

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
З МЕТРОЛОГІЇ І СТАНДАРТИЗАЦІЇ

ст. 21 версі

Київ КДТУБА 1996

Варшавський О. В.

Семіфоренко Л. В.

Топка Тетяна ТУСТп 41.
Діагональ Д. В. 14.08.41

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
З МЕТРОЛОГІЇ І СТАНДАРТИЗАЦІЇ
для студентів спеціальності 7.070902
"Інженерна геодезія"

Київ КДТУБА 1996

Методичні вказівки з метрології і стандартизації для студентів спеціальності 7.070902 "Інженерна геодезія" / Укл. С.П.Войтенко, Ю.Ф.Гуляев, Є.Ф.Чопенко. - К.: КДТУБА, 1996. - 44 с.

Укладачі: С.П.Войтенко, д-р техн. наук
Ю.Ф.Гуляев
Є.Ф.Чопенко

Відповідальний за випуск Ю.В.Поліщук, д-р техн. наук

Предмет "Метрологія і стандартизація" студенти вивчають на ІУ курсі денної та УІ курсі заочної форм навчання за спеціальністю "Інженерна геодезія". Методичні вказівки охоплюють розділи курсу з стандартизації та метрології. Вивчення курсу завершується здаванням контрольної роботи та заліку.

Методичні вказівки написані з таким розрахунком, щоб студент-заочник опрацював теоретичний матеріал за рекомендованою літературою, зміг самостійно виконати контрольну роботу та підготуватися до заліку.

Контрольну роботу слід виконувати в учнівських зошитах або на окремих аркушах, зшиваючи їх. Задачі розв'язують з допомогою мікрокалькулятора.

З метою полегшення вивчення матеріалу, методичні вказівки мають розв'язування типових задач. У контрольній роботі наводять умови задачі, виконують необхідні обчислення і малюнки аналогічно наведеним прикладам.

СТАНДАРТИЗАЦІЯ ГРАНИЧНИХ ВІДХИЛЕНЬ ТА СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ У БУДІВНИЦТВІ

Ця частина методичних вказівок вміщує відомості з системи забезпечення геометричних параметрів у будівництві. Наведені основні терміни і визначення [1, 2, 6].

Вивчаючи цю тему, студенти мають з'ясувати, що відхилення дійсних розмірів елементів будівельних конструкцій, геодезичних розбивних та монтажних робіт від заданих параметрів - це похибки, взаємопов'язані геометричні за характером їх прояву і технологічно в процесі експлуатації інженерних споруд.

Стандартизація ряду числових величин граничних /допустимих/ відхилень відповідно до технології будівельного виробництва проводиться роздільно на геометричні параметри:

- 1/ виготовлення будівельних конструкцій;
- 2/ геодезичних розбивних робіт;
- 3/ монтажних робіт.

Основні положення з стандартизації базуються на основі комплексу стандартів. В будівництві система забезпечення точності геометричних параметрів включає:

- 1/ ГОСТ 21778-81 /СТ СЭВ 2045-79/ Основні положення.
- 2/ ГОСТ 21779-82 /СТ СЭВ 2681-80/ Технологічні допуски.
- 3/ ГОСТ 21780-83 /СТ СЭВ 3740-82/ Розрахунок точності.
- 4/ ГОСТ 23615-79 /Статистичний аналіз точності.
- 5/ ГОСТ 23616-79 Загальні правила контролю точності.

Терміни та визначення. Розміри геометричних параметрів у будівництві виражаються лінійними / X або L / та кутовими величинами. Стандартизацію розмірів і граничних відхилень геометричних параметрів виконують з врахуванням вимог до збірності конструкцій і взаємозаміни елементів.

Збірність конструкцій - це властивість незалежно виготовлених елементів забезпечити можливість складання з них конструкцій будов та споруд з точністю їх геометричних параметрів, враховуючи встановлені до конструкцій експлуатаційні вимоги.

Взаємозамінність елементів - властивість незалежно виготовлених однотипних елементів забезпечити можливість застосування будь-якого з них без допоміжного припасування за заданого рівня збірності конструкцій.

Допуск - різниця між найбільшим та найменшим граничними розмірами, або різниця між верхнім і нижнім граничним відхиленнями (Δ).

Поле допуску - сукупність значень геометричного параметра, обмежених його граничними розмірами / $X_{min}, X_1, X_2, \dots, X_{max}$ /.

Дійсне відхилення - алгебраїчна різниця між дійсним і номінальним значенням геометричного параметра (δX).

Граничне відхилення розміру - алгебраїчна різниця між граничним і номінальним значеннями геометричного параметра.

Верхнє граничне відхилення - алгебраїчна різниця між найбільшим граничним і номінальним значеннями геометричного параметра (δ_{sup}).

Нижнє граничне відхилення - алгебраїчна різниця між найменшим граничним і номінальним значеннями геометричного параметра (δ_{inf}).

Систематичне відхилення розміру - різниця між середнім і номінальним значенням геометричного параметра (δX_s або δm_X).

Відхилення середини поля допуску - алгебраїчна різниця між серединою поля допуску (X_{cp}) та номінальним значенням геометричного параметра ($X_{ном}$).

Функціональний допуск - допуск геометричного параметра, який встановлює точність зібраної конструкції, виходячи з умов забезпечення відповідних їй функціональних вимог.

Технологічний допуск - допуск геометричного параметра, який встановлює точність виконання відповідного технологічного процесу чи операції.

Клас точності - сукупність значень технологічних допусків, які залежать від номінальних значень геометричних параметрів.

Аналіз точності виготовлення елементів будівельних конструкцій серійного виробництва виконують за серією виборок однакового об'єму $n \geq 40$ одиницям однотипного технологічного обладнання. Точність геодезичних розбивних та монтажних робіт аналізують за серією виборок при $n \geq 40$ за закріпленими в натурі орієнтирами чи елементами одного чи декількох монтажних горизонтів.

Порядок формування виборок визначають за ГОСТ 18321-73.

Статистичний аналіз точності виконують окремо за кожним геометричним параметром у такій послідовності:

- 1/ формування виборки і визначення дійсних відхилень;
- 2/ розрахунок статистичних характеристик точності;
- 3/ перевірка статистичної однорідності процесу;
- 4/ оцінка та аналіз точності технологічного процесу.

Розрахунок статистичних характеристик точності та перевірка статистичної однорідності процесу

Дійсні відхилення розмірів геометричних параметрів як випадкової величини характеризуються законом розподілу /функцією щільності ймовірностей/. Функція щільності ймовірностей $\varphi(x)$ є похідною від інтегральної функції $\Phi(x)$, яка описує ймовірність того, що випадкова величина буде меншою за деяке визначене значення.

Найважливішими числовими характеристиками випадкових величин є математичне очікування $M(X)$, дисперсія $D(X)$ і стандартне квадратичне відхилення $\sigma(X)$.

У сфері взаємозаміни і технічних вимірювань зустрічаються закони розподілу:

а/ нормальний закон розподілу /закон Гаусса/ при впливі на випадкові величини великої кількості факторів, кожний з яких не є домінуючим у загальній сукупності:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left\{ \frac{x - M(X)}{\sigma(X)} \right\}^2}; \quad /1/$$

б/ закон рівної ймовірності /рівномірний закон/ припускає вплив різко домінуючого фактора, який рівномірно змінюється в просторі чи часі;

в/ закон рівнобедреного трикутника /закон Сімпсона/ - коли на випадкову величину впливають два різко домінуючих фактори;

г/ закон Релея - для випадкових величин, які незалежно розподіляються за ортогональними осями X та Y згідно з нормальним законом з параметрами $M(X) = M(Y) = 0$ та $\sigma(X) = \sigma(Y) = \sigma$ /для випадків неперпендикулярності двох площин чи осі до площини, непаралельності двох площин і т.д./.

З виборки замість математичного сподівання, дисперсії чи стандарту за нормального розподілу визначають їх наближені характеристики - відповідно емпіричне середнє \bar{x}_m та емпіричне середнє квадратичне відхилення δ_x :

$$\bar{x}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad /2/$$

$$\delta_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_m)^2}; \quad /3/$$

де n - об'єм виборки; x_i - дійсне значення параметра X .

Систематичне відхилення геометричного параметра /координати центра групування відхилень/ обчислюють як

$$\delta m_x = m_x - x_{ном}; \quad \delta x_c = x_m - x_{ном}; \quad /4/$$

Точність геометричних параметрів визначають на основі характеристики виду розподілу, при цьому точність кутових величин можна характеризувати точністю лінійних розмірів, якими визначають ці величини.

Характеристики точності геометричних параметрів у будівництві при несиметричному нормальному розподілу взаємозв'язані /рис. 1/.

В нормативних документах, стандартах і на робочих кресленнях точність геометричних параметрів характеризують мінімальним x_{min} та максимальним x_{max} граничними розмірами, нижнім δx_{inf} та верхнім δx_{sup} граничними відхиленнями, допуском Δx та відхиленням δx_c середини поля допуску x_c від номінального $x_{ном}$ значення параметра X . Половина допуску δx є граничним відхиленням параметра X від середини поля допуску x_c .

Взаємозв'язок характеристик точності параметрів визначають за формулами:

$$x_{min} = m_x - t_{min} \sigma_x = x_{ном} + \delta x_{inf} = x_c - \delta x; \quad /5/$$

$$x_{max} = m_x + t_{max} \sigma_x = x_{ном} + \delta x_{sup} = x_c + \delta x; \quad /6/$$

$$\delta x_{inf} = x_{min} - x_{ном}; \quad /7/$$

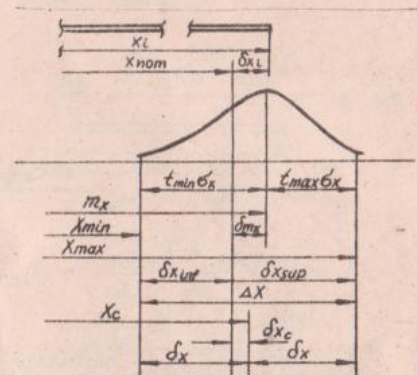


Рис. 1. Характеристики точності геометричних параметрів

Перевірку нормальності розподілу виконують за критеріями: Колмогорова X -квадрат, омега-квадрат, за асиметрією та ексцесом, шляхом графічного зображення емпіричного і теоретичного розподілу. Правила перевірки узгодження емпіричного та теоретичного розподілів встановлюються за ГОСТ II.006-74.

В критерії Колмогорова дійсні відхилення нормують за формулою

$$\bar{x}_i = \frac{\delta x_i}{S_x} \quad /20/$$

Нормовані t_i розбивають на інтервали. В кожному інтервалі підраховують частоту нормованих відхилень f_i . Емпіричне значення інтегральної функції $\bar{F}(x)$ обчислюють за формулою

$$\bar{F}(x_i) = \frac{1}{N} \sum_1^i f_i, \quad /21/$$

де N - загальне число відхилень /вимірювань/.

Теоретичну інтегральну функцію розподілу обчислюють так:

$$F(x_i) = 0,5 + \phi(x_i), \quad /22/$$

де $\phi(x_i)$ - функція Лапласа /вибирають за значеннями середини інтервалів x_i за табл. 2/.

Таблиця 2

x	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$\phi(x)$	0,915	0,3413	0,4332	0,4772	0,4938	0,4987	0,4998

Обчислюють відхилення:

$$D_i = \bar{F}(x_i) - F(x_i). \quad /23/$$

Гіпотеза про нормальність розподілу підтверджується, якщо $D_{max} \leq D_q$. Статистику D_q визначають за таблицями залежно від взятого рівня значності $q = 1 - p$ за числом вимірювань n /табл. 3/.

Таблиця 3

q	n							
	10	20	30	40	50	100	200	300
0,05	0,41	0,29	0,24	0,21	0,19	0,13	0,10	0,09
0,01	0,49	0,35	0,29	0,25	0,23	0,16	0,13	0,11

Для перевірки статистичної однорідності процесу за декількома виборками обчислюють середнє квадратичне відхилення S_{x_i} і систематичні відхилення δx_{xi} для кожної виборки.

Стабільність характеристик S_x та δx_c перевіряють з допомогою статистик F і t , які обчислюють за формулами

$$F_e = \frac{S_{x_{max}}^2}{S_{x_{min}}^2}, \quad /24/$$

$$t_e = \frac{\delta x_{c_{max}} - \delta x_{c_{min}}}{\sqrt{S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2}} \sqrt{n-1}, \quad /25/$$

де n - число вимірів у виборці; S_{x_1} та S_{x_2} - середні квадратичні відхилення, відповідно до виборок $\delta x_{c_{max}}$ та $\delta x_{c_{min}}$.

Характеристики S_x та δx_c вважаються стабільними, якщо $F_e \leq 1,5$ і $t_e \leq 2,0$.

Якщо розрахунками підтверджується стабільність технологічного процесу, то обчислюють характеристики геометричного параметра за формулами /2/ - /11/, /16/ - /18/ і встановлюють клас точності.

$$\delta x_{sup} = x_{max} - x_{nom}; \quad /8/$$

$$\Delta x = 2\delta x = x_{max} - x_{min} = \delta x_{sup} - \delta x_{inf}; \quad /9/$$

$$\delta x = \frac{\delta x_{sup} - \delta x_{inf}}{2} = \frac{\Delta x}{2} = \frac{x_{max} - x_{min}}{2}; \quad /10/$$

$$\begin{aligned} \delta x_c &= x_c - x_{nom} = \frac{\delta x_{sup} + \delta x_{inf}}{2} = \\ &= \frac{x_{max} + x_{min}}{2} - x_{nom}, \end{aligned} \quad /11/$$

де t_{min} та t_{max} - параметри розподілу, які визначають за таблицями залежно від заданої довірчої ймовірності.

Значення t за нормального розподілу параметра x вибирають відповідно до взятого рівня дефективності /ГОСТ 23616-79/ та встановлені згідно з ГОСТ 23615-79 /табл. I/.

Таблиця I

Рівень дефективності, %	0,25	0,65	1,5	4,0	10,0
Величина	3,0	2,7	2,4	2,1	1,6

У випадку симетричного нормального розподілу геометричного параметра x /рис. 2/ та $t_{max} = t_{min} = t$ взаємозв'язок характеристик точності параметрів виражають за формулами:

$$x_c = m_x; \quad /12/$$

$$x_{min} = x_{nom} + \delta x_c - \delta x; \quad /13/$$

$$x_{max} = x_{nom} + \delta x_c + \delta x; \quad /14/$$

$$\delta x = t \sigma_x. \quad /15/$$

Асиметрію та її стандарт розподілу обчислюють як

$$S_x = \frac{\sum \delta x^3}{n \cdot S_x^3}; \quad /16/$$

$$\sigma S_x = \sqrt{\frac{\delta(n-1)}{(n+1)(n+3)}}. \quad /17/$$

Асиметрія вважається незначною, якщо виконується умова

$$S_x \leq t \sigma S_x, \quad /18/$$

де t вибирають за таблицями за заданою довірчою ймовірністю /при $p = 0,997$ $t = 3$;

при $p = 0,95$ $t = 2$ /.

Статистична однорідність технологічного процесу передбачає перевірку нульових гіпотез:

- 1/ нормальності розподілу результатів вимірювань;
- 2/ точності вимірювань чи стабільності характеристик $S_x, \delta x_c$.

При перевірці статистичної однорідності технологічного процесу з обробки виключають грубі результати вимірювань, які виходять за межі:

$$|\delta_{гран}| \leq t \sigma_x \quad \text{або} \quad |\delta_{гран}| \leq t S_x. \quad /19/$$

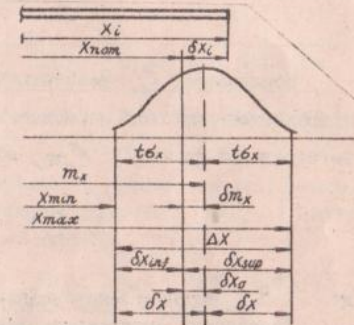


Рис. 2. Характеристики точності параметрів при нормальному розподіленні

Систематична похибка не повинна перевищувати значення

$$\delta X_c \leq 1,643 \cdot \frac{S \cdot N}{\sqrt{N}} \quad /26/$$

Статистичний аналіз точності геометричних параметрів

Задача 1. Виконати перевірку статистичної однорідності технологічного процесу виготовлення стінових панелей номінального розміру за довжиною $X_{ном} = 6000$ мм серійного виробництва і виконати розрахунок характеристик точності. Протягом 5 днів одержана виборка об'ємом $n = 40$ виробів. Дійсні відхилення довжини панелей контролювались відповідно до ГОСТ 11024-72 /за трьома виробами в кожну зміну/.

Протягом наступних 5 міс у аналогічному порядку одержані ще п'ять виборок такого самого об'єму / $n = 40$ /.

Розв'язання. Для кожної виборки обчислюють середнє квадратичне і систематичне відхилення $S X_i$ та δX_{ci} . Результати обробки першої виборки наведені в табл. 4.

Таблиця 4.

№ п/п	X_i	δX_i	δX_i^2	δX_i^3	Σ	За зростанням	Обчислення
1	2	3	4	5	6	7	8
1	6003	+1	1	+1	+0,34	-2,07	
2	5999	-3	9	-27	-1,03	-2,07	
3	6002	0	0	0	0	-1,72	
4	6001	-1	1	-1	-0,34	-1,38	
5	6003	+1	1	+1	+0,34	-1,38	
6	6003	+1	1	+1	+0,34	-1,03	
7	6006	+4	16	+64	+1,38	-1,03	
8	6001	-1	1	-1	-0,34	-0,69	
9	6005	+3	9	+27	+1,03	-0,69	
10	6001	-1	1	-1	-0,34	-0,69	
11	6002	0	0	0	0	-0,69	
12	5998	-4	16	-64	-1,38	-0,34	
13	6003	+1	1	+1	+0,34	-0,34	

$$X_m = \frac{240081}{40} = 6002$$

$$S_x = \sqrt{\frac{339}{39}} = 2,90 \text{ мм}$$

$$\delta X_c = X_m - X_{ном} = 6002 - 6000 = 2 \text{ мм}$$

$$|\delta_{пред}| \leq t S_x = 3 \cdot 2,90 = 8,7 \text{ мм}$$

$$S_x = \frac{-109}{40 \cdot 2,93} = -0,11$$

$$\sigma_{S_x} = \sqrt{\frac{6 \cdot (401)}{(40+1)(40+3)}} = 0,36$$

Закінчення табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
14	5999	-3	9	-27	-1,03	-0,34	
15	6004	+2	4	+8	+0,69	-0,34	
16	6003	+1	1	+1	+0,34	-0,34	
17	6000	-2	4	-8	-0,69	0	
18	6005	+3	9	+27	+1,03	0	
19	6002	0	0	0	0	0	
20	6002	0	0	0	0	0	
21	6007	+5	25	+125	+1,72	0	
22	6002	0	0	0	0	0	
23	6000	-2	4	-8	-0,69	+0,34	
24	6004	+2	4	+8	+0,69	+0,34	
25	5998	-4	16	-64	-1,38	+0,34	
26	6002	0	0	0	0	+0,34	
27	5996	-6	36	-216	-2,07	+0,34	
28	6004	+2	4	+8	+0,69	+0,34	
29	6003	+1	1	+1	+0,34	+0,34	
30	6001	-1	1	-1	-0,34	+0,69	
31	6010	+8	64	+512	+2,76	+0,69	
32	6003	+1	1	+1	+0,34	+0,69	
33	6000	-2	4	-8	-0,69	+0,69	
34	6001	-1	1	-1	-0,34	+1,03	
35	6000	-2	4	-8	-0,69	+1,03	
36	6005	+3	9	+27	+1,03	+1,03	
37	6006	+4	16	+64	+1,38	+1,38	
38	5996	-6	36	-216	-2,07	+1,38	
39	5997	-5	25	-125	-1,72	+1,72	
40	6004	+2	4	+8	+0,69	+2,76	

240081 +1 339 -109

Обчислені статистичні характеристики за всіма виборками наведені в табл. 5.

Таблиця 5

№ п/п	Місяць, рік	n	$\delta x_c, \text{мм}$	$S_x, \text{мм}$
1	05.93	40	+2,00	2,90
2	06.93	40	+1,84	+2,38
3	07.93	40	+2,10	2,44
4	08.93	40	+1,50	2,68
5	09.93	40	+1,34	2,50
6	10.65	40	+2,25	2,86

$$\overline{\delta x_c} + 1,83 \quad \overline{S_x} 2,62$$

За формулою /19/ обчислюють допустимі відхилення. В першій виборці $\delta_{\text{гран}} = \pm 8,7$ мм. Це говорить про те, що грубі помилки відсутні /табл. 4/. При $\delta x_i > \delta_{\text{гран}}$ їх виключають і заново обчислюють значення δx_c та S_x .

Для перевірки нормальності розподілу за критерієм Колмогорова згрупуємо нормовані похибки за інтервалами z_i та підрахуємо їх частоту f_i /табл. 6/.

Таблиця 6

№ п/п	інтервал z_i		f_i	Σf_i	$z_{\text{сер}}$	$\bar{F}(z_i)$	$F(z_{\text{сер}})$	D_i	Для n'ятої виборки
	від	до							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-3,5	-2,5	2	2	-3,0	0,008	0,001	+0,007	0
2	-2,5	-1,5	16	18	-2,0	0,075	0,023	0,052	3
3	-1,5	-0,5	26	46	-1,0	0,192	0,159	+0,033	8
4	-0,5	+0,5	87	133	0	0,554	0,500	+0,054	18
5	+0,5	+1,5	55	188	+1,0	0,783	0,841	-0,058	9
6	+1,5	+2,5	34	222	+2,0	0,925	0,977	-0,052	1
7	+2,5	+3,5	18	240	+3,0	1,000	0,999	+0,001	1

N = 240

40

Наприклад, значення частот для першої виборки, згідно з табл. 4, наведені в гр. 10 табл. 6.

Емпіричні функції $\bar{F}(z_i)$ обчислені за формулою /21/, а теоретичні $F(z)$ за формулою /22/ і табл. 2. Різниця D_i емпіричної та теоретичної функцій розподілу обчислені за /23/. Оскільки

$1,2 \delta_{\text{max}} < D_0 (0,058 < 0,10)$ при $\rho = 0,95 (q = 0,05)$ і $N = 240$ /див. табл. 3/, то дійсні відхилення розмірів підкоряються нормальному закону розподілу. Оскільки асиметрія $S_x = 0,11$ менша за свій стандарт $\sigma_{S_x} = 0,36$, то, згідно з /18/, вона буде незначною і розподіл є симетричним.

Стабільність характеристик S_n і δx_c у серії виборок перевіряємо статистиками f_e та t_e за формулами /24/ і /25/. При цьому, згідно з табл. 5,

$$f_e = \frac{Sx^2_{\text{max}}}{\delta x^2_{\text{min}}} = \frac{2,90^2}{2,38^2} = 1,48;$$

$$t_e = \frac{\delta x_{c \text{max}} - \delta x_{c \text{min}}}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}} \sqrt{n-1} = \frac{2,10 - 1,34}{\sqrt{2,14^2 + 2,50^2}} \sqrt{40-1} = 1,35.$$

Оскільки $f_e < 1,5 (1,48 < 1,5)$ і $t_e = 2,00 (1,35 < 2,00)$,

то технологічний процес виготовлення стінових панелей за параметром "довжина" можна вважати статистично однорідним.

Систематична похибка $\overline{\delta x_c} = +1,83$ мм перевищує значення δx_c , обчислені за формулою /26/: $\overline{\delta x_c} > \delta x_c (+1,83 > 1,643 \cdot \frac{2,62}{\sqrt{240}} = 0,28)$,

відповідно до вимог ГОСТ 23615-79 вона має бути зменшена регулюванням внутрішніх розмірів форм.

Обчислимо характеристики точності параметра панелі "довжина" до скасування систематичної похибки форми.

Візьмемо рівень дефективності $g = 0,25\%$, тоді $t = 3$ /див. табл. 1/. За формулами /5/ - /15/ при середніх значеннях середнього квадратичного відхилення $\overline{\delta x_c} = S_x = 2,62$ і систематичної похибки

$\overline{\delta x_c} = +1,83$ мм /див. табл. 5/ визначимо:

1/ половину допуску $\delta x = \pm t \delta_3 = \pm 3 \cdot 2,62 = 7,9$ (мм);

2/ допуск $\Delta x = 2 \delta x = 15,8$ (мм);

3/ нижнє граничне відхилення $\delta x_{\text{inf}} = \overline{\delta x_c} - \delta x = 1,8 - 7,9 = -6,1$ (мм);

4/ верхнє граничне відхилення $\delta X_{\text{sup}} = \delta X_c + \delta X = 1,8 + 7,9 = +9,7 (\text{мм})$;

5/ мінімальний граничний розмір $X_{\text{mit}} = X_{\text{nom}} + \delta X_{\text{inf}} = 6000 - 0,1 = 5999,9 (\text{мм})$;

6/ максимальний граничний розмір $X_{\text{max}} = X_{\text{nom}} + \delta X_{\text{sup}} = 6000 + 9,7 = 6009,7 (\text{мм})$.

Вказівки. Для розв'язку задачі необхідно замінити значення X_i в табл. 4 відповідно до номера варіанта: X'_n ; X'_{n+10} ; X'_{n+20} на $X'_n = X_{n-n}$; $X'_{n+10} = X_{n+10} - (10+n)$; $X'_{n+20} = X_{n+20} - (n+20)$.

Наприклад у варіантах: $n=1$; $X_1 = X_{1-1} = 6003 - 1 = 6002$;

$X_{1+10} = X_{11} = 6002 - 11 = 5991$; $X_{n+20} = X_{21} = 6007 - 21 = 5986$;

$n=8$; $X_8 = X_8 - 8 = 6001 - 8 = 5993$; $X_{n+10} = X_{18} - (8+10) = 6005 - 18 = 5987$ і т.д.

В табл. 5 значення δX_0 та S_X в 2-6 циклах збільшуються на значення $0,01 \cdot N$. Наприклад: для варіанта $N=11$ друге і наступне значення обчислюють: $\delta X_2 = 1,84 + 0,01 \cdot 11 = 1,95$; $S_{X_2} = 2,38 + 0,11 = 2,49$ і т.д. В табл. 6 значення Z_i в графі 5 змінюють відповідно з розрахованою кількістю Z_i за першою виборкою /табл. 6, графа 10/. Для цього до кожного Z_i в графі 4 додають кількість обчислених Z згідно з табл. 4 і віднімають значення в графі 10. Наприклад, в 1-му інтервалі в 1-й виборці отримано $Z=2$. Тоді $2+2-0=4$. Якщо в 4-му інтервалі $Z=87$, а в табл. 4 цей інтервал включає 20 похибок, то $Z_4 = 87+20-18 = 89$.

Результати обчислень показують на кресленні згідно з рис. 2.

В цій частині методичних вказівок наведені відомості з системи допусків на виготовлення елементів будівельних конструкцій, на геодезичні розбивні та монтажні роботи з розв'язуванням ряду практичних задач [1, 2, 5, 6].

[Координацію розмірів об'ємно-планувальних та конструктивних елементів будов і споруд, будівельних виробів встановлюють на основі єдиної модульної системи /СМС/ на базі основного модуля 100 мм, який позначимо М. Збільшені модулі 6000, 1500 і т.д. позначимо відповідно 60 М, 15 М. Дрібні модулі 50,5 мм позначають 1/2 М, 1/20 М і т.д.

Технологічні допуски ΔX у міліметрах обчислюють за формулою

$$\Delta X = iA, \quad /27/$$

де i - одиниця допуску, A - коефіцієнт точності.

Одиницю допуску i визначають залежно від значення параметра для всіх технологічних процесів. Коефіцієнт точності A встановлює число одиниць допуску для даного класу точності і вибирається за системою чисел, яким надана перевага.

Допуски виготовлення. В будівельному виробництві застосовують конструкції зі сталі, залізобетону, дерева, пластмас та ін. Недосконалість технологічних операцій виготовлення елементів конструкцій призводить до похибок лінійних розмірів, викривлення поверхностей та геометричних форм. Згідно з ГОСТ 21779-82, основними дефектами елементів будівельних конструкцій, на які встановлюються допуски, є:

- 1/ спотворення лінійних розмірів;
 - 2/ відхилення від прямолінійності /шфетність/ поверхні;
 - 3/ відхилення від площинності /викривлення опорних площин, овальність/;
 - 4/ спотворення перпендикулярності поверхні /клиноподібність/;
 - 5/ перекося /нерівність діагоналей/.
- Одиниця допуску виготовлення елементів будівельних конструкцій

$$i = 2(0,8 + 0,001\sqrt{L}) \times (\sqrt[3]{L+25} + 0,01\sqrt[3]{L^2}), \quad /28/$$

де L - довжина розміру елемента, мм; α - коефіцієнт, який залежить від виду дефекту.

Значення коефіцієнтів A та α для обчислення допусків на виготовлення наведені в табл. 7.

Допуск ΔX обчислюють за формулами /27/ та /28/ для кожного виду дефекту, виходячи з номінального розміру та класу точності.

Таблиця 7

Вид дефекту	α	K для класів точності								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Лінійні розміри	1,0	0,10	0,16	0,25	0,40	0,60	1,0	1,6	2,5	4,0
Прямолінійність	1,0	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5			
Площинність	1,0	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,0	
Перпендикулярність	0,6	0,16	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,0
Рівність діагоналей	1,0	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5			

Вимога
 Задача 2. На домобудівному комбінаті виготовляють стінні панелі розміром 6000x3000x200 за 4-м класом точності. Визначити допуски: лінійних розмірів за довжиною, прямолінійності, площинності, перпендикулярності і рівності діагоналей. Показати схематично на кресленні.

Лабора №1
 Розв'язання. За формулами /27/ та /28/ обчислюють допуски
 1/ лінійного розміру за довжиною панелі. Згідно з табл. 7, $\alpha = 1,0$ та $K = 0,4$ при $L = 6000$ знаходять $i = 1,0(0,8 + 0,001 \times \sqrt[3]{6000})(\sqrt[3]{6025} + 0,01 \sqrt[3]{6000^2}) = 18,9 \text{ мкм}$; $\Delta X = K \cdot i = 0,4 \cdot 18,9 = 7,6 \text{ мкм}$;
 2/ прямолінійності. При $L = 6000$, $\alpha = 1$ та $K = 1$ отримують $i = 18,9$. Тоді допуск $\Delta X = 18,9 \text{ мм}$ /рис. 3, 4/.

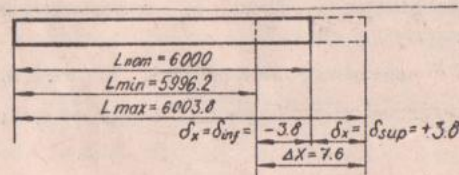


Рис. 3. Зображення розмірів допусків та відхилень лінійних розмірів

18

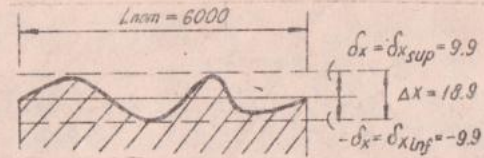


Рис. 4. Зображення допусків та відхилень прямолінійності

В разі необхідності прямолінійність визначають не за всією довжиною, а на деякій відстані L_i від дотичної лінії /рис. 5/. При $L = 3000$ отримують $i = 8,5$ та $\Delta X = 8,5 \text{ мм}$.

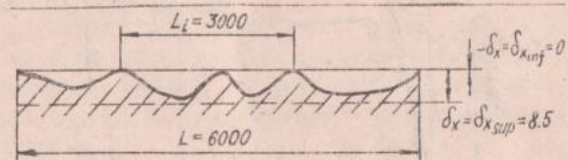


Рис. 5. Зображення допусків та відхилень прямолінійності на інтервалі розміру елемента

3/ площинності. При $L = 6000$, $\alpha = 1$ та для 4-го класу точності /табл. 7/ знаходять $i = 18,9$, $\Delta X = 18,9$, $K = 1$. Викривлення площинності визначають від прилеглої площини, яка проходить через три крайні точки реальної поверхні /рис. 6/.

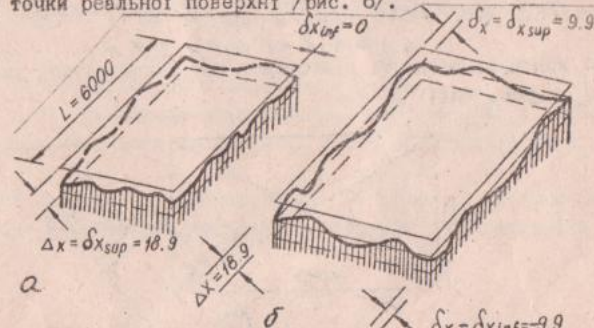


Рис. 6. Зображення допусків та відхилень площинності

6 - 6-2561

19

4/ перпендикулярності. При $L = 3000$, $\alpha = 0,6$ та $K = 0,6$ /табл. 7/ за формулою /28/ знаходять

$$i = 0,6 (0,8 + 0,001 \sqrt{3000}) \times (\sqrt[3]{3025} + 0,01 \sqrt[3]{3000^2}) = 8,8.$$

Допуск становить $\Delta X = K \cdot i = 0,6 \cdot 8,8 = 5,3 \text{ мм}$.

Викривлення перпендикулярності поверхні деталей за заданою довжиною елемента /рис. 7, а/ або частини його довжини /рис. 7, б/ визначають за лініями, які проходять через крайні точки конструкції чи за дотичною лінією;

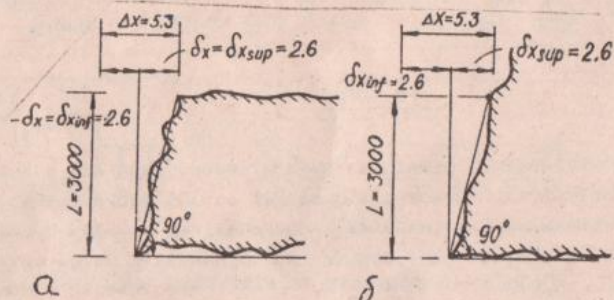


Рис. 7. Зображення допусків та відхилень площинності

5/ рівність діагоналей. Довжина діагоналей $L = \sqrt{6000^2 + 3000^2} = 6708 \text{ мм}$. При $\alpha = 1,0$ та $K = 1,0$ /табл. 7/ отримують

$$i = 1(0,8 + 0,001 \sqrt{6708}) (\sqrt[3]{6733} + 0,01 \sqrt[3]{6708^2}) = 18,9; 19,8$$

$$\Delta X = K \cdot i = 1 \cdot 18,9 = 18,9 \text{ мм} \quad 19,8$$

При контролі рівності діагоналей має виконуватись умова /рис.8/ $L_2 - L_1 = \Delta X$, тоді $L_2 = L_1 + \Delta X$.

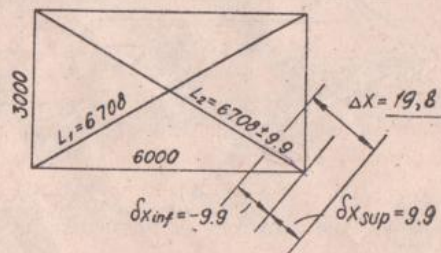


Рис. 8. Зображення допусків і відхилень рівності діагоналей

Вказівки. Для виконання задачі кожний студент змінює розмір стійної панелі за довжиною на $\Delta L = N \cdot 100 \text{ мм}$, де N - номер варіанта. Наприклад, при $N = 11$ $L = 6000 + 11 \cdot 100 = 7100 \text{ мм}$.

Висота і товщина панелі залишаються однаковими. Розрахунки виконують аналогічно наведеному прикладу і супроводжують малюнками з зображенням допусків та відхилень.

Допуски геодезичних розбивних робіт. В будівництві розрізняють два види точності геодезичних розбивних робіт:

1/ точність розбивки споруд відносно місцевих контурів у плані та за висотою;

2/ точність розбивки в плані та за висотою осей та висот для установки елементів конструкцій, будов у проектні положення відносно вихідних осей та висот.

Точність першого виду не впливає на взаємозаміну елементів при монтажі. Вона характеризується графічною точністю вихідних планів. При розплануванні комплексу промислових будівель точність розбивних робіт першого виду повинна відповідати вимогам технологічності виробничих процесів.

Точність розбивних другого виду характеризує точність установки елементів конструкцій у проектне положення, виходячи із геометричної /габаритної/ взаємозамінності.

Допуск та одиниці допуску геодезичних розбивних робіт обчислюють за формулами

$$i = \alpha \cdot L \text{ (мм)}; \quad \frac{49000000}{16000000} /29/$$

$$\Delta X = K \cdot i, \quad /30/$$

де L - розмір розбивного елемента в метрах.

ГОСТ 21779-82 регламентує значення коефіцієнта α та технологічні допуски за видами геодезичних розбивних робіт згідно з табл. 8.

Держстандартом передбачено 6 класів точності геодезичних розбивних робіт. Значення коефіцієнтів точності K вказані в табл. 9.

Таблиця 8

№ п/п	Вид розпланування	Значення α
1	Розбивка точок та осей у плані	1,0
2	Розбивка точок та осей за вертикаллю	0,4
3	Розбивка створних точок	0,25
4	Розбивка висотних відміток	0,6
5	Передача висотних відміток	0,25
6	Розбивка взаємно перпендикулярних осей	0,4

Таблиця 9

Клас точності	1	2	3	4	5	6
Значення K	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5

Точність розбивних робіт характеризують допусками ΔX і граничними відношеннями δx_{inf} та δx_{sup} . При передачі точок та осей по вертикалі в формулі /29/ замість розміру L беруть розмір висоти H .

Задача 3. Від вихідного геодезичного пункту A на відстані $L = 35$ м винесена точка осі B . Визначити та графічно зобразити допуски розбивки точки в плані та по вертикалі при передачі її на 10-монтажний горизонт за 3-м класом точності. Висоту поверху взяти 3 м.

Розв'язання.

1. Розрахунок допуску на розбивку точки B у плані. Із табл. 8 і 9 знаходять $\alpha = 1,0$; $K = 0,6$. За формулами /29/, /30/ при $L = 35$ м отримують $i = \alpha \cdot L = 1,0 \times 35 = 35$; $\Delta x = K \cdot i = 0,6 \times 35 = 21,0$ мм. Оскільки $\Delta x = 21,0$ мм то при $p = 0,997$; $t = 3$ середня квадратична похибка буде $m = \frac{\Delta x}{6} = \frac{21,0}{6} = 3,5$ мм.

Відносна середня квадратична похибка лінійних вимірів становить /рис. 9/:

$$\frac{1}{T} = \frac{m}{L} = \frac{3,5}{35000} = \frac{1}{10000}$$

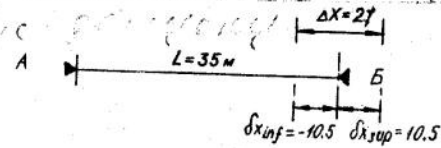


Рис. 9. Зображення допуску та граничних відхилень розбивки точки в плані

2. Обчислення допуску розбивки точки B за вертикаллю. При $h = 3$ м $n = 10$; $H = n \cdot h = 30$ м. Коефіцієнти $\alpha = 0,4$; $K = 0,6$ /див. табл. 8, 9/.

Тоді $i = \alpha \cdot L = 0,4 \times 35 = 14$ мм $\Delta x = K \cdot i = 0,6 \times 14 = 8,4$ мм.

Середня квадратична похибка розбивки точності за вертикаллю /рис. 10/:

$$m = \frac{\Delta x}{6} = \frac{8,4}{6} = 1,4$$

Вказівки. В умові задачі відстань збільшується на $\Delta L = N$ метрів. Число поверхів $n = 5 + N$ при висоті $h = 3$ м.

Задача 4. Обчислити точність розбивки створних точок 1 та 2 осі AB за 3-м класом точності на відстанях $L_1 = 35$ м та $L_2 = 50$ м. Показати на рисунку.

Розв'язання. З табл. 8, 9 знаходять $\alpha = 0,25$ та $K = 0,6$. Тоді

$$i_1 = \alpha \cdot L_1 = 0,25 \times 35 = 8,8$$

$$i_2 = \alpha \cdot L_2 = 0,25 \times 50 = 12,5$$

$$\Delta x_1 = K \cdot i_1 = 0,6 \times 8,8 = 5,3$$

$$\Delta x_2 = K \cdot i_2 = 0,6 \times 12,5 = 7,5$$

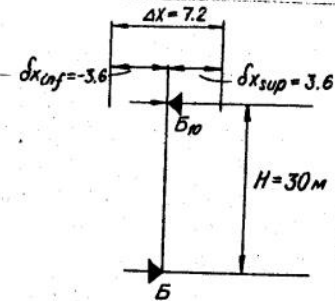


Рис. 10. Зображення допуску і граничних відхилень розбивки точки по вертикалі

Відповідно до $m_1 = \frac{\Delta x_1}{b} = \frac{6,3}{6} = 0,9 \text{ мм}$ та $m_2 = \frac{\Delta x_2}{b} = \frac{7,5}{6} = 1,2 \text{ мм}$

Рис. II.

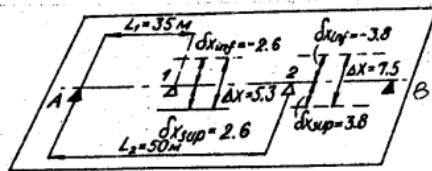


Рис. II. Зображення допусків та граничних відхилень розбивки створних точок

Вказівки. В умові задачі відстані до створних точок 1 та 2 збільшити на $\Delta L = N$ метрів.

Задача 5. Від репера вихідної висотної основи передати висоту на репер "нульового" монтажного горизонту з граничною похибкою $\delta x = 10 \text{ мм}$ на відстані $L = 50 \text{ м}$.

Визначити клас точності висотних розбивних робіт; за розрахованим класом точності винести висотний маяк на 10-монтажний горизонт. Висота поверху $h = 3 \text{ м}$.

Розв'язання. Розрахувати допуск розбивки висотної відмітки нульового горизонту. При симетричному нормальному розподілі похибок вимірювань отримують: $\Delta x = 2\delta x = 2 \times 10 = 20 \text{ мм}$.

Згідно з табл. 9 $\alpha = 0,25$. При $L = 50 \text{ м}$ обчислюють одиницю допуску $i = \alpha \cdot L = 0,25 \times 50 = 12,5 \text{ мм}$. Тоді розрахунковий коефіцієнт класу точності передачі висотної відмітки буде

$$K = \frac{\Delta x}{i} = \frac{20}{12,5} = 1,6.$$

Згідно з табл. 9 знаходять, що це відповідає 5-му класу точності геодезичних розбивних робіт.

Обчислюють допуск розбивних висотного маяка на 10-монтажному горизонті. При $h = 3 \text{ м}$ та $n = 10$ $H = n \cdot h = 10 \times 3 = 30 \text{ м}$,

З табл. 8 знаходять значення коефіцієнта. Тоді $i = \alpha \cdot H = 0,6 \times 30 = 18$,

$$\Delta x = K \cdot i = 1,6 \times 18 = 28,8 \text{ мм}.$$

Середня квадратична похибка розбивки висотної відмітки /рис. 12/

$$m = \frac{\Delta x}{b} = \frac{28,8}{6} = 4,8 \text{ мм}.$$

Вказівки. В умові задачі відстань L збільшується на $\Delta L = N$ метрів, а висоту поверху беруть $n = 3 + N$.

Допуски будівельно-монтажних робіт. Елементи будівельних конструкцій встановлюють у плані та за висотою відносно точок, ліній та поверхні, винесених при виконанні геодезичних розбивних робіт. Установку елементів будівельних конструкцій виконують за гранями чи рисками, спеціально нанесеними на поверхні елемента.

ГОСТ 21779-82 регламентує два види монтажних допусків:

- 1/ на суміщення орієнтирів /вихідного та на елементі/;
- 2/ на симетричність взаємної установки елементів.

Одиницю допуску обчислюють за формулою

$$i = \alpha (0,8 + 0,001 \sqrt{L}) (\sqrt[3]{L + 25} + 0,01 \sqrt[3]{L^2}), \quad /31/$$

де L - відстань між орієнтирами, мм; α - коефіцієнт, що дорівнює 1,6, при розрахунку допусків на суміщення орієнтирів та $\alpha = 0,6$ - при розрахунку допусків симетричності установки елементів.

Точність монтажних робіт держстандартом регламентується шістьма класами точності. Значення коефіцієнтів точності монтажних робіт відповідає табл. 9.

Задача 6. Розрахувати допуски на монтаж стінової панелі в плані та за вертикаллю. Монтаж проводиться за третім класом точності. Висота панелі $H = 3000$. Відстань між орієнтирами на монтажному горизонті та колоні $L = 100 \text{ мм}$.

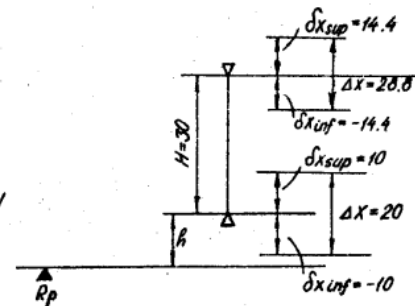


Рис. 12. Зображення допусків та граничних відхилень передачі та розбивки висотних відміток

Розв'язання. Розрахунки виконують за формулами /27/, /31/ з використанням даних табл. 9.

1. Допуск на суміщення рисок на монтажному горизонті та колоні при $K = 0,6$ та $\alpha = 1,6$ буде $i = 1,5(0,8 + 0,001\sqrt{100}) \times (\sqrt[3]{125} + 0,01\sqrt[3]{100^2}) = 6,8$,
 $\Delta X = K \cdot i = 0,6 \times 6,8 = 4,1$.

2. Допуск на установку колони за вертикаллю розглядають як суміщення орієнтирів під кутом 90° на висоті $L = H = 3000$ /рис. 13/

$$i = 1,5(0,8 + 0,001\sqrt{3000}) \times (\sqrt[3]{3025} + 0,01\sqrt[3]{3000^2}) = 22,5,$$

$$\Delta X = K \cdot i = 13,5 \text{ мм.}$$

Середні квадратичні похибки монтажу колони становитимуть

$$m_n = \frac{\Delta X}{6} = \frac{4,1}{6} = 0,68 \text{ мм};$$

$$m_o = \frac{\Delta X}{6} = \frac{13,5}{6} = 2,2 \text{ мм.}$$

Вказівки. В умові задачі відстань L зменшується на $\Delta L = N$ мм, а висоту панелі беруть $H = 3000 + 100$ мм.

Задача 7. Визначити клас точності монтажу ліфтової шахти із збірних елементів, якщо допуск на симетричність взаємної установки елементів дорівнює

$$\Delta X = 6,0 \text{ мм при } L = 1600 \text{ мм.} + N \cdot 20 \text{ мм}$$

Розв'язання. Згідно з формулою /27/ коефіцієнт точності обчислюють як

$$K = \frac{\Delta X}{i} \quad /32/$$

При $\alpha = 0,6$ та $L = 1600$ мм за формулою /31/ отримують

$$i = 0,6(0,8 + 0,001\sqrt{1600}) \times (\sqrt[3]{1625} + 0,01\sqrt[3]{1600^2}) = 6,6.$$

Тоді $K = 6,0/6,6 = 0,96$.

За табл. 9 знаходять, що симетричність взаємної установки збірних блоків ліфтової шахти має виконуватись за 4-м класом точності /рис. 14/.

Розрахунок точності геометричних параметрів будівельних конструкцій. В цій частині методичних вказівок дані короткі відомості з методики та принципів розрахунку точності геометричних параметрів у будівництві. Наводяться варіанти розв'язування задач на різні види сполучення елементів будівельних конструкцій [4-6].

Розрахунок точності геометричних параметрів виконують на стадії проектування інженерних споруд на основі вимог ГОСТ 21780-83 /СТ СЭВ 3740-82/ Расчет точности.

Основою розрахунку є функціональні вимоги до конструкцій будівель, споруд та дані про точність технологічних процесів будівельного виробництва.

Розрахунки точності сполучень будівельних конструкцій виконують із застосуванням теорії розмірних ланцюгів, характеризують номінальними значеннями, допусками і допустимими граничними відхиленнями.

В розмірний ланцюг можуть входити ланки, які мають номінальний розмір O . Наприклад, встановлення елементів на вертикалі. На результати обчислень це не впливає.

Методика розрахунку може бути:

1/ прямою, коли за відомими характеристиками точності складових ланок розмірного ланцюга знаходять допуск на розмір замикаючої ланки;

2/ оберненою, коли за встановленим допуском результуючого параметра обчислюють точність складових параметрів.

Методичні принципи та порядок обчислення точності. Обчислення точності геометричних параметрів у будівництві має забезпечити мінімальні трудові та матеріальні затрати на будівництво інженерних

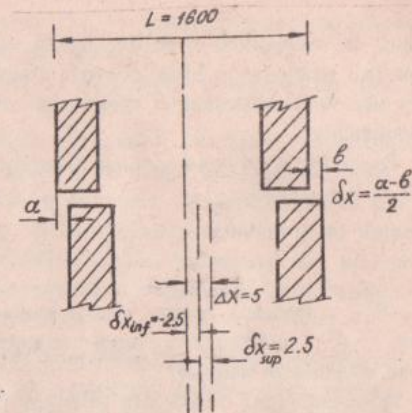


Рис. 14. Допуски та граничні відхилення симетричності монтажу елементів ліфтової шахти

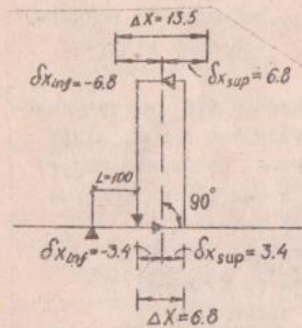


Рис. 13. Допуски та граничні відхилення монтажу стінової панелі в плані та за вертикаллю

споруд. За величиною потрібно брати максимально можливі значення допусків, виходячи з умов повної збірності конструкцій. Неповна збірність має бути обумовлена технічною можливістю та економічною цілеспрямованістю.

Взаємозв'язок номінальних розмірів у розмірному ланцюгу виражається рівнянням

$$X = \sum_{i=1}^n C_i X_i, \quad /33/$$

де X - замикаюча ланка /результуючий параметр/; X_i - складові ланки; C_i - коефіцієнт, який характеризує залежність між замикаючою та складовою ланкою.

Якщо складові ланки статистично залежні, то взаємозв'язок розраховують за допомогою коефіцієнтів кореляції. Граничні значення замикаючих ланок обчислюють за формулами:

$$X_{min} = X_{nom} + \delta X_c - t\sigma; \quad X_{max} = X_{nom} + \delta X_c + t\sigma. \quad /34/$$

ГОСТ 23616-79 допускає 4-й рівень дефектності. Тоді формули /34/ набирають вигляду

$$X_{min} = X_{nom} + \delta X_c - 0,75 \Delta X; \quad X_{max} = X_{nom} + \delta X_c + 0,75 \Delta X. \quad /35/$$

Розрахунок точності розмірних ланцюгів виконують:

а/ методом /"максимуму-мінімуму" /повної взаємозаміни/.

Допуск результуючого параметра обчислюють за формулою

$$\Delta X = \sum_{i=1}^n C_i \Delta X_i; \quad /36/$$

б/ ймовірнісним методом.

Допуск результуючої ланки

$$\Delta X = \sqrt{\sum_{i=1}^n C_i^2 \Delta X_i^2}. \quad /37/$$

Метод максимуму-мінімуму рекомендується застосовувати при кількості складових ланок до трьох.

Обчислення точності виконують у такій послідовності:

1/ за проектом виявляють і встановлюють розмірні ланцюги з ланками, від яких залежить забезпечення функціональних вимог до споруд;

2/ виходячи з проектної технології та послідовності виконання робіт намічають складові та замикаючі ланки;

3/ вибирають метод розрахунку та складають вихідні рівняння ланцюгів;

4/ методом пробних розрахунків визначають вихідні характеристики геометричних параметрів за прямим та зворотним розрахунком;

5/ якщо в результаті розрахунку виявлено невідповідність між проектною технологією виробництва та необхідною точністю, то переходять до підвищення точності складових ланок, зменшенню їх впливу на замикаючу ланку, змінюють конструктивні вирішення, або передбачають неповну взаємозаміну елементів.

Розрахунок розмірних ланцюгів оберненим способом. На стадії проектування, коли відомо допуск на замикаючу ланку, обчислення точності геометричних параметрів може виконуватись оберненим методом. Враховуємо, що на допуск ланки, що залишається, впливають похибки: виготовлення елементів, геодезичних розбивочних та монтажних робіт. Їх відповідно характеризують стандартами $\sigma_B, \sigma_r, \sigma_M$, граничними відхиленнями $\delta_B, \delta_r, \delta_M$ або допусками $\Delta_B, \Delta_r, \Delta_M$.

При розрахунках розмірні ланцюги розбивають на окремі монтажні ділянки, які обмежені розбивними рисками, маяками та ін.

Коли між розбивними рисками знаходяться n -монтажних елементів, то граничне відхилення замикаючої ланки конструкції δ_z визначають за формулою

$$\delta_z = \sqrt{\delta_r^2 + \sum_{i=1}^n \delta_B^2 + \sum_{i=1}^n \delta_M^2}. \quad /38/$$

Якщо елементи, що сполучаються, рівні за геометричними параметрами і одного класу точності, то

$$\delta_z = \sqrt{\delta_r^2 + n \delta_B^2 + n \delta_M^2}. \quad /39/$$

В способі прямого розрахунку за відомих граничних відхилень на окремі технологічні процеси граничні відхилення на замикаючу ланку обчислюють за формулами /38/, /39/.

В способі оберненого розрахунку можна виконати наближене обчислення, взявши передбачення рівного впливу похибок усіх технологічних процесів.

$$\text{Тоді } \delta_r = \delta_B = \delta_M = \delta_z / \sqrt{2n+1}. \quad /40/$$

Більш точним буде розрахунок з врахуванням ступеня впливу геометричних параметрів і класу точності окремих технологічних процесів. За принципом незначного впливу похибки геодезичних розбивних робіт обчислюють за формулою

$$\delta_r = \delta_z / \sqrt{t^2 + 1}, \quad /41/$$

де t - параметр, що беруть із таблиць розподілу функції Лапласа /див. табл. 2/ за заданою довірчою ймовірністю $P = 2\Phi(x)$.

Для обчислення точності інших технологічних процесів вводять коефіцієнти співвідношення точності:

а/ між точністю виготовлення i -ї ланки розмірного ланцюга до вихідного

$$K_i = \delta_{B_i} / \delta_{B_0}; \quad /42/ \quad 610$$

б/ між точністю монтажу i -ї ланки розмірного ланцюга до вихідного

$$Z_i = \delta_{M_i} / \delta_{M_0}; \quad /43/$$

в/ між точністю виготовлення і монтажу i -х ланок розмірного ланцюга

$$\theta_i = \delta_{M_i} / \delta_{B_i}; \quad /44/$$

Граничні відхилення залежно від заданої довірчої ймовірності P для вихідних /нульових/ ланок розмірного ланцюга обчислюють за формулами:

а/ для виготовлення

$$\delta_{B_0} = t \delta_z / \sqrt{(t^2 + 1) \left(\sum_1^n K_i^2 + \sum_1^n K_i \theta_i^2 \right)}; \quad /45/$$

б/ для монтажу

$$\delta_{M_0} = t \delta_z / \sqrt{(t^2 + 1) \left(\sum_1^n Z_i^2 / \theta_i^2 + \sum_1^n Z_i^2 \right)}; \quad /46/$$

в/ для i -ї ланки розмірного ланцюга

$$\delta_{B_i} = K_i \delta_{B_0}; \quad /47/$$

$$\delta_{M_i} = Z_i \delta_{M_0}. \quad /48/$$

Якщо ланки розмірного ланцюга рівні за геометричними параметрами і класом точності виготовлення і монтажу, то відповідно отримують

$$\delta_B = t \delta_z / \sqrt{(t^2 + 1) n (1 + \theta^2)}; \quad /49/$$

$$\delta_M = t \theta \delta_z / \sqrt{(t^2 + 1) n (1 + \theta^2)}, \quad /50/$$

при цьому $K_1 = K_2 = \dots = K_n = 1$;

$$Z_1 = Z_2 = \dots = Z_n = 1; \quad /51/$$

$$\theta = \delta_M / \delta_B.$$

В процесі розв'язування оберненої задачі значення коефіцієнтів K , Z і θ можна визначити шляхом логічного аналізу існуючих типових розмірних ланцюгів і технологічних процесів, аналізом окремих подібних технологічних процесів і нормативно-технічної документації /СНПі, ГОСТ, ТУ, інструкції та ін./.

В способі "максимуму-мінімуму" відповідно застосовують формули для визначення граничних відхилень:

а/ геодезичних розбивних робіт

$$\delta_r = \delta_z / \sqrt{t^2 + 1}; \quad /52/$$

б/ виготовлення елементів

$$\delta_{B_0} = \delta_z (\sqrt{t^2 + 1} - 1) / \sqrt{t^2 + 1} \left(\sum_1^n K_i + \sum_1^n K_i \theta_i \right); \quad /53/$$

в/ монтажу елементів

$$\delta_{M_0} = \delta_z \theta (\sqrt{t^2 + 1} - 1) / \sqrt{t^2 + 1} \left(\sum_1^n Z_i / \theta_i + \sum_1^n K_i \right). \quad /54/$$

Граничні відхилення на інші складові елементи обчислюють за формулами /47/, /48/.

Якщо геометричні параметри ланок розмірного ланцюга рівні і однакового класу точності, то

$$\delta_B = \delta_j (\sqrt{t^2 + 1} - 1) / \sqrt{t^2 + 1} (1 + \theta); \quad /55/$$

$$\delta_M = \delta_j \theta (\sqrt{t^2 + 1} - 1) / \sqrt{t^2 + 1} (1 + \theta). \quad /56/$$

В методі наближеного розрахунку в разі рівності ланок маємо

$$\delta_r = \delta_B = \delta_M = \delta_j / (1 + 2n). \quad /57/$$

Розрахунок сполучення будівельних конструкцій.

N8 Задача 8. Розрахувати допуск на розмір зазору компенсатора при сполученні двох стінкових панелей довжиною по 6000 мм. Виготовлення, розбивка осей та монтаж виконуються за 4-м класом точності /рис. 15/.

Розрахункові формули:

Рівняння розмірного ланцюга

$$S = L - (L_1 + L_2) = 0 \quad /58/$$

Допуск ланки компенсатора

$$\Delta S^2 = \Delta L^2 + \Delta L_1^2 + \Delta L_2^2. \quad /59/$$

Допуск розміру ланки L залежить від точності геодезичних розбивних робіт.

За формулами /29/, /30/ маємо

$$\Delta L = K \times \alpha \times L, \quad \Delta L = 1 \times 1 \times 12 = 12 \text{ мм}. \quad /60/$$

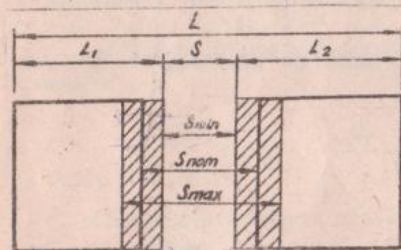


Рис. 15. Сполучення двох елементів

Коефіцієнти α та K_j знаходять із табл. 8 та 9. Розмір $L = L_1 + L_2$. Похибка розмірів L_1 та L_2 залежить від технології виготовлення та монтажу стінних панелей.

Допуск на виготовлення панелей

$$\Delta L_{1,2 \text{ виг}} = K \cdot \alpha \cdot (0,8 + 0,001\sqrt{L}) \times (\sqrt[3]{L+25} + 0,01\sqrt[3]{L^2}), \quad /61/$$

де $L = 6000$, значення K та α вибирають з табл. 7. Допуск монтажу панелей:

$$\Delta L_{1,2 \text{ М}} = K \cdot \alpha \cdot (0,8 + 0,001\sqrt{L}) \times (\sqrt[3]{L+25} + 0,01\sqrt[3]{L^2}), \quad /62/$$

де $L = 100$ - відстань панелей від розбивних осей; K, α - вибирають з табл. 9 ($K = 1,6$). При $\Delta L_1 = \Delta L_2$ та $\Delta L_{1,2} = \sqrt{\Delta L_{\text{виг}}^2 + \Delta L_{\text{М}}^2}$ знаходять допуск на розмір зазору компенсатора:

$$\Delta S = \sqrt{\Delta L^2 + 2\Delta L_{1,2 \text{ виг}}^2 + 2\Delta L_{1,2 \text{ М}}^2}. \quad /63/$$

Вказівки. Розмір стінної панелі беруть за варіантом

$L_{1,2} = 6000 + 100 \times N$, клас точності $K = 2 + 0,1N$ з округленням до цілого числа.

N9 Задача 9. Розрахувати допуск на розмір зазорів компенсаторів при сполученні $(N+5)$ стінних панелей. Довжину панелі та клас точності беруть із задачі 8 /рис. 16/.

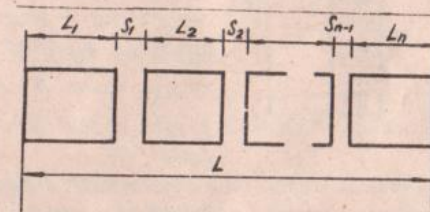


Рис. 16. Сполучення N -елементів

Розрахункові формули:
Рівняння розмірного ланцюга

$$S_1 + S_2 + \dots + S_{n-1} = L - L_1 - L_2 - \dots - L_n \quad /64/$$

Тоді

$$\Delta S_1^2 + \Delta S_2^2 + \dots + \Delta S_{n-1}^2 = \Delta L^2 + \Delta L_1^2 + \dots + \Delta L_n^2 \quad /65/$$

Оскільки $\Delta S_1 = \Delta S_2 = \dots = \Delta S$, $\Delta L_1 = \Delta L_2 = \dots = \Delta L_0$
то отримують

$$(n-1) \Delta S^2 = \Delta L^2 + n \Delta L_0^2 \quad /66/$$

$$\Delta L_0 = \frac{5}{\sqrt{2 \cdot 16 + 1}} = 0,87 \text{ мм}$$

Допуск на розмір між розбивними осями обчислюють за формулою /40/ при $L = n \times L_0$ /див. табл. 8, 9/.

Допуски складових розмірів ΔL_0 обчислюють за формулами /29/, /30/ та вибирають із задачі 8.

Допуск на розмір зазору

$$\Delta L_0 = \sqrt{\Delta L_{\text{виг}}^2 + \Delta L_{\text{м}}^2}$$

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\Delta L^2 + n \Delta L_0^2}{n-1}} \quad /67/$$

$$c = \alpha \cdot L = 1 \cdot 7100 = 7100$$

$$\Delta X = 0,6 \cdot 7100 = 4260 \text{ мм}$$

N10

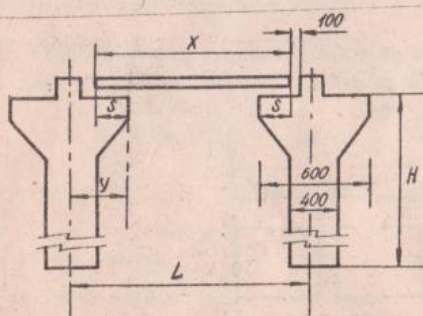


Рис. 17. Схема сполучення площин опирання

Задача 10. Розрахувати допуск на розмір площини опирання. Виготовлення елементів, розбивку і монтаж ведуть за 3-м класом точності. Довжина прогону $L = (6000 + 100 \times N)$ мм, висота колон $H = 6000$ мм, розріз колон (400×600) мм /рис. 17/.

Розрахункові формули.
Рівняння розмірного ланцюга

$$S = Y - 0,5(L - X) \quad /68/$$

Допуск розміру Y залежить від точності виготовлення колон. Обчислюють за формулами /27/, /28/ при $L = 600/2 = 300$ мм.

Допуск розміру L є функцією:

1/ точності розбивки осей між колонами - ΔL_r , при цьому ΔL_r обчислюють за формулами /29/, /30/ та табл. 7 при $L = (6 + 0,1N)$ мм;

2/ точності монтажу колони в плані - ΔL_m . Допуск ΔL_m обчислюють за формулами /27/, /31/ при відстані між рисками на монтажному горизонті та площиною колони $L = 100$ мм і табл. 9 ($\alpha = 1,6$);

3/ точності установки колони за вертикаллю - ΔL_g . Допуск ΔL_g обчислюють за формулами /27/, /31/ при $H = 6000$ мм. Коефіцієнт K вибирають із табл. 9 ($\alpha = 1,6$). Відповідно, при встановленні двох колон отримують

$$\Delta L^2 = \Delta L_r^2 + 2 \Delta L_m^2 + 2 \Delta L_g^2 \quad /69/$$

Похибка розміру X є функцією:

1/ точності виготовлення балки. Допуск $\Delta X_{\text{виг}}$ обчислюють за формулами /27/, /28/ та табл. 7 при $X = L - 400$; /рис. 18/

2/ точності монтажу балки. При цьому ΔX_m обчислюють за формулами /27/, /31/ та табл. 9 при $L = 100$ мм, ($\alpha = 1,6$). Тоді допуск розміру X становитиме

$$\Delta X^2 = \Delta_{\text{виг}}^2 + \Delta X_m^2 \quad /70/$$

Допуск площини опирання

$$\Delta S = \sqrt{\Delta_y^2 + 0,25 \Delta L^2 + 0,25 \Delta X^2} \quad /71/$$

Задача 11. Розрахувати допуск при монтажі $(5+N)$ колон за вертикаллю висотою $h = 3000$ мм. Роботи виконуються за 3-м класом точності. Відстань між монтажними рисками $L = 50$ мм /рис. 18/.

N11

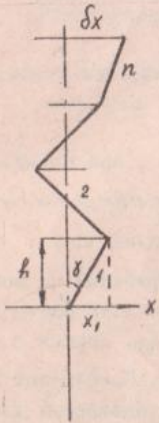


Рис. 18. Схема монтажу колон за вертикаллю

Тоді $\Delta X_i^2 = \Delta X_M^2 + \Delta X_B^2$.

Відповідно допуск на установку n колон по вертикалі при $\Delta X_1 = \Delta X_2 = \dots = \Delta X_n$ буде

$$\Delta X = \Delta X_i \sqrt{n} \quad /74/$$

Задача 12. Розмірний ланцюг складається із $n = 5$ ланок однакового розміру $l = 6000$ мм. Визначити допуски на виготовлення, розбивні та монтажні роботи за принципом рівного впливу в теоретико-ймовірному способі та за методом "максимуму-мінімуму". Граничне відхилення на замикаючу ланку становить $\delta_3 = 5$ мм.

Розв'язання.

1. В теоретико-ймовірному способі за формулою /40/ визначаємо

$$\delta_r = \delta_B = \delta_M = \delta_3 / \sqrt{2n+1} = 5 / \sqrt{11} = 1,51 \text{ мм.}$$

2. В методі "максимуму-мінімуму" за формулою /57/ отримаємо

$$\delta_r = \delta_B = \delta_M = \frac{\delta_3}{2n+1} = \frac{5}{11} = 0,45 \text{ мм.}$$

N13

Задача 13. Розмірний ланцюг складається із $n = 5$ ланок однакового розміру $l = 6000$ мм. Визначити допуски на виготовлення, розбивні та монтажні роботи в теоретико-ймовірному способі та методі "максимуму-мінімуму", якщо за аналогічною технологією всі технологічні процеси виконувались за 3-м класом точності при дотриманні рівня взаємозамінності з довірчою ймовірністю $P = 0,997$. Допуск на замикаючу ланку $\Delta_3 = 10$ мм. Монтаж виконують методом симетричності встановлення елементів.

Розв'язання. Теоретико-ймовірний спосіб. Визначимо допуски на технологічні процеси для аналогічної технології:

а/ Виготовлення. За табл. 7 для 3-го класу $K = 0,25$ та $\alpha = 1$. За формулою /28/ маємо

$$I_B = I (0,8 + 0,001 \sqrt{6000}) (\sqrt[3]{6025} + 0,01 \sqrt[3]{6000^2}) = 18,9 \text{ мм.}$$

За формулою /27/ визначимо технологічний допуск на виготовлення елементів: $\Delta_B = iK = 0,25 \cdot 18,9 = 4,7$ мм.

б/ Монтажні роботи. При суміщенні орієнтирів $\alpha = 0,6$, а згідно з табл. 9 для 3-го класу $K = 0,6$. Тоді при відстані між орієнтирами $R = 100$ мм маємо $i_M = 0,6 (0,8 + 0,001 \sqrt{100}) \times (\sqrt[3]{125} + 0,01 \sqrt[3]{100^2}) = 2,53$.

За формулою /27/ монтажний технологічний допуск буде

$$\Delta_M = iK = 2,53 \cdot 0,6 = 1,5 \text{ мм.}$$

Граничне відхилення за незначного впливу геодезичних робіт визначимо за формулою /41/, при $P = 0,997$ $t = 3$. Тоді

$$\delta_r = \delta_3 / \sqrt{t^2 + 1} = \frac{5}{\sqrt{3^2 + 1}} = 1,5 \text{ мм.}$$

Для визначення допусків на виготовлення та монтаж обчислимо коефіцієнти K_i , γ_i та θ_i .

Оскільки всі елементи мають однаковий розмір, точність виготовлення та монтажу, то $K_i = 1$, $\gamma_i = 1$, а $\theta_i = \frac{\delta_M}{\delta_B} = \frac{\Delta_M}{\Delta_B} = \frac{1,5}{4,7} = 0,32$.

За формулами /49/ та /50/ маємо

$$\delta_B = \frac{t \delta_3}{\sqrt{(t^2 + 1)n(1 + \theta^2)}} = \frac{3 \cdot 5}{\sqrt{10 \cdot 6 \cdot 1,1}} = 1,8 \text{ мм;}$$

$$\delta_M = \frac{t \cdot \theta \cdot \delta_3}{\sqrt{(t^2+1)r(1+\theta^2)}} = 0,32 \cdot 1,8 = 0,6 \text{ мм.}$$

Тоді $\Delta_B = 2\delta_B = 3,6 \text{ мм}$, $\Delta_M = 1,2 \text{ мм}$, $\Delta_r = 3,2 \text{ мм}$.

За формулою /27/ обчислимо коефіцієнти точності:

$$K_B = \frac{\Delta_B}{i_B} = \frac{3,6}{18,9} = 0,19; \quad K_M = \frac{\Delta_M}{i_M} = \frac{1,2}{2,53} = 0,47.$$

Згідно з табл. 7 при $K = 0,19$ виготовлення елементів має виконуватись за 2-м класом точності.

За табл. 9 при $K = 0,47$ і монтаж слід забезпечувати 2-м класом точності.

Клас точності для геодезичних робіт визначиться із формул /29/, /30/ при $\alpha = 1,0$:

$$K_r = \frac{\Delta_r}{i_r} = \frac{\Delta_r}{\alpha L} = \frac{3,2 \text{ мм}}{6,0 \text{ м}} = 0,53.$$

За табл. 9 геодезичні розбивні роботи при $K_r = 0,53$ мають забезпечуватись 2-м класом точності.

2. Метод "максимуму-мінімуму". При рівності ланок за формулами /52/, /55/, /56/ відповідно отримаємо граничні відхилення. При

$\rho = 0,997$ та $t = 3$ при $\theta = 0,32$ маємо

$$\delta_r = \delta_3 / \sqrt{t^2+1} = 5 / \sqrt{10} = 1,5 \text{ мм};$$

$$\delta_B = \delta_3 (\sqrt{t^2+1} - 1) / \sqrt{t^2+1} (1+\theta)^{0,29} r = 5 (\sqrt{10} - 1) / \sqrt{10} \cdot 1,32 \cdot 5 = 0,52 \text{ мм};$$

$$\delta_M = \delta_3 \theta (\sqrt{t^2+1} - 1) / \sqrt{t^2+1} (1+\theta) r = 5 \cdot 0,32 \cdot 2,16 / 4,17 \cdot 5 = 0,17 \text{ мм},$$

або $\Delta_r = 3,2 \text{ мм}$; $\Delta_B = 1,04 \text{ мм}$; $\Delta_M = 0,34 \text{ мм}$.

За визначеними в теоретико-ймовірному способі $i_r = 6$;

$i_B = 18,9$; $i_M = 2,53$ класи точності технологічних процесів будуть

$$K_r = \frac{3,2}{6} = 0,53; \quad K_B = \frac{1,04}{18,9} = 0,06; \quad K_M = \frac{0,34}{2,53} = 0,13.$$

За табл. 7 та 9 йдемо до висновку, що розбивні роботи можна забезпечити 2-м класом точності, а от виготовлення та монтаж неможна забезпечити навіть за 1-м класом точності.

Тому такий розмірний ланцюг не може бути реалізований в методі "максимуму-мінімуму".

Задача
Приклад 14. Розмірний ланцюг складається із трьох ланок /рис. 19/. Допуск на розмір замикаючої ланки S /зазору/ дорівнює $\Delta_3 = 10 \text{ мм.} + N \text{ мм.}$

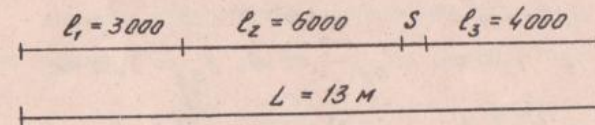


Рис. 19

Монтаж ведуть способом суміщення орієнтирів: $L \leq 20 \text{ мм.}$

Визначити допуски на геодезичні розбивні роботи, виготовлення та монтаж усіх елементів у теоретико-ймовірному способі та за методом "максимуму-мінімуму".

Розв'язання. 1. Теоретико-ймовірний спосіб. Оскільки клас точності технологічних процесів невизначений, то використаємо досвід попередніх обчислень.

Так, на прикладі 12 видно, що при монтажі $n = 5$ елементів у теоретико-ймовірному способі практично всі технологічні процеси виконують за 2-м класом точності. Тому доцільно передбачити, що і в нашому випадку на стадії обчислення точності буде дотримано цього принципу.

Оскільки, допуски в ГОСТ 21779-82 розраховані за допомогою найкращих чисел і їх співвідношення при переході від класу до класу пропорційне, то на 1-му етапі можна взяти будь-який клас точності, але однаковий для всіх технологічних процесів. За аналогією з розрахунками в прикладі 13 беремо 2-й клас точності.

Визначимо допуски, або граничні відхилення на виготовлення та монтаж всіх елементів.

За формулою /28/ при $l_1 = 3000 \text{ мм}$; $l_2 = 6000 \text{ мм}$ та $l_3 = 4000 \text{ мм}$ при $\alpha = 1$ визначимо $i_B = 13,3$; $i_B = 18,9$; $i_B = 15,9$.

При монтажі всіх елементів $L \leq 20$ м, $\alpha = 1,6$ за формулою /31/ маємо $i_M = 4,64$.

За 2-м класом точності із табл. 7 та 9 $K_B = 0,16$; $K_M = 0,4$.

Допуски на виготовлення та монтаж елементів за формулою /27/ будуть

$$\Delta_{B_1} = 0,16 \cdot 13,3 = 2,1 \text{ мм}; \quad \Delta_{B_2} = 3,0 \text{ мм}; \quad \Delta_{B_3} = 2,5 \text{ мм};$$

$$\Delta_M = 0,4 \cdot 4,64 = 1,9 \text{ мм. Відповідно граничні відхилення}$$

$$\delta_{B_1} = \Delta_{B_1} / 2 = 1,05 \text{ мм}; \quad \delta_{B_2} = 1,50 \text{ мм}; \quad \delta_{B_3} = 1,25 \text{ мм};$$

$$\delta_M = 0,95 \text{ мм.}$$

Коефіцієнти співвідношення точності K_i , γ_i та θ_i визначимо за формулами /42/ - /44/:

$$K_1 = \delta_{B_1} / \delta_{B_0} = \delta_{B_1} / \delta_{B_1} = 1; \quad K_2 = \delta_{B_2} / \delta_{B_1} = \frac{1,50}{1,05} = 1,43; \quad K_3 = \frac{\delta_{B_3}}{\delta_{B_1}} = \frac{1,25}{1,05} = 1,19;$$

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 1; \quad \theta_1 = \frac{\delta_{M_1}}{\delta_{B_1}} = \frac{0,95}{1,05} = 0,90; \quad \theta_2 = \frac{\delta_{M_2}}{\delta_{B_2}} = \frac{0,95}{1,50} = 0,63;$$

$$\theta_3 = \frac{\delta_{M_3}}{\delta_{B_3}} = \frac{0,95}{1,25} = 0,76.$$

За формулами /45/, /46/ обчислюють граничні відхилення на вихідну або першу ланку розмірного ланцюга /на виготовлення/:

$$\delta_{B_0} = \frac{l \delta_3}{\sqrt{(l^2+1) \left(\sum \frac{K_i^2}{\gamma_i} + \sum K_i^2 \theta_i^2 \right)}} = \frac{3 \cdot 5}{\sqrt{10 \cdot 6,9}} = 1,8 \text{ мм};$$

$$\delta_{M_0} = \frac{l \delta_3}{\sqrt{(l^2+1) \left(\sum (\gamma_i^2 / \theta_i^2) + \sum \gamma_i^2 \right)}} = \frac{3 \cdot 5}{\sqrt{10 \cdot 10,74}} = 1,4 \text{ мм.}$$

Для складових ланок розмірних ланцюгів граничні відхилення обчислюють за формулами /47/, /48/:

$$\delta_{B_1} = K_1 \cdot \delta_{B_0} = 1 \cdot 1,8 \text{ мм}; \quad \delta_{B_2} = K_2 \delta_{B_0} = 1,43 \cdot 1,8 = 2,5 \text{ мм};$$

$$\delta_{B_3} = K_3 \delta_{B_0} = 1,19 \cdot 1,8 = 2,1 \text{ мм};$$

$$\delta_{M_1} = \delta_{M_2} = \delta_{M_3} = \gamma \cdot \delta_{M_0} = 1 \cdot 1,4 = 1,4 \text{ мм.}$$

40

За формулою /27/ визначимо коефіцієнти точності: для виготовлення

$$K_1 = \frac{\Delta_1}{i} = \frac{2 \cdot \delta_{B_1}}{i_{B_1}} = \frac{2 \cdot 1,8}{13,3} = 0,27;$$

$$K_2 = \frac{\Delta_2}{i} = \frac{2 \cdot \delta_{B_2}}{i_{B_2}} = \frac{2 \cdot 2,5}{18,9} = 0,26;$$

$$K_3 = \frac{\Delta_3}{i} = \frac{2 \delta_{B_3}}{i_{B_3}} = 2 \cdot 2,1 / 15,9 = 0,26;$$

для монтажу

$$K_M = \frac{\Delta_M}{i_M} = \frac{2 \delta_M}{i_M} = \frac{2 \cdot 1,4}{4,64} = 0,60.$$

Згідно з табл. 7, виготовлення елементів відповідає 3-му класу точності / $K_3 = 0,25$ /, а за табл. 9 монтаж має вестись за 3-м класом точності / $K_3 = 0,60$ /.

Граничне відхилення на геодезичні розбивні роботи визначиться за формулою /52/

$$\delta_r = \frac{\delta_3}{\sqrt{l^2+1}} = \frac{5}{\sqrt{10}} = 1,6 \text{ мм.}$$

Тоді коефіцієнти класу точності за формулами /29/, /30/ при

$$L = l_1 + l_2 + l_3 = 13 \text{ м та } \alpha = 1 \text{ буде}$$

$$K = \frac{2 \delta_r}{\alpha \cdot L} = \frac{2 \cdot 1,6}{1 \cdot 13} = 0,25.$$

Згідно з табл. 9, геодезичні виміри мають виконуватись за 1-м класом точності / $K = 0,25$ /.

Лінійна відносна похибка міжосьової відстані

$$\frac{I}{T} = \frac{\Delta_r}{L} = \frac{2 \cdot 1,6}{13000} \approx \frac{1}{4060}.$$

2. Метод "максимуму-мінімуму". За попередньо визначеними коефіцієнтами K_i , γ_i , θ_i за формулами /53/, /54/ обчислимо:

$$\delta_{B_0} = \frac{\delta_2 (\sqrt{t^2+1}-1)}{\sqrt{t^2+1} \left(\sum_1^3 K_i + \sum_1^3 K_i \theta_i \right)} = \frac{5 \cdot 2,2}{3,2 \cdot /3,6+3,6/} = 0,48 \text{ мм};$$

$$\delta_{M_0} = \frac{\theta \cdot \delta_2 (\sqrt{t^2+1}-1)}{\sqrt{t^2+1} \left(\sum_1^3 \tau_i / \theta_i + \sum_1^3 \tau_i \right)} = \frac{5 \cdot 2,2}{3,2 \cdot /4+3/} = 0,49 \text{ мм}.$$

За формулами /47/, /48/ граничні відхилення на виготовлення та монтаж будуть

$$\delta_{B_1}^* = K_1 \delta_{B_0} = 1,0 \cdot 0,48 = 0,48 \text{ мм}; \quad \delta_{B_2} = K_2 \delta_{B_0} = 1,43 \cdot 0,48 = 0,69 \text{ мм};$$

$$\delta_{B_3} = K_3 \delta_{B_0} = 1,19 \cdot 0,48 = 0,57 \text{ мм}; \quad \delta_{M_1} = \delta_{M_2} = \delta_{M_3} = 7 \cdot \delta_{M_0} = 1 \cdot 0,49 = 0,49 \text{ мм}.$$

Визначимо клас точності виготовлення елементів. Як і в попередньому випадку

$$K_1 = \frac{\Delta_1}{i_1} = \frac{2\delta_{B_1}}{i_{B_1}} = \frac{2 \cdot 0,48}{13,3} = 0,07;$$

$$K_2 = \frac{\Delta_2}{i_2} = \frac{2\delta_{B_2}}{i_{B_2}} = \frac{2 \cdot 0,69}{18,9} = 0,07;$$

$$K_3 = \frac{\Delta_3}{i_3} = \frac{2 \cdot \delta_{B_3}}{i_{B_3}} = \frac{2 \cdot 0,57}{15,9} = 0,07.$$

Для монтажних робіт

$$K = \frac{\Delta}{i} = \frac{2\delta_M}{i_M} = \frac{2 \cdot 0,49}{4 \cdot 64} = 0,21$$

Згідно з табл. 7 та 9, коефіцієнти для I-го класу точності відповідно становлять $K_B = 0,10$ та $K_M = 0,25$. У зв'язку з тим, що обчислені коефіцієнти менше, а розбивні роботи, як і в теоретико-ймовірному методі можуть виконуватись не нижче I-го класу точності, то така методика монтажу не забезпечує вимог точності в методі "максимуму-мінімуму".

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. - М.: Изд-во стандартов, 1972. - 318 с.
2. Болдин Л.А. Основы взаимозаменяемости и стандартизации в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1984. - 272 с.
3. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1979. - 344 с.
4. Зябрева Н.Н., Перельман Е.И., Шегал М.И. Пособие к решению задач по курсу "Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения". - М.: Высш. шк., 1977. - 208 с.
5. Видуев Н.Г., Войтенко С.П. Строительная метрология. - К.: КИСИ, 1968. - 122 с.
6. ГОСТ 21778-81, ГОСТ 21779-82, ГОСТ 21780-83, ГОСТ 23615-79, ГОСТ 23616-79.

11 заповідей

Навчальне видання
Методичні вказівки
з метрології і стандартизації
для студентів спеціальності 7.070902
"Інженерна геодезія" ©

Укладачі: Войтенко Степан Петрович
Гуляев Юрій Федорович
Чопенко Євген Федорович

Редактор А.Д.Пантелієнко
Коректори: Н.В.Анісенко
Л.С.Мазек
Н.Ф.Слоніна

Підп. до друку 02.12.96 Формат 80×84^{1/16} Папір
друку № 3 Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 4,17.
Умовн. фарбо-відб. 2,47. Облік-вид. арк. 2,75
Тираж 200 Зам. № 6-2561.

КАДУБА 252037, Київ-37, Повітрофлотський проспект, 31

Фірма «ВІПОЛ».
252151, Київ, вул. Волинська, 60.