси с ошибкой  $m_{\text{ств}} = 0,5$  мм. Расстояние  $S = 20$  м,  $m_{\phi} = 1,2$  мм,  $l = 40$  мм. По формуле (90) определим ошибку проектирования осей на пятый этаж.

$$m_{\text{пр}} = \sqrt{0,25 \frac{1500^2}{206265} r^2 + \frac{400}{206265} - \frac{20000^2}{25^2} + \frac{40^2}{20000} 0,5^2 + 1,2^2} = 2,1_{\text{мм}}$$

При втором способе опорная точка А проектируется по высоте с помощью зенит- или наدير прибора методом вертикального проектирования, сущность которого заключается в следующем.

**Заключение:** Опорные точки располагаются на линии, параллельной оси конструкций непосредственно на перекрытии исходного горизонта либо за пределами здания на выносных площадках. Места расположения этих точек выбираются таким образом, чтобы их можно было использовать в течение всего периода монтажного здания. При этом способе передачи осей на монтажные горизонты применяются оптический центрированный прибор ОЦП прибор оптического вертикального проектирования ПДВП, лазерный зенит центрир. ЛЗЦ [34] или *PZL* фирмы «Карл Цейсс» (Иена). Для переноса осей на последующие этажи над опорной точкой устанавливается зенит прибор и опорная точка проектируется по вертикали (снизу вверх) на специальную палетку, закрепленную над отверстием в перекрытии.

### **Глава III. Построение плановой и высотной разбивной основы на монтажном горизонте.**

Под созданием разбивочной основы на монтажном горизонте понимается построение и закрепление на перекрытии каждого этажа (яруса) системы точек основных осей здания и разбивочных (базовых) осей по границам монтажных захваток (как правило, последние совпадают с межсекционными осями), а так же реперов для высотной разбивки на монтажном горизонте начинается с проектирования опорных точек основных осей, закрепленных на исходном горизонте. Плановая разбивочная сеть на монтажном горизонте создается в виде правильных фигур (преимущественно прямоугольников), повторяющих в общих чертах конфигурацию здания или сооружения, со сторонами, параллельными их осям. Точки сети должны располагаться в местах, обеспечивающих взаимную видимость и сохранность на период монтажа данного яруса. По перенесенным основным точкам плановой разбивочной сети на монтажном горизонте уникальных высотных зданий прокладывается контрольный ход в виде цепочки фигур микротрилатерации, а в зданиях массовой застройки контролируются стороны и диагонали четырёхугольника. Одновременно с приложением хода в створе сторон плановой сети намечаются и временно закрепляются промежуточные точки для сгущения основной сети. Положение этих точек на монтажном горизонте определяется створными засечками или путем построения прямых углов с помощью теодолита, а также промерами стальной компарированной рулетки и стальной проволоки.

При 3-д и 4-д классах точности построения сети взамен приложения контрольного хода выполняют только контрольные промеры плановой сети с обязательным измерением двух диагоналей или двух углов на основных точках.

По результатам измерения контрольного хода при классах точности 1 - д и 2-д вычисляются (в той же условной системе, что и исходная плановая основа) координаты основных и промежуточных точек. Уравновешивание

плановой разбивочной основы монтажное гори юнга выполняется способом приближений с оценкой точности уравновешенных элементов в наиболее слабых местах сети. Порченные значения координат точек плановой разбивочной основы сопоставляются с проектными и в положение этих точек вводятся поправки - реакции. Расхождения между фактическими и теоретическими значениями сторон сети не должны превышать величины, вычисленной по формуле

$$S_{\zeta} = \frac{l}{T_{\text{по}\sqrt{2}}} \quad (91)$$

где  $l$  — длина измеренной стороны и диагонали. При допустимых расхождениях фактических и теоретических координат точки смещаются на половину отклонения и окончательно, закрепляются дюбелями или керном на металлических пластинах и маркируется несмываемой краской. Высотным разбивочным обоснованием на монтажном горизонте служат рабочие реперы, отметки которых получены от исходных реперов высотной разбивочной основы.

Число рабочих реперов на монтажном горизонте зависит от количества секций или захваток, но должно быть не менее двух. Рабочими реперами могут служить закладные детали в конструкциях данного этажа (яруса) или специально закрепляемые на конструкциях металлические уголки, пластины дюбеля при соответствующей их маркировке. Передача отметки на монтажный горизонт здания или сооружения осуществляется при помощи двух нивелиров и реек. Рейки устанавливаются на реперы или марки, между которыми передают отметки. На подвешенной рулетке закрепляют две штриховые марочки, совмещая оси их нулевых штрихов с осями верхнего В и нижнего А штрихов рулетки. При отсутствии штриховых марок отсчеты по рулетке берут визированием на полотно рулетки. Передача отметок включает определение превышения:

$h_1$ - между исходным высотного разбивочного обоснования и нулем нижней марки на рулетке;

$h_2$ - между нулем верхней марки на рулетке и репером высотной разбивочной основы на монтажном горизонте. При определении  $h_1$  и  $h_2$  визирование на верхнюю и нижнюю марки рулетки выполняют одновременно по команде. Искомое превышение вычисляют по формуле

$$h = h_1 + (B - A) - h_2$$

Разность отсчётов  $l = B - A$  должна быть исправлена поправками за переход от цепной линии при компарировании к хорде при измерении  $S_f$ , за растяжение рулетки под действием собственной массы  $S_p$  за температуру мерного прибора  $S_t$ . Средняя квадратическая погрешность определения превышения зависит в основном от погрешностей отсчетов по рейкам и рулетке, компарирования реек и рулетки, учета температуры рулетки

$$m_h = \sqrt{4m^2 + m_t^2 + m_{к2} + m_{кр})^2 + mf^2} \quad (92)$$

Обычно превышение определяют  $n$  раз, поэтому среднее значение превышения будет содержать ошибку

$$m_h = \sqrt{\frac{4m^2 + m_t^2 + mb^2}{n} + (m_{kl} + m_{к2} + m_{кр})^2} \quad (93)$$

$$\sigma_h \leq (1,5 + 0,25N) \text{мм} \quad (94)$$

где  $N$ - порядковый номер этажа или яруса.

Формула (94) получена для случая применения наиболее распространённых в строительстве нивелиров НВ (НЗ) и НГ нивелирных в строительстве с ценой деления  $t= 10$  мм и стальных компарированных рулеток с ценой деления  $t- 1$  мм. Класс точности нивелирования реперов или марок высотного разбивочного обоснования на монтажном горизонте должен устанавливаться при составлении ШИ Р. При создании высотного разбивочного обоснования на монтажном горизонте необходимо стремиться к совмещению точек плановой и высотной сетей.

**Вывод:** Для соблюдения проектных данных в зданиях и сооружениях по высоте отметки на монтажный горизонт следует передавать от марок или реперов, заложенных на исходном горизонте.

### **3.1. Детальные разбивочные работы на монтажном горизонте.**

Детальные геодезические разбивочные работы на монтажном горизонте здания или сооружения заключаются в построении установочных рисок, фиксирующих плановое или высотное проектное положение конструкций или же элементов. Детальные геодезические построения на подготовленных фундаментах' или опорах под монтаж одноэтажных и многоэтажных промышленных, жилых и общественных зданий производятся от осевых знаков, закрепленных на дневной поверхности методом створов с помощью теодолита и стальной рулетки либо путем измерения малых параллактических углов. Этот же метод применяется и при детальном горизонте каркасных зданий. На монтажных горизонтах крупнопанельных и крупноблочных жилых зданий детальное построение рисков планового положения элементов производится методом детального построения створа по аналогии с методикой, изложенной в разнице, заключается в том, что в данном случае створ разбивочной оси фиксируется в пространстве не визирной осью теодолита, а стальной проволокой или леской плоскости

которой откладываются расстояния между осями или гранями поперечных стен здания. Створ разбивается в плоскости продольных стен здания

$$(S_{\phi})_b = \frac{(S_y)bt}{L} \quad (95)$$

$$m_{yp} = \sqrt{(my)^2 A + (m\tau)^2 B} = \frac{S_y}{L} \sqrt{(L-l)^2 + l^2} \text{ или}$$

$$m_{yp} = S_y \sqrt{1 - \left(\frac{2l}{L}l - \frac{l}{L}\right)} \quad (96)$$

Полная ошибка построения риски вычисляется по формуле

$$M_{yp} = \sqrt{m_{yp}^2 + m_{\phi}^2} \quad (97)$$

$$M_{yp} = \frac{S_y}{L} \sqrt{(L-l)^2 + l^2 + L^2} \text{ или } m_{ctb} = S_y \sqrt{2 \left\{1 - \frac{l}{L} \left(1 - \frac{l}{L}\right)\right\}} \quad (98)$$

### 3.2. Вертикальные измерения на строительной площадке.

В настоящее время при строительстве многоэтажных зданий и высотных инженерных сооружений (дымовые трубы, градирни, радио к телебашни и др.) находят широкое применение оптические геодезические приборы вертикального проектирования. Они очень надежны и просты в обращении. К числу таких приборов следует отнести отечественные приборы ОТ ИТТ. ПОВП, разработанные сотрудниками кафедры прикладной геодезии» аэрофотосъемке и картографии и PZL, выпускаемый народным предприятием «Карл Цейсс» Иена (ГДР).

Приборы ОЦП и ПОВП были выпущены небольшой серией, в то время как PZL у нас в стране получил наибольшее распространение. Прибор PZI имеет

следующие особенности. Изображение в зенит-лоте прямое. Все соприкасающиеся с воздухом поверхности оптических элементов покрыты составом, препятствующим светорассеиванию. Прецизионный зенит-дот PZL имеет автоматически стабилизирующуюся линию визирования. Стабилизация линии визирования осуществляется компенсатором который представляет собой маятниковый механизм снабженный механическим воздушным демпфированием. Маятник, действующий под влиянием силы тяжести, устанавливает линию визирования перпендикулярно горизонтальной плоскости. В прецизионном зенит –лоте в качестве компенсатора наклона применена прямоугольная призма. Многочисленные опытные и производственные измерения при различных внешних условиях показали, что при помощи прибора PZL можно выполнять вертикальное проектирование опорных точек при высоте визирования 100 м с погрешностью не более 1 мм. Опыт применения прибора PZL показал, что его применение позволяет повысить производительность труда на 30 % и более по сравнению с традиционными методами геодезических работ, основанных на использовании теодолитов и нитяных отвесов для этих целей. Прибор надежен в работе и дает высокую точность. По особому заказу прибор PZL может быть укомплектован трегером со встроенным оптическим центриром. Центрирование прибора PZL, при помощи встроенного центрира выполняют аналогично установке теодолита с оптическим отвесом над точкой. Точность центрирования зенит лота над точкой закрепления плановой разбивочной основы 0,2-0,3 мм. В рабочее положение прибор PZL устанавливают в два этапа: сначала предварительно по круглому уровню (аналогично установке нивелира), затем точно по цилиндрическому уровню»  
Перед началом необходимо произвести следующие проверки прецизионного зенит лота:

1. Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна оси вращения прибора. Проверку выполняют так, как и для теодолита,

2. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения прибора. Пользуясь выверенным цилиндрическим уровнем, следует привести ось вращения прибора в отвесное положение. Пузырек круглого уровня приводят на середину исправительными винтами уровня.

3. Подъемные винты прецизионного зенит лота должны вращаться легко и плавно. Поверку и юстировку осуществляют так же, как теодолита.

4. Микрометренный наводящий винт должен иметь плавный ход. Регулируют плавность хода винта при его полном вывинчивании, путем передвижения установочной гайки.

5. Закрепительный рычажок горизонтального движения трубы должен надежно её закреплять. При недостаточном зажиме рычажок нужно отрегулировать: ослабить зажимные винты, находящиеся на нём.

### 3.3. Вопрос уравнивания ПГС.

На каждом ярусе положение пунктов пространственной геодезической сети контролируется в плане путём выполнения избыточных измерений. Наиболее просто это достигается построением линейно-угловой сети, аналогичной сети, разбитой на предшествующем ярусе. Использование таких измерений для уравнивания сети едва ли имеет смысл. Ярусные линейные и угловые измерения производятся в менее удобных условиях, чем измерения элементов базисной фигуры. На точность ярусных измерений оказывает влияние погрешность положения ярусных пунктов. Казалось бы, что уточнить положения этих пунктов можно путем построения диагональной пространственной геодезической сети. Однако легко убедиться в малой точности построения вертикальных направлений по результатам измерения длин сторон сети. Из косоугольного треугольника со сторонами  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и углом  $\alpha$  получим

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha \quad \text{или}$$

$$\alpha\alpha - (b - c \cos \alpha) \alpha b + (c - b \cos \alpha) ds + bs \sin \alpha d\alpha \quad (99)$$

Если учесть, что  $\alpha \approx 90^\circ$ , то переходя к средним квадратическим погрешностям, найдём

$$\sigma(\alpha) = \frac{P}{bc} \sqrt{\alpha^2 \sigma^2(\alpha) + b^2 \alpha^2(b) + c^2 \sigma^2(c)} \quad (100)$$

$$\text{Для случая, когда } \sigma(\alpha) = \sigma(c), \text{ получим } \sigma(\alpha) = P = \frac{\alpha}{bc} \sigma(\alpha) \sqrt{2} \quad (101)$$

Выражая длины сторон и погрешность их измерения в мм, получим, что в диагональной сет  $\sqrt{\frac{\alpha}{bc}}$  измеряется в пределах от 0,0001 до 0,0003 и в лучшем случае  $\sigma''(\alpha) = 20'' \sigma(\alpha)$ . (102)

Практически длины диагоналей трудно измерить с погрешностью  $\sigma(\alpha)$  менее 1 м. Поэтому по результатам линейных измерений угол  $\alpha$  будет найден со средней квадратической погрешностью порядка 20". Между тем используя проектирующий прибор с уровнем, имеющим цену деления  $E = 20''$ , можно обеспечить построение вертикальных направлений со средней квадратической погрешностью порядка 5" со значительно меньшими усилиями на выполнение измерений. Следовательно, от производства избыточных мало точных измерений. Следовательно, от производства. Кроме того, уравнильные вычисления имеют смысл и выполняют лишь в случаях последующего редуцирования, приведения ярусных пунктов в проектное положение. Однако редуцирование пунктов в плане на монтажном горизонте нарушит вертикальные оси, построенные, как правило, с более высокой точностью. Поэтому достигать необходимой точности измерения необходимых элементов. Несколько своеобразно выполняется математическая обработка закрытой пространственной геодезической сети. В

этой сети открытые ярусные пункты являются опорными. Система их сгущается закрытыми ярусными пунктами, которые на следующем монтажном горизонте становятся открытыми. Для определения пунктов сгущения применяют различные геодезические построения. Чаще всего предварительное положение пунктов находят способом створных наблюдений. Затем разбивают линейно-угловую сеть и находят координаты этих пунктов. Выполняя редуцирование, приводят закрытые пункты в проектное положение.

### 3.4. Определение высотных пунктов ПГС.

В зависимости от заданной точности построения пространственной геодезической сети определение высот пунктов её выполняется методами геометрического, тригонометрического и гидростатического нивелирования. При условии  $\sigma_1 = \sigma_2 = 2\sigma_3$  расчёт точности производится по формулам (47), (48) - для допуска  $\sigma$  (50), (51) - для допуска  $\sigma$  и (52), (53) - для допуска  $\sigma''$ . Если руководствуются условием  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ , то применяют формулы (56) - для допуска  $\sigma$  (58) - для допуска  $\sigma'$  и (60) - для допуска  $\sigma''$ . Наиболее существенным является передача отметки с яруса на ярус. Прибегая к геометрическому нивелированию, нужно определять превышения со средней квадратической погрешностью

$$\sigma(h) = \frac{\sigma_7}{\sqrt{R}} \quad (103)$$

где R - число станций. Для приближённого расчёта принимаем, что выполняя наблюдения двумя приёмами, средняя квадратическая погрешность взгляда составляет  $\sigma(B) = \sigma(h)$

$$(104)$$

При этом ограничиваемся учётом погрешностей приведения визирной оси зрительной трубы нивелира в горизонтальное положение -  $\sigma_y$  и отсчёта по рейке -  $\sigma_p$ . Тогда

$$\sigma(h) = \sigma(B) = \sqrt{\sigma_4^2 + \sigma_p^2} \quad (105)$$

$$\text{Для визирного луча длиной } S \text{ получим } \sigma_y = 0,2E \frac{S}{p} \quad (106)$$

$$\text{Приблизненно } \sigma_p = \frac{40''}{\Gamma} \frac{S}{p''} : 0,2 v, \quad (107)$$

где  $v$ - цена деления шкалы рейки.

$$\text{Если } \sigma_y = \sigma_p, \text{ то } E = 5 \frac{p\sigma_7}{S\sqrt{2R}}; \tau = 40 \sqrt{2RS} \quad (108)$$

Для  $\sigma$ ,  $\sigma'$  и  $\sigma''$ , равных 5 мм, и  $n=4$  при первой системе допусков  $\sigma_7=0,8; 2,8$  и 3,2 мм, а при второй  $\sigma_7=1,6; 2,4$  и 4,0 мм. Если  $R=18$  и  $S=20$  м, то  $E$  колеблется от 8 до 40",  $Y$  — от 5 до 30<sup>x</sup> и  $v$  - от 7 до 5 мм.

### **3.5. Расчёт средней квадратической погрешности замыкающих конструкций применением теории размерных цепей.**

Формулы (39) и (63), (63) I характеризуют точность возведения здания или сооружения в чем приравнивая их правые стороны получим формулы характеризующие средние квадратические погрешности замыкающего (звена) конструкции характеризующей возможные смещения элементов сооружения относительно ранее смонтированных элементов.

$$\sigma' = \frac{\sigma(S_0)\sqrt{4n+42}}{1.7\sqrt{0.23+0.06n}} \quad (109)$$

Этаж	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\sigma'$	14,7	14,1	13,5	13,0	12,8	12,4	12,2	12,0	11,8
$\sigma''$	8,6	8,2	8,0	7,7	7,5	7,3	7,2	7,1	7,0

$$\sigma'' = \frac{\sigma(S_0)\sqrt{4*n+42}}{1.7\sqrt{0.68+0.17n}} \quad (110)$$

С учётом формулы (109) на основании формулы (59) и (58) получим

$$\sigma'_4 = \sigma'_5 = \sigma'_6 = \sigma'_8 = 0.14 \sigma(S_0) \frac{\sqrt{4n+42}}{1.7\sqrt{0.23+0.06n}} \quad (111)$$

$$\sigma'_7 = 0.14 \sigma(S_0) \sqrt{\frac{n(4*n+42)}{0.23+0.06n}} \quad (112)$$

С учётом формулы (110), на основании формулы (61) и (60) получим

$$\sigma''_4 = \sigma''_5 \sigma''_6 \sigma''_8 = 0.24 \sigma(S_0) \sqrt{\frac{n 4*n+42}{0.68+0.17*}} \quad (113)$$

$$\sigma''_7 = 0.24 \sigma(S_0) \sqrt{\frac{n (4*n+42)}{0.68+0.17n}} \quad (114)$$

Пример: Если  $n=9$ ,  $\sigma(S_0) = 2$  мм

Отношение

$$\frac{\sigma'}{\sigma''} \approx const = 1,7$$

На основе формул (111) и (112)

Этаж	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\sigma'_4$ = $\sigma'_5 = \sigma'_6$ = $\sigma'_8$ мм	2,1	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7
$\sigma'_7$	2,1	2,8	3,3	3,6	4,0	4,2	4,5	4,8	5,1

На основе формул (113) и (114)

Этаж	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\sigma''_4$ = $\sigma''_5 \sigma''_6 \sigma''_8$ мм	2,1	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7
$\sigma''_7$	2,1	2,0	3,3	3,6	4,0	4,4	4,8	4,8	5,1

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Расчёт точности геодезических работ относительно исходных пунктом по формулам (47) и (48):

- определение пунктов базисной фигуры  $\sigma_8$ ;
- определение положения пунктов пространственной геодезической сети  $\sigma_7$ ;
- разбивка монтажных осей относительно пунктов пространственной геодезической сети  $\sigma_6$ ;
- определение маяков на монтажных осях  $\sigma_5$ ;
- установка конструкций относительно маяков  $\sigma_4$  требует выполнения геодезических и технических измерений с весьма высокой точностью.

2) Расчёт допусков относительно ранее смонтированных элементов в 1,8 раз уменьшает требование к выполнению геодезических и технических измерений.

3) По выверенным формулам (61) и (62) вычисляется точность возведения здания и сооружения в целом. Эти формулы в дальнейшем могут быть применены совместно

4) Лучшим вариантом закрепления вершин базисной фигуры являются железобетонные трапециевидные тумбы.

5) Для предварительного расчёта необходимой точности построения пространственной геодезической сети достаточно задаться более или менее реальными соотношениями частных погрешностей.

6) При расчёте необходимой точности геодезических разбивочных работ нужно иметь четкое представление, относительно каких осей требуется соблюсти заданную среднюю квадратическую погрешность замыкания строительных конструкций.

7) Выбор той или иной математической модели накопления погрешностей при возведении здания или сооружения весьма сильно влияет на необходимую точность построения пространственной геодезической сети, конструкцию ее и методы измерения элементов сети.

8) Удобной является внутренняя пространственная геодезическая основа, пункты которой располагаются внутри здания или сооружения.

9) Проектирование вершин базисной фигуры на монтажные горизонты может быть сквозным и последовательным.

В целом последовательное проектирование открывает возможность построения ПГС не только открытого типа, когда ярусные пункты располагаются только на отвесных линиях, разбитых в вершинах базисной фигуры, но и закрытого типа в котором нарушается приведенное условие. Это избавляет от необходимости устраивать специальные геодезические отверстия в перекрытиях.

## Принятые обозначения

$\sigma$  - ср. кв. погрешность замыкания конструкций (допуск).

$\sigma_1$  - ср. кв. погрешность строительных сооружений.

$\sigma_2$  - ср. кв. погрешность производство (СКП) строительного-монтажных работ.

$\sigma_3$  — СКП разбивочных работ.

$\sigma_0$ —общий источник погрешностей геодезических и технических изменений, фиксации опорных штатов и маяков.

$\sigma_4$  — СКП наблюдений при установке конструкций относительно маяков.

$\sigma_5$ — СКП определенных маяков на монтажных осях.

$\sigma_6$ — СКП разбивки монтажных осей относительно пространственных геодезических сети на рассматриваемом монтажном горизонте.

$\sigma_7$ — СКП пунктов сети на монтажном горизонте относительно пунктов базисной конструкции.

$\sigma_8$ — СКП пунктов базисной конструкции.

n — этаж.

$\sigma$  - СКП замыкающего звена конструкции (допуск), характеризующий возможные смещения элементов сооружения относительно ранее сконструированных элементов.

$\sigma (S_{i1})$ — СКП изготовления конструкции =  $\sigma_1$

$\sigma (S_{i2})$ — СКП разбивки =  $\sigma_2$

$\sigma (S_{i3})$ — СКП монтажа =  $\sigma_3$

$\sigma (S_i)$ —СКП замыкающего звена.

$\Delta (S_i)$  — допуск замыкающего звена.

$\sigma (1)$  — СКП вершин размерной цепи в плане [(1) номер вершины] .

$\sigma (1)$  — СКП вершин размерной цепи на высоте [(1) номер вершины].

$\sigma (S_i^n)$  — СКП замыкающего звена в ярусе.

t— коэффициент Стьюдента.

$\sigma (S_0)$ —СКП составляющего звена.

$\sigma_{21}$  -погрешность измерения в базисной фигуре.

$\sigma_{22}$  -погрешность фиксации в базисной фигуре.

$\sigma_{23}$  -погрешность редукции в базисной фигуре.

$\sigma_p$  — СКП единицы веса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

Закон республики Узбекистан о «Геодезии и картографии». Т. 1997г.

1. Куштин И. Ф., Куштин В. И. Инженерная геодезия: Учебник. - Ростов-на-Дону: Издательство "Феникс", 2002. - 416 с. <http://www.proektant.org/index.php?topic=5207.0>
2. Федотов Г.А. Инженерная геодезия- Москва Высшая школа - 2004г. <http://www.twirpx.com/file/147187/>
3. Инженерная геодезия: Учебник для вузов. Киселев М.И., Ключин Е.Б., Михелев Д.Ш., Фельдман В.Д. Издательский центр «Академия», Москва, 2004 г., 481 стр. <http://www.geokniga.org/books/5168>
4. В.Г. Селиханович. Геодезия, 2-часть, Учебник, М., «Альянс», 2006, 544 с.
5. Баканова В.В. и др. Практикум по геодезии. М., Альянс, 2007, 456 с.
6. Практикум по высшей геодезии. \под ред. Яковлева Н.Н.М. Альянс, 2007, 368 с.
7. В.Г. Селиханович, В.П. Казлов. Практикум по геодезии. М., Альянс, 2006, 382 с.
8. Хаимов З.С. Статистические исследования геодезических сетей. М., Картгеоцентр-геодезиздат, 2002, 371 с.
9. Куштин И.Ф. Геодезия: Обработка результатов измерений. Учебное пособие. М., ИКЦ. «Март», 2006, 288 с.
10. Михелев Д.Ш. Инженерная геодезия. М. Недра, 2007-05-16
11. Чмчян Т.Т. К теории расчёта размерных цепей сборных пространственных покрытий. Межведомств. респ. сб. "Инженерная геодезия", вып. 27, 1984, с. 103-106
12. Чмчян Т.Т. Расчёты точности геодезических работ в строительстве. М., "Недра", 1988, с. 150
13. Видуев Н.Г., Чмчян Т.Т. Теория размерных цепей. Изд. КИСИ. К., 1965, с. 53

14. Дунаев П.Ф, Леликов О.П. Расчёт допусков размеров Машиностроение, 1981-189с.
15. Видуев Н.Г. Теория размерных цепей и ее применение для расчёта точности разбивочных работ. В книге: Инженерная геодезия. Вин. 3., Киев 1966-3-7 с.