СТАНДАРТИЗАЦИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра комплексной безопасности
в строительстве

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Методические указания к практическим занятиям
для обучающихся по направлению подготовки
27.03.01 Стандартизация и метрология

Составитель С.В. Баринов

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2019

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2019

УДК 006.91
ББК 30.10:38
М54

Рецензент — кандидат технических наук, доцент *В.М. Черкина*,
доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве НИУ МГСУ

М54 **Метрологическое обеспечение в строительстве** [Электронный ресурс] : методические указания к практическим занятиям для обучающихся по направлению подготовки 27.03.01 Стандартизация и метрология / сост. С.В. Баринов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Кафедра гидравлики и гидротехнического строительства. — Электрон. дан. и прогр. (2,4 Мб). — Москва : Издательство МИСИ — МГСУ, 2019. — Режим доступа: http://lib.mgsu.ru/Scripts/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21 DBN=IBIS&P21DBN=IBIS. — Загл. с титул. экрана.

Методические указания для выполнения практических занятий по дисциплине «Метрологическое обеспечение в строительстве» являются частью основной профессиональной образовательной программы.

Для обучающихся по направлению подготовки 27.03.01 Стандартизация и метрология.

Учебное электронное издание

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2019

Корректор *Е.А. Крутилина*
Компьютерная правка и верстка *Е.А. Крутилиной*
Дизайн первого титульного экрана *Д.Л. Разумного*

Для создания электронного издания использовано:
Microsoft Word 2013, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 22.10.2019 г. Объем данных 2,4 Мб

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет».
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ — МГСУ.
Тел.: (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

Оглавление

Введение 5
Практическое занятие № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕГО ПАРАМЕТРА 6
Практическое занятие № 2. ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ 13
Практическое занятие № 3. ТОЧНОСТЬ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ 20
Практическое занятие № 4. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ 26
Практическое занятие № 5. СПЛОШНОЙ КОНТРОЛЬ 29
Практическое занятие № 6. ВЫБОРОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ 33
Практическое занятие № 7. ВЫБОР МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ 35
Библиографический список 47

Введение

Настоящие Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Метрологическое обеспечение в строительстве» разработаны в соответствии с Рабочей программой Б1.В.ОД.13.

Целью разработки Методических указаний к практическим занятиям является упорядочение и раскрытие в учебном процессе современных метрологических положений и технических решений по обеспечению точности измерений для реализации требований Градостроительного кодекса Российской Федерации, Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184–ФЗ «О техническом регулировании», Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102 «Об обеспечении единства измерений», Постановления Правительства Российской Федерации от 26 декабря 2014 года № 1521 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил)» и иных законодательных и нормативных документов, действующих в области капитального строительства, реконструкции и капитального ремонта, в результате применения которых обеспечивается соответствие требованиям по качеству, в том числе по безопасности законченных строительством или капитальным ремонтом зданий и сооружений проектной и нормативной документации.

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Метрологическое обеспечение в строительстве» разработаны в развитие требований ГОСТ Р ИСО 10012–2008 «Система менеджмента измерений. Требования к процессам измерений и измерительному оборудованию».

Практическое занятие № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕГО ПАРАМЕТРА

Расчет точности геометрических параметров должен выполняться в процессе проектирования типовых, экспериментальных и индивидуальных конструкций зданий и сооружений и их элементов в целях обеспечения собираемости конструкций с заданными эксплуатационными свойствами при наименьших затратах.

Расчет точности производят на основе:

– функциональных требований, предъявляемых к строительным конструкциям зданий и сооружений;

– данных о точности применяемых технологических процессов и операций изготовления элементов, разбивки осей и сборки конструкций.

В процессе расчета точности в соответствии с принятой расчетной схемой по характеристикам точности составляющих геометрических параметров определяют расчетные предельные значения результирующего параметра, которые сравнивают затем с допустимыми предельными значениями этого параметра, установленными на основе функциональных требований (путем расчета прочности и устойчивости, в соответствии с результатами испытаний или исходя из изоляционных, эстетических и других требований).

Соответствие точности результирующего параметра функциональным требованиям обеспечивается, если соблюдены следующие условия:

$$x_{\min} \geq x_{\min,f}, \tag{1.1}$$

$$x_{\max} \geq x_{\max,f}, \tag{1.2}$$

где $x_{\min}$ и $x_{\min,f}$ — расчетные предельные значения результирующего параметра x;

$x_{\max}$ и $x_{\max,f}$ — допустимые предельные значения результирующего параметра x.

Разность $x_{\max,f}$ и $x_{\min,f}$ составляет функциональный допуск Δx_f.

Задача расчета точности может быть:

– прямой, когда расчетные предельные значения результирующего параметра определяют по известным характеристикам точности составляющих параметров (проверочный расчет);

– обратной, когда по установленным допустимым предельным значениям результирующего параметра определяют необходимые требования к точности составляющих параметров.

Методические принципы расчета точности

Принимаемые в результате расчета точности решения должны обеспечивать минимальные трудовые и материальные затраты при возведении строительных конструкций зданий и сооружений и изготовлении их элементов.

Расчет точности следует производить, как правило, из условия полной собираемости конструкций.

В некоторых случаях при технической возможности и экономической целесообразности может предусматриваться неполная собираемость. При этом для случаев, когда действительные значения результирующего параметра будут выходить за пределы, должны предусматриваться дополнительные операции по подбору элементов или пригонке отдельных размеров.

Исходным уравнением для расчета точности является уравнение (1.3), выражающее зависимость между результирующим и составляющими параметрами, входящими в расчетную схему:

$$x = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n = \sum_{k=1}^{n} c_kx_k, \tag{1.3}$$

где x — результирующий параметр;

x_k — составляющий параметр;

n — число составляющих параметров в расчетной схеме;

c_k — коэффициент, характеризующий геометрическую зависимость результирующего параметра x от составляющего параметра x_k.

В качестве результирующих параметров при составлении расчетных схем, как правило, рассматриваются размеры в узлах сопряжений элементов и другие размеры, которыми при принимаемой последовательности сборки конструкции завершается определенный цикл технологических опера-

ций, определяющих точность составляющих параметров, и в которых компенсируются погрешности этих операций (табл. 1.1).

Если составляющие геометрические параметры статистически зависимы, то при определении расчетных характеристик точности результирующего параметра эта зависимость должна быть учтена. Статистическую зависимость допускается характеризовать коэффициентом корреляции.

Расчет точности производят на основе статистических методов. В общем случае при статистическом расчете расчетные предельные значения результирующего параметра $x_{\max}$ и $x_{\min}$ для проверки условий (1.1) и (1.2) определяют по следующим уравнениям точности:

$$x_{\min} = x_{\text{nom}} + \delta m_x - t_{\min,f}\sigma_x, \tag{1.4}$$

$$x_{\max} = x_{\text{nom}} + \delta m_x + t_{\max,f}\sigma_x, \tag{1.5}$$

где x_{nom} — номинальное значение результирующего параметра x;

δm_x — систематическое отклонение результирующего параметрах;

σ_x — среднее квадратическое отклонение результирующего параметра x;

$t_{\min,f}$ и $t_{\max,f}$ — значения стандартизованной случайной величины, зависящей от допускаемой вероятности появления значений результирующего параметра ниже $x_{\min}$ и выше $x_{\max}$.

В большинстве практических случаев расчет точности следует производить по допускам упрощенным статистическим методом, применение которого позволяет обеспечивать полную собираемость конструкции при применении установленных действующими стандартами планов приемочного контроля точности составляющих параметров с приемочным уровнем дефектности 4 % по ГОСТ 23616–79.

При этом уравнения точности для определения расчетных предельных значений результирующего параметра принимают вид:

$$x_{\min} = x_{\text{nom}} + \delta x_c - 0{,}75\Delta x, \tag{1.6}$$

$$x_{\max} = x_{\text{nom}} + \delta x_c + 0{,}75\Delta x, \tag{1.7}$$

где x_{nom} — номинальное значение результирующего параметра;

δx_c — расчетное отклонение середины поля допуска результирующего параметра;

Δx — расчетный допуск результирующего параметра.

Номинальные значения и расчетные характеристики точности результирующего параметра при статистически независимых составляющих параметрах определяют на основе исходного уравнения (1.3) по следующим формулам:

$$x_{\text{nom}} = \sum_{k=1}^{n} c_k x_{k,\text{nom}}, \tag{1.8}$$

$$\delta x_{\text{nom}} = \sum_{k=1}^{n} c_k \delta x_{k,c}, \tag{1.9}$$

$$x = \sqrt{\sum_{k=1}^{n} c_{k\,k}^2 \Delta x_k^2}, \tag{1.10}$$

где $x_{k,\text{nom}}$ — номинальные значения составляющих параметров;

$\delta x_{k,c}$ — отклонения середин полей технологических допусков составляющих параметров;

Δx_k — технологические допуски составляющих параметров.

При небольшом числе составляющих параметров (до трех) и отсутствии данных о статистических характеристиках их распределения расчет точности допускается выполнять с применением метода «минимума-максимума» в соответствии с расчетом предельных значений результирующего параметра методом «минимума-максимума».

Для расчета точности выявляют результирующие геометрические параметры, от точности которых зависит обеспечение функциональных требований, предъявляемых к строительным конструкциям здания и сооружения, определяют допустимые предельные значения этих параметров.

При этом для расчета выбираются те из однотипных повторяющихся параметров, расчетные характеристики точности которых могут получить наибольшее абсолютное значение.

Для каждой расчетной схемы выбирают метод расчета и составляют уравнения точности, а также уравнения для определения номинального размера и характеристик точности результирующего параметра.

Характеристики точности составляющих параметров, являющихся результатом выполнения определенного технологического процесса или операции, принимают на основе требований соответствующих стандартов или назначают по ГОСТ 21779–82. В случаях, когда составляющий параметр является результатом выполнения нескольких технологических процессов или операций, характеристики его точности следует определять с помощью расчета.

При составлении уравнений для определения характеристик точности результирующего параметра следует также учитывать собственные отклонения составляющих параметров, возникающие в процессе монтажа и эксплуатации конструкций в результате температурных и других внешних воздействий.

В зависимости от типа задачи методом пробных расчетов решают уравнения точности исходя из условия выполнения требований (1.1) и (1.2).

При прямой задаче на основе принятых характеристик точности и номинальных значений составляющих параметров определяют расчетные номинальные и предельные значения результирующего параметра и проверяют условия точности.

При обратной задаче на основе условий точности по допустимым предельным и номинальному значениям результирующего параметра определяют номинальные значения и характеристики точности некоторых составляющих параметров.

Расчетная схема — графическое изображение связей между результирующими и составляющими геометрическими параметрами, в которых учитываются конструктивно-технологические особенности зданий, сооружений и их элементов, в том числе способы и последовательность выполнения технологических процессов и операций.

Составляющий параметр — параметр, получаемый непосредственно при выполнении определенного технологического процесса или операций входящим в расчетную схему.

Результирующий параметр — параметр, входящий в расчетную схему и зависящий от ряда составляющих параметров.

Собираемость — по ГОСТ 21778–81.

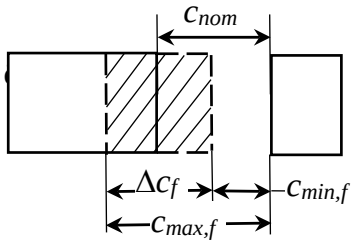
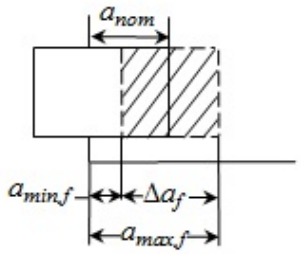
Полная собираемость — собираемость, уровень которой равен или превышает 99,73 %.

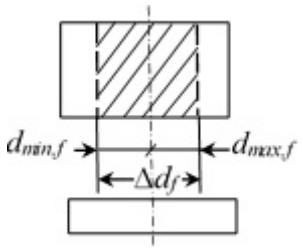
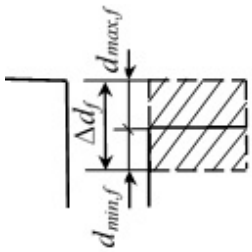
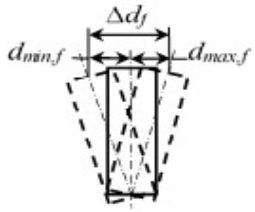
Неполная собираемость — собираемость, уровень которой ниже 99,73 %.

База — поверхность или ось, относительно которых определяется положение других поверхностей или осей.

Таблица 1.1

Основные виды результирующих параметров

Наименование результирующего параметра	Схема	Обозначение
1. Зазор между элементами		c_{nom} — номинальное значение зазора; $c_{min,f}$; $c_{max,f}$ — допустимые предельные значения зазора; Δc_f — функциональный допуск зазора
2. Глубина опирания элемента		a_{nom} — номинальное значение глубины опирания; $a_{min,f}$; $a_{max,f}$ — допустимые предельные значения глубины опирания; Δa_f — функциональный допуск глубины опирания

Наименование результирующего параметра	Схема	Обозначение
3. Несоосность элементов		d_{nom} — номинальное значение несоосности; $d_{min,f}$; $d_{max,f}$ — допустимые предельные значения несоосности; Δd_f — функциональный допуск соосности
4. Несовпадение поверхностей элементов		d_{nom} — номинальное значение несовпадения поверхностей; $d_{min,f}$; $d_{max,f}$ — допустимые предельные значения несовпадения поверхностей; Δd_f — функциональный допуск совпадения поверхностей
5. Невертикальность		d_{nom} — номинальное значение невертикальности; $d_{min,f}$; $d_{max,f}$ — допустимые предельные значения невертикальности; Δd_f — функциональный допуск вертикальности

Примечание. При рассмотрении параметров, характеризующих положение элементов, следует учитывать, что $d_{nom} = 0$, а $d_{min,f}$ и $d_{max,f}$ равны по абсолютному значению и определяют предельное отклонение элементов относительно друг друга. Индексы min и max принимаются условно для указания направления смещения.

Определение расчетных предельных значений результирующего параметра по статистическим характеристикам (общий случай статистического расчета точности):

1. В общем случае статистического расчета точности конструкции и элементов зданий и сооружении расчетные предельные значения результирующего параметра для проверки условий (1.1) и (1.2) определяют по формулам (1.4) и (1.5).

2. Расчетное номинальное значение x_{nom} результирующего параметра на основе исходного уравнения (1.3) определяют по формуле (1.8), а расчетные характеристики точности δm_x и σ_x — по формулам:

$$\delta m_x = \sum_{k=1}^{n} c_k \delta m_{xk}, \tag{1.11}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{k=1}^{n} c_k^2 \sigma_{xk}^2}, \tag{1.12}$$

где δm_{xk} — систематические отклонения составляющих параметров x_k;

3. Характеристики δm_{xk} и σ_{xk} в зависимости от имеющихся для расчета исходных данных следует определять по результатам статистического анализа точности соответствующих технологических процессов и операции по ГОСТ 23615–79 или по характеристикам точности и планам контроля, установленным в соответствующих стандартах или других нормативно-технических документах.

4. Для перехода от характеристик точности и планов контроля, устанавливаемых в стандартах и в других нормативно-технических документах, к статистическим характеристикам точности применяют выражения:

$$\delta m_x = \delta x_{k,c}, \tag{1.13}$$

$$\sigma_{xk} = \frac{\Delta x_k}{2t_k}, \tag{1.14}$$

где $\delta x_{k,c}$ — отклонение середины поля технологического допуска составляющего параметра;

Δx_k — технологический допуск составляющего параметра;

t_k — значение стандартизованной случайной величины, характеризующее приемочный уровень дефектности плана контроля точности составляющего параметра x_k по ГОСТ 23616–79.

5. Значения величин: $t_{\max f}$ и $t_{\min f}$ в уравнениях (1.4) и (1.5) стандарта, а также значения t_k для каждого составляющего параметра определяют по табл. 1.2 в зависимости, соответственно, от принимаемого при расчете уровня собираемости и приемочного уровня дефектности установленного плана контроля точности составляющего параметра.

Таблица 1.2

Зависимости соответственно от принимаемого при расчете уровня

Уровень собираемости конструкции, %	99,73	98,5	96,0	99,0
Приемочный уровень дефектности, %	0,25	1,5	4,0	10,0
Значение, *t*	3	2,4	2,1	1,6

6. Долю сборочных работ, требующих выполнения дополнительных операций по подбору элементов или пригонке отдельных параметров, определяют отдельно для случаев, когда $x_i < x_{\min,f}$ и $x_i > x_{\max,f}$ по табл. 1.3.

Таблица 1.3

Доли сборочных работ

$t_{\max f}$ *и* $t_{\min f}$	3,0	2,4	2,1	1,6
Доля сборочных работ, требующих выполнения дополнительных операций, %	—	1,5	2,0	5,0

Определение расчетных предельных значений результирующего параметра методом «минимума-максимума».

Расчетные предельные значения $x_{\min}$ и $x_{\max}$ результирующего параметра в условиях (1.1) и (1.2) методом «минимума-максимума» определяют по формулам:

$$x_{\min} = x_{\text{nom}} + \delta x_c - \frac{\Delta x}{2}, \tag{1.15}$$

$$x_{\max} = x_{\text{nom}} + \delta x_c + \frac{\Delta x}{2}, \tag{1.16}$$

где x_{nom} — расчетное номинальное значение результирующего параметра x, определяемое по формуле (1.8);

δx_c — расчетное отклонение середины поля допуска результирующего параметра x, определяемое по формуле (1.9);

Δx — расчетное значение допуска результирующего параметра x.

Расчетное значение допуска результирующего параметра определяют с учетом наиболее неблагоприятного сочетания отклонений составляющих параметров по составляемой на основе исходного уравнения (1.17) формуле:

$$\Delta x = \sum_{k=1}^{n} |c_k| \Delta x_k, \tag{1.17}$$

где Δx_k — допуск составляющего параметра x_k;

c_k — коэффициент, характеризующий геометрическую зависимость результирующего параметра x от составляющего параметра x_k.

Пример. Определить предельные размеры зазора между колонной и балкой в свободной цепи элементов сборных конструкций железобетонного каркаса здания (рис. 1.1.), а также проверить выполнение условия взаимозаменяемости при 9-и, 10-и и 11-и классах точности изготовления конструкций.

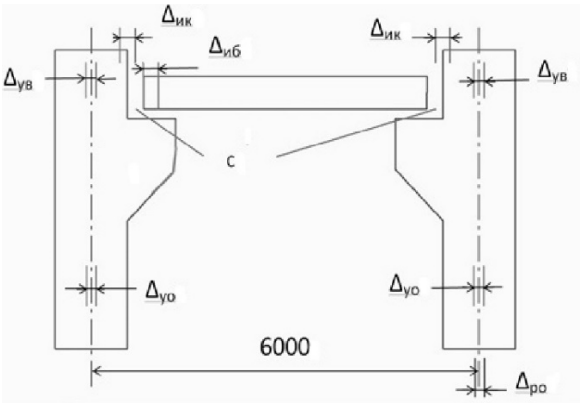


Рис. 1.1. Схема расчетного участка:
$\Delta_{ик}$ — допуск на изготовление колонны; $\Delta_{иб}$ — допуск на изготовление балки; $\Delta_{ув}$ — допуск невертикальности установки колонны; $\Delta_{уо}$ — допуск на установку оси; $\Delta_{ро}$ — допуск разбивки оси; *C* — размер зазора

Исходные данные:
Проектный размер между осями колонн 6 000 мм.
Поперечное сечение колонн 400×400 мм.
Высота консолей колонн 4 500 мм.
Проектная величина зазора 25 мм.

Решение

Проектом для данного случая установлены следующие классы точности:
– класс точности разбивки — 3-р;
– класс точности установки колонн по горизонтальным осям — 2-у;
– класс точности установки колонн по вертикали — 2-у.
Частный вид основной расчетной формулы (1.3) для данного случая имеет вид:

$$\Delta_{tз} = \sqrt{\Delta_{po}^2 + 2\Delta_{уо}^2 + 2\Delta_{уе}^2 + \Delta_{ик}^2 + \Delta_{иб}^2}. \quad (1.18)$$

По таблицам определяют величины элементарных допусков:
$\Delta_{ро}$ = 6 мм (для 3-р класса точности разбивки в интервале до 9000 мм);
$\Delta_{уо}$ = 10 мм (для 2-у класса точности установки, группа сопряжения № 1);
$\Delta_{ув}$ = 20 мм (для 2-у класса точности установки при высоте элемента конструкции до 4 500 мм).
Для данного примера составлена табл. 1.4.

Таблица 1.4

Допуск изготовления конструкции в зависимости от класса точности

Класс точности изготовления	Допуск изготовления колонны $\Delta_{ик}$, мм	Допуск изготовления балки $\Delta_{иб}$, мм
9-и	6	14
10-и	10	22
11-и	14	36

Для 9-и класса точности изготовления конструкций по формуле (1.18) определяют допуск зазора ($\Delta_{сз}$):

$$\Delta_{сз} = \sqrt{6^2 + 2 \cdot 8^2 + 2 \cdot 20^2 + 6^2 + 14^2} = 41{,}4 \text{ мм}.$$

По формулам (1.15) (1.16) определяют предельные размеры зазора:

$$C_{\min} = C_0 - \frac{\Delta_{\text{сз}}}{2} = 25 - 21 = 4 \text{ мм},$$

$$C_{\max} = C_0 + \frac{\Delta_{\text{сз}}}{2} = 25 + 21 = 46 \text{ мм}.$$

Для 10-и класса точности изготовления конструкций по формуле (1.18) определяют допуск зазора ($\Delta_{\text{сз}}$):

$$\Delta_{\text{сз}} = \sqrt{6^2 + 2 \cdot 8^2 + 2 \cdot 20^2 + 10^2 + 22^2} = 39{,}3 \text{ мм}$$

и по формулам (1.15) (1.16):

$$C_{min} = 25 - 20 = 5 \text{ мм},$$

$$C_{max} = 25 + 20 = 45 \text{ мм}.$$

Для 11-и класса точности изготовления конструкций по формуле (1.18) определяют допуск зазора ($\Delta_{\text{сз}}$):

$$\Delta_{\text{сз}} = \sqrt{6^2 + 2 \cdot 8^2 + 2 \cdot 20^2 + 14^2 + 6^2} = 49{,}6 \text{ мм}$$

и по формулам (1.15) (1.16):

$$C_{\min} = 25 - 25 = 0 \text{ мм},$$

$$C_{\max} = 25 + 25 = 50 \text{ мм}.$$

Таким образом, предельно допустимым классом точности изготовления конструкций, при котором удовлетворяются условия взаимозаменяемости, является 10-и класс. Если точность изготовления конструкций будет ниже 10-и класса, то предельный минимальный зазор будет равен 0 или иметь отрицательное значение, в последнем случае необходимы подгоночные работы.

Задание

Рассчитать точность элементов каркаса компрессорного цеха в продольном направлении и возможное отклонение от вертикали колонн одного продольного ряда при монтаже подкрановых балок контактным методом (рис. 1.2).

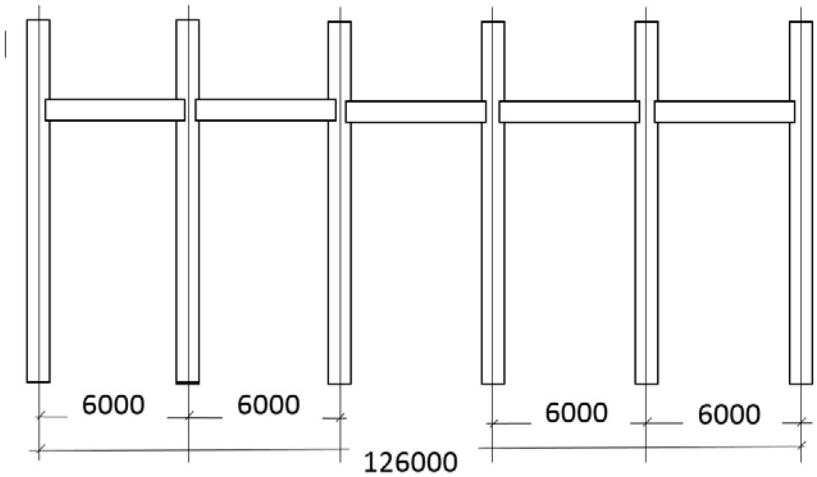


Рис. 1.2. Схема размерной цепи подкрановых балок и колонн

Исходные данные:
Шаг колонн — 6 000 мм.
Длина цеха — 126 м.
Расстояние от основания до верха консоли колонны — 11 500 мм.
Изготовление колонн по 9-и классу точности, подкрановых балок по 7-и классу точности.

Допуск на разбивку осей по 3-р классу точности.

Допуск на установку элементов по 2-у классу точности.

Практическое занятие № 2

ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Значения технологических допусков изготовления элементов зданий и сооружений и выполнения разбивочных, строительных и монтажных работ принимают согласно ГОСТ 21778–81 и ГОСТ 21780–76 в пределах установленных стандартом классов точности выполняемых процессов и операций и в зависимости от используемых средств технологического обеспечения и контроля точности.

Соответствие принимаемых технологических допусков и предельных отклонений геометрических параметров используемым средствам технологического обеспечения и контроля точности устанавливают на основе статистического анализа точности технологических процессов и операций согласно ГОСТ 23615–79.

При назначении технологических допусков и предельных отклонений геометрических параметров необходимо указывать методы и условия измерения этих параметров.

Границы интервалов номинальных размеров, для которых установлены технологические допуски, приняты в настоящем стандарте на основе рядов предпочтительных чисел, установленных ГОСТ 6636–69. При этом значения технологических допусков Δx в миллиметрах вычислены по формуле:

$$\Delta x = i - K,$$

где i — единица допуска, определяемая в зависимости от значения нормируемого геометрического параметра по формулам, мм;

K — коэффициент точности, устанавливающий число единиц допуска для данного класса точности, мм.

Точность изготовления элементов характеризуют допусками и предельными отклонениями их линейных размеров (рис. 2.1), а также формы и взаимного положения поверхностей.

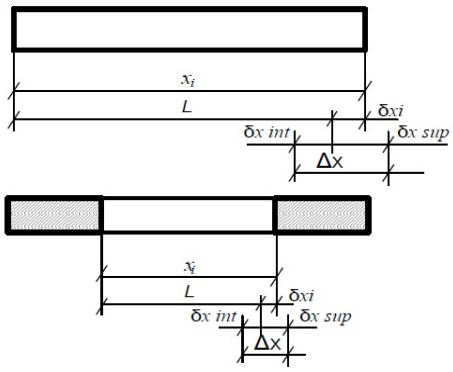


Рис. 2.1. Допуск и отклонение от линейных размеров элементов

Примечание. Обозначения допусков и отклонений — по ГОСТ 21778–81.

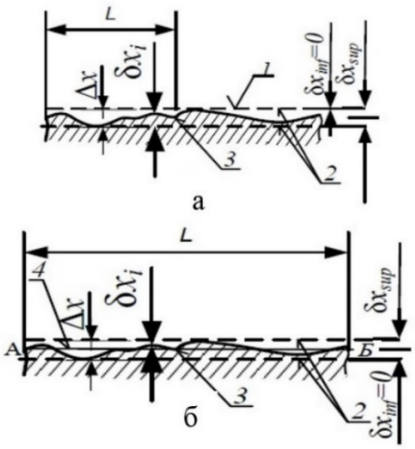


Рис. 2.2. Допуск прямолинейности и отклонение от прямолинейности:
а — допуск и отклонение от прямолинейности при измерениях на заданной длине; *б* — то же, при измерениях на всей длине; *1* — условная (прилегающая) прямая; *2* — прямые, ограничивающие поле допуска; *3* — реальный профиль; *4* — условная (проходящая через крайние точки) прямая

Примечание. При измерениях на заданной длине $\delta x_{\text{inf}} = 0$ и $\delta x_{\text{sup}} = \Delta x$; при измерениях на всей длине $\delta x_{\text{inf}} = \delta x_{\text{sup}} = 0{,}5\ \Delta x$.

Допуски и предельные отклонения формы и взаимного положения поверхностей устанавливают, если требуется ограничить искажения формы элементов, не выявляемые при контроле точности линейных размеров. При этом точность формы поверхностей призматических прямоугольных элементов характеризуют допусками прямолинейности и предельными отклонениями от прямолинейности (рис. 2.2) и допусками плоскостности и предельными отклонениями от плоскостности (рис. 2.3), а точность взаимного положения поверхностей этих элементов — допусками перпендикулярности и предельными отклонениями от перпендикулярности (рис. 2.4).

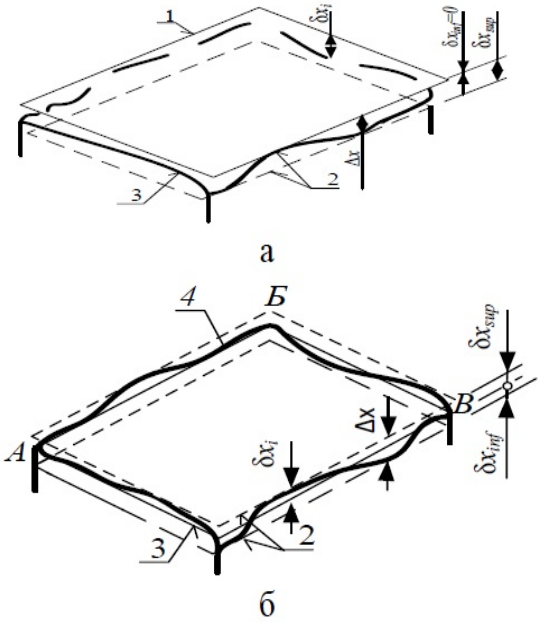


Рис. 2.3. Допуск плоскостности и отклонение от плоскостности:
а — допуск плоскостности и отклонение от плоскостности при измерениях от прилегающей плоскости;
б — то же, при измерениях от условной плоскости, проходящей через три крайние точки реальной поверхности;
1 — условная (прилегающая) плоскость; *2* — плоскости, ограничивающие поле допуска; *3* — реальная поверхность;
4 — условная (проходящая через три крайние точки) плоскость

Примечание. При измерениях на заданной длине $\delta x_{inf} = 0$ и $\delta x_{sup} = \Delta x$; при измерениях на всей длине $\delta x_{inf} = \delta x_{sup} = 0{,}5\ \Delta x$.

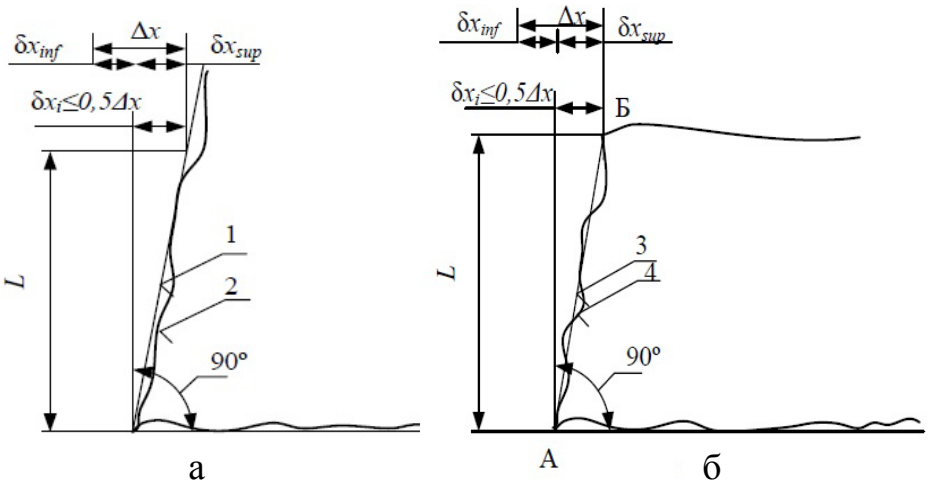


Рис. 2.4. Допуски перпендикулярности и отклонения от перпендикулярности:
а — допуск и отклонения при измерениях на заданной длине; *б* — то же, при измерениях на всей длине; *1* — условная (прилегающая) плоскость; *2* — реальная поверхность; *3* — условная (проходящая через крайние точки) плоскость

Допуски линейных размеров элементов регламентируют точность их изготовления по длине, ширине, высоте, толщине или диаметру, точность размеров и положения выступов, выемок, отверстий, проемов, крепежных и соединительных деталей, а также точность положения наносимых на элементы ориентиров. Эти допуски принимают по табл. 2.1 в зависимости от номинального размера *L*, точность которого нормируют.

Таблица 2.1

Допуски линейных размеров, мм

Интервал номинального размера *L*	Значение допуска для класса точности								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
До 20	0,24	0,4	0,6	1,0	1,6	2,4	4	6	10
От 20 » 60	0,30	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	5	8	12
» 60 » 120	0,40	0,6	1,0	1,6	2,4	4,0	6	10	16
» 120 » 250	0,50	0,8	1,2	2,0	3,0	5,0	8	12	20
» 250 » 500	0,60	1,0	1,6	2,4	4,0	6,0	10	16	24
» 500 » 1 000	0,80	1,2	2,0	3,0	5,0	8,0	12	20	30
» 1 000 » 1 600	1,00	1,6	2,4	4,0	6,0	10,0	16	24	40
» 1 600 » 2 500	1,20	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0	20	30	50
» 2 500 » 4 000	1,60	2,4	4,0	6,0	10,0	16,0	24	40	60
» 4 000 » 8 000	2,00	3,0	5,0	8,0	12,0	20,0	30	50	80
» 8 000 » 16 000	2,40	4,0	6,0	10,0	16,0	24,0	40	60	100
» 16 000 » 25 000	3,00	5,0	8,0	12,0	20,0	30,0	50	80	120
» 25 000 » 40 000	4,00	6,0	10,0	16,0	24,0	40,0	60	100	160
» 40 000 » 60 000	5,00	8,0	12,0	20,0	30,0	50,0	80	120	200
Значения *K*	0,10	0,16	0,25	0,40	0,60	1,0	1,6	2,5	4,0

Допуски прямолинейности принимают по табл. 2.2 для рассматриваемых сечений элемента на всю длину элемента или на заданной длине в зависимости от номинального значения этого размера. Значения заданной длины выбирают из ряда: 400, 600, 1000, 1 600 и 2 500 мм.

Допуски плоскостности принимают по табл. 2.2 для всей рассматриваемой поверхности элемента в зависимости от большего номинального размера *L* поверхности элемента.

Таблица 2.2

Допуски прямолинейности, мм

Интервал номинального размера *L*	Значение допуска для класса точности					
	1	2	3	4	5	6
До 1 000	2,0	3	5	8	12	20
Св 1 000 » 1 600	2,4	4	6	10	16	24
» 1 600 » 2 500	3,0	5	8	12	20	30
» 2 500 » 4 000	4,0	6	10	16	24	40
» 4 000 » 8 000	5,0	8	12	20	30	50
» 8 000 » 16 000	6,0	10	16	24	40	60
» 16 000 » 25 000	8,0	12	20	30	50	80
» 25 000 » 40 000	10,0	16	24	40	60	100
» 40 000 » 60 000	12,0	20	30	50	80	120
Значения *K*	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5

Допуски перпендикулярности рассматриваемых поверхностей элемента принимают по табл. 2.3 в зависимости от меньшего номинального размера *L* поверхностей, перпендикулярность которых регламентируют, или заданной длины в сечении элемента. Значения заданной длины выбирают из ряда: 400, 500, 600, 800 и 1 000 мм.

Таблица 2.3

Допуски перпендикулярности, мм

Интервал номинального размера *L*	Значение допуска для класса точности								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
До 250	0,5	0,8	1,2	2,0	3	5	8	12	20
Св. 250 » 500	0,6	1,0	1,6	2,4	4	6	10	16	24
» 500 » 1 000	0,8	1,2	2,0	3,0	5	8	12	20	30
» 1 000 » 1 600	1,0	1,6	2,4	4,0	6	10	16	24	40
» 1 600 » 2 500	1,2	2,0	3,0	5,0	8	12	20	30	50
» 2 500 » 4 000	1,6	2,4	4,0	6,0	10	16	24	40	60
Значения *K*	0,16	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,0

Для крупноразмерных элементов перпендикулярность их поверхностей допускается регламентировать допусками равенства диагоналей, значения которых принимают по табл. 2.4 в зависимости от большего номинального размера *L* поверхности, для которой назначают разность диагоналей.

Таблица 2.4

Допуски равенства диагоналей, мм

Интервал номинального размера *L*	Значение допуска для класса точности					
	1	2	3	4	5	6
До 4 000	4	6	10	16	24	40
Св. 4 000 » 8 000	5	8	12	20	30	50
» 8 000 » 16 000	6	10	16	24	40	60
» 16 000 » 25 000	8	12	20	30	50	80
» 25 000 » 40 000	10	16	24	40	60	100
» 40 000 » 60 000	12	20	30	50	80	120
Значения *K*	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5

Допусками прямолинейности, плоскостности и перпендикулярности поверхностей следует также регламентировать точность формы и взаимного положения отдельных поверхностей простых непризматических элементов.

1. Оценка точности измерений производится:

– до начала измерений путем обработки результатов специально выполненных наблюдений;

– после окончания измерений путем обработки результатов наблюдений, выполненных в процессе этих измерений.

2. Для оценки точности измерений используются многократные наблюдения параметра в одном из установленных сечений (мест) или двойные наблюдения параметра в разных сечениях (местах) одного или нескольких объектов измерений.

Общее число наблюдений M, необходимое для оценки точности результата измерений, составляет:

– для предварительной оценки — 20;

– для оценки точности выполненных измерений — не менее 6.

Для уменьшения влияния систематических погрешностей на результат измерения наблюдения производятся в прямом и обратном направлениях, на разных участках шкалы отсчетного устройства, меняя установку и настройку прибора и соблюдая другие приемы, указанные в инструкции по эксплуатации на средства измерения. При этом должны быть соблюдены условия равноточности наблюдений (выполнение наблюдений одним наблюдателем, тем же методом, с помощью одного и того же прибора и в одинаковых условиях).

Перед началом наблюдений средства измерений следует выдерживать на месте измерений до выравнивания температур этих средств и окружающей среды.

3. Оценка точности измерений производится путем определения действительной погрешности измерения δx_{smet} и сравнения ее с предельной погрешностью δx_{met}.

В случаях, когда нормирована относительная погрешность измерения, определяется действительная относительная погрешность.

4. Действительная погрешность измерения при многократных наблюдениях определяется по формуле:

$$\delta x_{\text{smet}} = tS_{x\text{met}},$$

где $S_{x\text{met}}$ — среднее квадратическое отклонение измерения;

t — коэффициент (принимают по табл. 2.5).

Таблица 2.5

Значения коэффициента *t*

Доверительные вероятности	Значения t при M, равном			
	20	10	8	6
0,95	2	2,3	2,4	2,6
0,99	2,5	3,2	3,5	4,0

Среднее квадратическое отклонение (СКО) измерения при многократных наблюдениях параметра определяется по формуле:

$$S_{x\text{met}} = \sqrt{\frac{\sum_{j-1}^{M}\left(x_j - \bar{x}\right)^2}{m(M-1)}},$$

где x_j — результат наблюдения;

$\overline{x}$ — результат измерения, полученный по многократным наблюдениям параметра (среднее арифметическое);

M — число равноточных результатов наблюдений, выполняемых для предварительной оценки;

m — число наблюдений параметра, выполняемых при контроле в данном сечении (месте).

Если при измерениях используются средства и методы, для которых из специально выполненных ранее измерений или из эксплуатационной документации установлено среднее квадратическое отклонение наблюдения S_{met}, то действительная погрешность измерения определяется по формуле:

$$\delta x_{\text{smet}} = t\frac{S_{\text{met}}}{\sqrt{m}}.$$

5. Действительная погрешность результата измерения при двойных наблюдениях параметра в одном из установленных сечений (местах) оценивается по формуле:

$$\delta x_{\text{smet}} = |\Theta x_{4m\text{met}}| + tS_{x\text{met}},$$

где $\Theta x_{m\text{met}}$ — абсолютное значение остаточной систематической погрешности, численное значение которой определено из обработки ряда двойных наблюдений.

Пример. Произвести предварительную оценку точности измерений длинномером длины изделий при контроле точности их изготовления.

Измерение длины каждого изделия в процессе контроля будет производиться при числе наблюдений $m = 2$.

Выполняем многократные наблюдения длины одного изделия при числе наблюдений M=10. Для уменьшения влияния систематической погрешности первые пять наблюдений выполняем в одном направлении, каждый раз со сдвигом шкалы рулетки на 70–90 мм, а вторые пять наблюдений — в другом направлении с тем же сдвигом шкалы.

Результаты наблюдений и последовательность их обработки приведены в табл. 2.6 (приведены результаты 10 наблюдений, т. е. $M = 10$).

Таблица 2.6

Обработка исходных данных

Номера наблюдений	Отсчеты по длинномеру, мм		Размеры, полученные в результате наблюдений, мм	x_j-x_0	$(x_j$-$x_0)^2$	$\bar{x}$-x_j	$(\bar{x}$-$x_j)^2$
	Левая грань	Правая грань					
Прямо							
1	0	3205	3205	5	25	0	0
2	7	3216	3209	9	81	-4	16
3	14	3219	3205	5	25	0	0
4	21	3221	3200	0	0	5	25
5	29	3232	3203	3	9	2	4
Обратно							
6	36	3244	3208	8	64	-3	9
7	43	3245	3202	2	4	3	9
8	50	3257	3207	7	49	-2	4
9	57	3265	3208	8	64	-3	9
10	64	3269	3205	5	25	0	0
				Σ52	Σ346	Σ-2	Σ76

1. Определяем среднее арифметическое из результатов измерений:

$$\bar{x} = x_0 + \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_0)}{n} = 3200 + \frac{52}{10} = 3205{,}2 \text{ мм.}$$

Принимаем x = 3205,0 мм с ошибкой округления $a = -0{,}2$ мм; x_0 -наименьший результат из всех наблюдений, x_0 = 3200 мм.

2. Контроль правильности вычислений:

$$\sum_{j=1}^{M}\left(\bar{x} - x_j\right) = a \cdot M = -0{,}2 \cdot 10 = -2 \text{ мм,}$$

$$\sum_{j=1}^{M}\left(\bar{x} - x_j\right)^2 = \sum_{j=1}^{M}\left(x_j - x_0\right)^2 - \frac{\left[\sum_{j=1}^{M}\left(x_j - x_0\right)\right]^2}{M} = 346 - \frac{52^2}{10} = 75{,}6 \text{ мм.}$$

3. Среднее квадратическое отклонение результата измерений находим по формуле:

$$S_{x\text{met}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{M}\left(x_j - \bar{x}\right)^2}{m(M-1)}} = \sqrt{\frac{76}{2(10-1)}} = 2{,}0 \text{ мм.}$$

4. Действительная погрешность измерения будет составлять:

$$\delta x_{s\text{met}} = tS_{x\text{met}} = 2{,}5 \cdot 2{,}0 = 5{,}0 \text{ мм}.$$

5. Предельную погрешность измерения находим по формуле:

$$\delta x_{\text{met}} = K\Delta x.$$

При допуске на длину 16,5 мм по 16 квалитету

$$\delta x_{\text{met}} = K\Delta x = 0{,}2 \cdot 16{,}5 = 3{,}3 \text{ мм}.$$

6. Проверяем соблюдение условия $\delta x_{\Sigma\text{met}} \leq \delta x_{\text{met}}$, которое не выполняется, так как 5,0 > 3,3 мм.

Действительная погрешность измерения не соответствует требуемой, должны быть приняты другие средства измерений или увеличено количество наблюдений *m*. Принимаем *m* = 5, тогда:

$$S_{x\text{met}} = \sqrt{\frac{76}{5(10-1)}} = 1{,}29 \text{ мм};$$

$$\delta x_{\text{met}} = 2{,}5 \cdot 1{,}29 = 3{,}2 \text{ мм}.$$

В этом случае условие выполняется, так как 3,2 мм < 3,3 мм.

Задание

По вышеописанному алгоритму произвести оценку точности произведенных измерений, заполнить рис., используя данные табл. 2.7.

Таблица 2.7

Исходные данные

Номера наблюдений	Отсчеты по длинномеру, мм		Размеры, полученные в результате наблюдений, мм	x_j-x_0	$(x_j$-$x_0)^2$	$\bar{x}$-x_j	$(\bar{x}$-$x_j)^2$
	Левая грань	Правая грань					
Прямо							
1	0	6175					
2	6	6186					
3	14	6189					
4	21	6191					
5	28	6202					
6	36	6214					
7	43	6215					
8	50	6227					
9	57	6235					
10	64	6239					
Обратно							
11	72	6250					
12	78	6253					
13	84	6255					
14	90	6266					
15	96	6277					
16	103	6289					
17	ПО	6290					
18	117	6302					
19	124	6310					
20	132	6314					
				Σ	Σ	Σ	Σ

Практическое занятие № 3

ТОЧНОСТЬ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ

Точность разбивочных работ характеризуют допусками и предельными отклонениями разбивки точек и осей в плане (рис. 3.1) и передачи точек и осей по вертикали (рис. 3.2), допусками створности и предельными отклонениями от створности точек (рис. 3.3), допусками и предельными отклонениями разбивки высотных отметок (рис. 3.4) и передачи высотных отметок (рис. 3.5), а также допусками перпендикулярности и предельными отклонениями от перпендикулярности осей (рис. 3.6).

Допуски разбивки точек и осей в плане принимают по табл. 3.1 в зависимости от номинального расстояния *L*, точность которого нормируют.

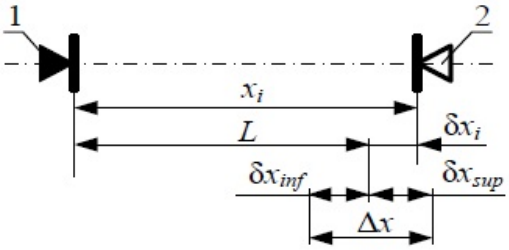


Рис. 3.1. Допуск и отклонение разбивки точек и осей в плане:
1 — ориентир, принимаемый за начало отсчета; *2* — ориентир, устанавливаемый в результате разбивки

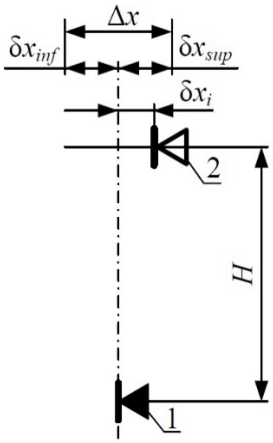


Рис. 3.2. Допуск и отклонение передачи точек и осей по вертикали:
1 — ориентир, принимаемый за начало отсчета; *2* — ориентир, устанавливаемый в результате передачи

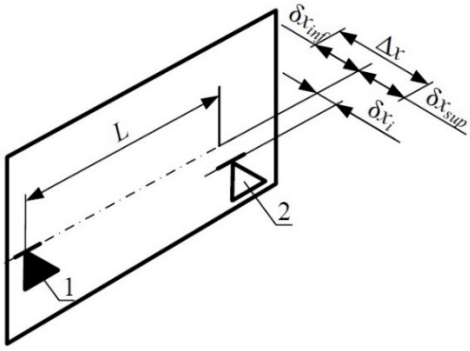


Рис. 3.3. Допуск створности и отклонение от створности точек:
1 — ориентир, принимаемый за начало отсчета; *2* — ориентир, устанавливаемый в результате разбивки

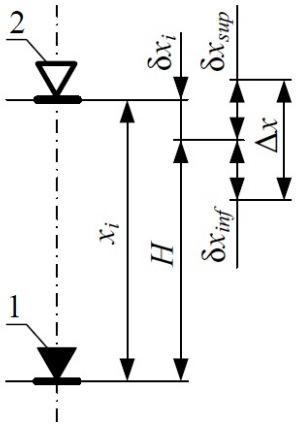


Рис. 3.4. Допуск и отклонение разбивки высотных отметок:
1 — ориентир, принимаемый за начало отсчета; *2* — ориентир, устанавливаемый в результате разбивки

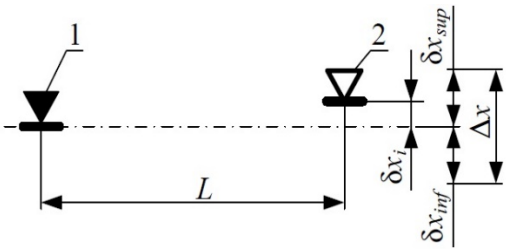


Рис. 3.5. Допуск и отклонение передачи высотных отметок:
1 — ориентир, принимаемый за начало отсчета; *2* — ориентир, устанавливаемый в результате передачи

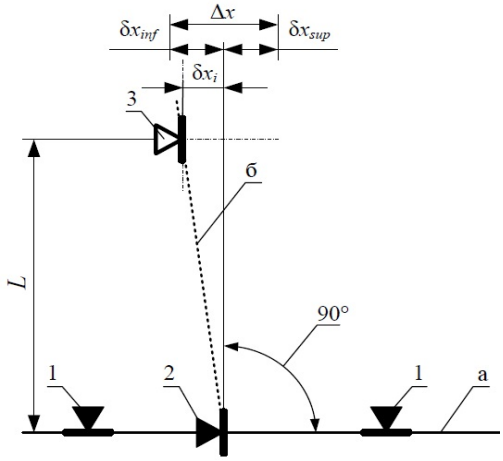


Рис. 3.6. Допуск перпендикулярности и отклонение от перпендикулярности осей:
1 — ориентиры, определяющие положение оси *а*; *2* — ориентир, принимаемый за начало отсчета при разбивке оси *б*;
3 — ориентир, устанавливаемый при разбивке оси *б*

Таблица 3.1

Допуски разбивки точек и осей в плане, мм

Интервал номинального размера *L*	Значение допуска для класса точности					
	1	2	3	4	5	6
До 2500	0,6	1,0	1,6	2,4	4	6
Св.2500 » 4000	1,0	1,6	2,4	4,0	6	10
» 4000 » 8000	1,6	2,4	4,0	6,0	10	16
» 8000 » 16000	2,4	4,0	6,0	10,0	16	24
» 16000 » 25000	4,0	6,0	10,0	16,0	24	40
» 25000 » 40000	6,0	10,0	16,0	24,0	40	60
» 40000 » 60000	10,0	16,0	24,0	40,0	60	100
» 60000 » 100000	16,0	24,0	40,0	60,0	100	160
» 100000 » 160000	24,0	40,0	60,0	100,0	160	—
Значения *K*	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5

Допуски передачи точек и осей по вертикали принимают по табл. 3.2 в зависимости от номинального расстояния *H* между горизонтами.

Допуски створности точек принимают по табл. 3.2 в зависимости от номинальной длины *L* разбиваемой оси.

Таблица 3.2

Допуски передачи точек и осей по вертикали и створности точек, мм

Интервал номинального размера		Значение допуска для класса точности					
H	*L*	1	2	3	4	5	6
До 2 500	До 4 000	—	—	0,6	1,0	1,6	2,4
Св. 2 500 » 4 000	Св.4 000 » 8 000	—	0,6	1,0	1,6	2,4	4,0
» 4 000 » 8 000	» 8 000 » 16 000	0,6	1,0	1,6	2,4	4,0	6,0
» 8 000 » 16 000	» 16 000 » 25 000	1,0	1,6	2,4	4,0	6,0	10,0
» 16 000 » 25 000	» 25 000 » 40 000	1,6	2,4	4,0	6,0	10,0	16,0
» 25 000 » 40 000	» 40 000 » 60 000	2,4	4,0	6,0	10,0	16,0	24,0
» 40 000 » 60 000	» 60 000 » 100 000	4,0	6,0	10,0	16,0	24,0	40,0
» 60 000 » 100 000	» 100 000 » 160 000	6,0	10,0	16,0	24,0	40,0	60,0
» 100 000 » 160 000	-	10,0	16,0	24,0	40,0	60,0	—
Значения *K*	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5	

Допуски разбивки высотных отметок принимают по табл. 3.3 в зависимости от номинального расстояния *H* между горизонтами.

Допуски передачи высотных отметок принимают по табл. 3.3 в зависимости от номинального расстояния *L* до рассматриваемой высотной отметки.

Допуски перпендикулярности осей принимают по табл. 3.3 в зависимости от номинального расстояния *L* до рассматриваемой точки. При номинальном значении угла между осями, не равном 90°, допуски угла также принимают по табл. 3.3 в зависимости от номинального расстояния *L* до рассматриваемой точки.

Таблица 3.3

Допуски разбивки и передачи высотных отметок, мм

Интервал номинального размера		Интервал номинального размера					
H	*L*	1	2	3	4	5	6
До 2 500	До 8 000	—	0,6	1,0	1,6	2,4	4
Св. 2 500 » 4 000	Св. 8 000 » 16 000	0,6	1,0	1,6	2,4	4,0	6
» 4 000 » 8 000	» 16 000 » 25 000	1,0	1,6	2,4	4,0	6,0	10
» 8 000 » 16 000	» 25 000 » 40 000	1,6	2,4	4,0	6,0	10,0	16
» 16 000 » 25 000	» 40 000 » 60 000	2,4	4,0	6,0	10,0	16,0	24
» 25 000 » 40 000	» 60 000 » 100 000	4,0	6,0	10,0	16,0	24,0	40
» 40 000 » 60 000	» 100 000 » 160 000	6,0	10,0	16,0	24,0	40,0	60
» 60 000 » 100 000	-	10,0	16,0	24,0	40,0	60,0	100
» 100 000 » 160 000	-	16,0	24,0	40,0	60,0	100,0	160
Значения К		0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5

Допуски разбивочных работ по табл. 3.1–3.3 даны с учетом точности нанесения и закрепления соответствующих точек и осей.

Точность установки элементов сборных зданий и сооружений характеризуют допусками совмещения и отклонениями от совмещения ориентиров (точек, линий, поверхностей) (рис. 3.7) и допусками симметричности и отклонениями от симметричности установки элементов (рис. 3.8).

Допуски совмещения ориентиров принимают по табл. 3.4 в зависимости от номинального расстояния L между ними.

Допуски симметричности установки элементов принимают по табл. 3.5 в зависимости от номинального значения геометрического параметра L.

Допуски строительных и монтажных работ в табл. 3.4 и 3.5 характеризуют точность установки элементов после проектного закрепления. Точность установки элементов при временном закреплении в зависимости от способа закрепления следует принимать на 1–2 класса выше.

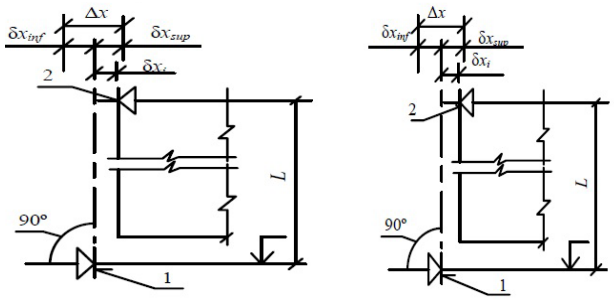


Рис. 3.7. Допуск совмещения и отклонение от совмещения ориентиров:
1 — ориентир, принимаемый за начало отсчета; *2* — ориентир устанавливаемого элемента

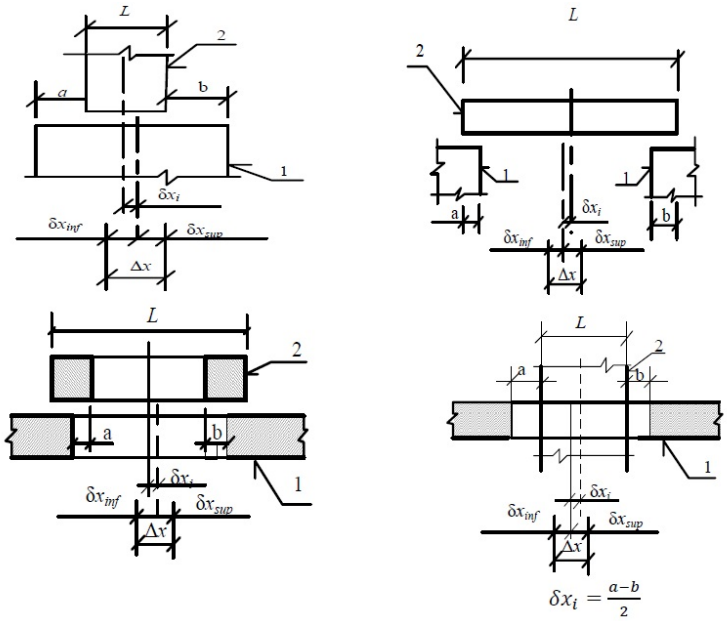


Рис. 3.8. Допуск симметричности и отклонение от симметричности установки элементов:
1 — установленный элемент; *2* — устанавливаемый элемент

Таблица 3.4

Допуски совмещения ориентиров, мм

Интервал номинального размера L	Значение допуска для класса точности					
	1	2	3	4	5	6
До 120	1,6	2,4	4	6	10	16
Св. 120 » 250	2,0	3,0	5	8	12	20
» 250 » 500	2,4	4,0	6	10	16	24
» 500 » 1 000	3,0	5,0	8	12	20	30
» 1 000 » 1 600	4,0	6,0	10	16	24	40
» 1 600 » 2 500	5,0	8,0	12	20	30	50
» 2 500 » 4 000	6,0	10,0	16	24	40	60
» 4 000 » 8 000	8,0	12,0	20	30	50	80

Окончание таблицы 3.4

Интервал номинального размера *L*	Значение допуска для класса точности					
	1	2	3	4	5	6
» 8 000 » 16 000	10,0	16,0	24	40	60	100
» 16 000 » 25 000	12,0	20,0	30	50	80	120
» 25 000 » 40 000	16,0	24,0	40	60	100	160
» 40 000 » 60 000	20,0	30,0	50	80	120	200
Значения *K*	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5

Таблица 3.5

Допуски симметричности установки, мм

Интервал номинального размера L	Значение допуска для класса точности					
	1	2	3	4	5	6
До 2 500	2,0	3	5	8	12	20
Св. 2 500 » 4 000	2,4	4	6	10	16	24
» 4 000 » 8 000	3,0	5	8	12	20	30
» 8 000 » 16 000	4,0	6	10	16	24	40
» 16 000 » 25 000	5,0	8	12	20	30	50
» 25 000 » 40 000	6,0	10	16	24	40	60
» 40 000 » 60 000	8,0	12	20	30	50	80
Значения К	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5

Пример. Выполнить передачу оси по вертикали на монтажный горизонт с отметкой $H = +36$ м по 3-му классу точности ГОСТ 21779.

2.1. Определяем по ГОСТ 21779 значение допуска $\Delta x = 6$ мм.

2.2. Определяем по ГОСТ 26433.0 предельную и среднюю квадратические погрешности измерения:

$$\sigma x_{\Sigma\text{met}} = 0{,}4 \cdot 6 = 2{,}4 \text{ мм}; \sigma x_{\text{met}} = 2{,}4 \cdot 2{,}5 = 0{,}96 \text{ мм};$$

и принимаем, что суммарные расчетные погрешности не должны превышать величин:

$$\sigma x_{\Sigma\text{met}} \leq 2{,}4 \text{ мм};\ \sigma x_{\text{met}} \leq 0{,}96 \text{ мм};$$

2.3. Для передачи оси по вертикали принимаем метод проектирования коллимационной плоскостью теодолита при двух положениях вертикального круга.

2.4. Определяем совокупность факторов, влияющих на суммарную погрешность результата измерений:

- поверка и юстировка цилиндрического уровня горизонтального круга;
- установка пузырька цилиндрического уровня горизонтального круга в нуль-пункт;
- центрирование теодолита на оси;
- визирование;
- отклонение от перпендикулярности визирной оси и оси вращения зрительной трубы (коллимационная погрешность);
- отклонение от перпендикулярности оси вращения зрительной трубы и вертикальной оси вращения прибора (неравенство подставок);
- фиксация оси на монтажном горизонте.

2.5. Принимаем принцип равного влияния для всех факторов и, учитывая, что первый из перечисленных выше факторов оказывает систематическое влияние, а пятый и шестой (коллимационная погрешность и неравенство подставок) исключаются проектированием при двух положениях вертикального круга, получим:

$$\sigma_i = \frac{\delta x_{\Sigma\text{met}}}{\sqrt{r + u^2}} = \pm\ \frac{0{,}96\sqrt{2}}{\sqrt{5+1}} = \pm\ 0{,}55 \text{ мм};$$

2.6. Определяем допустимые средние квадратические погрешности по регистрации и учету каждого из перечисленных факторов.

2.6.1. Поверка и юстировка уровня v_1, установка пузырька уровня в нуль-пункт, v_2:

$$v_1 = v_2 = \frac{\sigma_i \rho''}{H} = \frac{0{,}56 \cdot 2 \cdot 10^5}{36 \cdot 10^3} = 3{,}1'',$$

где v_1 — погрешность поверки и юстировки уровня;

v_2 — погрешность установки пузырька уровня в нуль-пункт;

H — высота передачи;

ρ — $206265''$.

2.6.2. Центрирование теодолита:

$$e = \frac{\sigma_i D}{d},$$

где e — погрешность центрирования;

d — расстояние на горизонтальной плоскости между точкой закрепления оси на исходном горизонте и проекцией на этот горизонт точки закрепления оси на монтажном горизонте;

D — горизонтальное расстояние от теодолита до точки закрепления оси на исходном горизонте.

При D = 40 м, d = 2 м имеем:

$$e = \frac{0{,}56 \cdot 40 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^3} = 11{,}2 \text{ мм}.$$

2.6.3. Визирование:

$$\tau' = \frac{30'' l}{\rho'' \sigma_i},$$

где τ' — увеличение зрительной трубы;

$30''$ — погрешность визирования невооруженным глазом на расстоянии наилучшего зрения (250 мм);

l — расстояние до точки визирования.

В данном случае:

$$\tau' = \frac{30 \cdot 40 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 0{,}56} = 10{,}7.$$

2.7. Выполняем анализ полученных погрешностей и назначаем следующие методы и средства их обеспечения.

При выборе теодолита следует учесть, что поверка уровня при алидаде горизонтального круга осуществляется с ошибкой порядка 0,2 τ'', где τ'' — цена деления уровня, т.е. 0,2 $\tau = v''$.

В связи с этим теодолит должен быть оснащен в данном случае уровнем с ценой деления

$$\tau'' = \frac{3}{0{,}2} = 15{,}5''.$$

Приведенным выше условиям полностью отвечает теодолит Т2, имеющий увеличение зрительной трубы 25^x и цену деления уровня при алидаде горизонтального круга $\tau'' = 15''$.

Погрешность 0,55 мм фиксации оси на монтажном горизонте можно обеспечить прочерчиванием карандашом по гладкой поверхности.

При соблюдении указанных мероприятий следует ожидать, что с вероятностью P = 0,988 плановое положение ориентира, закрепляющего ось на монтажном горизонте + 36,0 м, будет в пределах допуска Δx = 6 мм.

Задание

По вышеописанному алгоритму выполнить передачу оси по вертикали на монтажный горизонт с отметкой H = +42 м по 2-му классу точности ГОСТ 21779.

Практическое занятие № 4

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ

Контроль точности геометрических параметров является обязательной составной частью контроля качества и производится посредством сопоставления действительных значений параметров или характеристик точности с установленными.

В процессе производства на предприятиях и в строительных организациях следует выполнять входной, операционный и приемочный контроль точности.

Контроль точности должен обеспечивать:

– определение с заданной вероятностью соответствия точности геометрических параметров требованиям нормативно-технической, технологической и проектной документации на объекты контроля;

– получение необходимой информации для оценки и регулирования точности технологических процессов.

Контролю точности подлежат:

– геометрические параметры элементов и параметры, определяющие положение ориентиров разбивочных осей и ориентиров для установки элементов, а также положение элементов в конструкциях (номенклатура допусков указанных параметров приведена в ГОСТ 21779–82 и ГОСТ 21780–83);

– геометрические параметры технологического оборудования, форм и оснастки, оказывающие влияние на точность изготовления элементов и их установки в конструкциях и указанные в соответствующих технологических документах.

Правила контроля точности устанавливают в зависимости от характера объекта контроля и контролируемых параметров, объемов производства и стабильности технологических процессов с учетом стоимости и требуемой надежности контроля.

В стандартах и других нормативно-технических документах, устанавливающих правила контроля, должны быть определены:

– контролируемые параметры;

– применяемый метод контроля;

– план контроля и порядок его проведения;

– средства контроля, правила выполнения и требования к точности измерений;

– метод оценки результатов контроля.

Нормативно-технические и технологические документы, устанавливающие правила контроля точности, должны проходить метрологическую экспертизу в соответствии с требованиями стандартов Государственной системы обеспечения единства измерений.

Назначение методов контроля

Контроль точности назначают преимущественно выборочным по альтернативному или количественному признакам, а в необходимых случаях — сплошным.

Сплошной контроль следует назначать:

– при небольших объемах производства, когда выборочный контроль неосуществим;

– при нестабильном характере производства, в том числе в период наладки технологических процессов;

– при повышенных требованиях к обеспечению заданной точности, связанных с необходимостью применения выборок большого объема.

Выборочный контроль следует назначать при налаженном стабильном производстве, когда обеспечена статистическая однородность технологического процесса.

При выборочном методе преимущественно следует применять контроль по альтернативному признаку.

Контроль по количественному признаку применяют для наиболее ответственных параметров, когда их количество невелико и имеется необходимость в дальнейшей отработке процесса, а также, если по условиям производства целесообразно сократить объем выборок по сравнению с контролем по альтернативному признаку. Этот метод применим, когда контролируемые параметры независимы друг от друга и имеют нормальное распределение.

При необходимости, часть параметров можно контролировать по количественному признаку, а часть — по альтернативному.

Инспекционный контроль следует проводить с применением методов, установленных в соответствующих нормативно-технических документах для приемочного контроля.

Таблица 4.1

Виды, методы и объекты контроля по стадиям производства

Вид контроля	Стадия	Объекты контроля	Методы контроля производства
1.Входной контроль	Изготовление элементов	Проектная документация	—
		Изделия, детали и полуфабрикаты, поступающие в производство	Выборочный по альтернативному признаку
		Рабочие органы и регулирующие устройства оборудования и оснастка	Сплошной
	Строительно-монтажные работы (при организации работ по каждому последующему этапу)	Проектная документация	—
		Ориентиры разбивочный осей, отметки дна котлована, элементы строительных конструкций после завершения работ предыдущего этапа	Выборочный по альтернативному или количественному признакам
		Элементы сборных конструкций зданий и сооружений, поступающих на строительную площадку	Выборочный по альтернативному признаку В отдельных случаях — сплошной
		Приспособления и монтажная оснастка	Сплошной
2.Операционный контроль	Изготовление элементов	Результаты выполнения технологических операций, влияющих на точность геометрических параметров готовой продукции	Выборочный по количественному или альтернативному признакам; в случае необходимости — сплошной
		Технологическое оборудование, формы и оснастка	Сплошной или выборочный
	Строительно-монтажные работы (в процессе выполнения работ по определенному этапу)	Ориентиры разбивки точек и осей, высотные отметки опорных плоскостей и установочные ориентиры	Выборочный по количественному или альтернативному признакам, или сплошной
		Элементы сборных конструкций в процессе установки и временного закрепления	Сплошной
		Оснастка, применяемая для установки элементов	Сплошной
3.Приемочный контроль	Изготовление элементов	Элементы сборных конструкций после завершения цикла изготовления	Сплошной или выборочный по альтернативному или количественному, или признакам
	Строительно-монтажные работы (после выполнения работ по определенному этапу)	Ориентиры разбивочный осей, высотные отметки опорных плоскостей и установочные ориентиры	Выборочный по альтернативному признаку
		Элементы сборных конструкций после постоянного закрепления, а также их сопряжения	Выборочный по альтернативному признаку; в отдельных случаях — сплошной

Метод учета дополнительного риска неправильной оценки результатов контроля, вызываемого погрешностью измерений.

При назначении точности и выборе средств измерения следует учитывать, что погрешности измерения увеличивают риск неправильной оценки результатов контроля. При этом возрастает вероятность бракования годного объекта контроля или приемки бракованного в качестве годного.

При необходимости сохранения стандартных значений указанного риска, принятых в планах контроля по ГОСТ 18242–72 и ГОСТ 20736–75, при назначении планов выборочного контроля может быть увеличен объем выборки.

В таблице приведены значения увеличенного объема выборки n' вычисленные для нормального закона распределения контролируемого параметра и погрешности измерения $\delta x_{met} = \pm\ 2{,}5\sigma x_{met}$ по формуле:

$$n' = n\left(1 + \frac{\sigma x_{\text{met}}^2}{\sigma_x^2}\right),$$

где n — объем выборки по плану контроля;

σx — среднее квадратическое отклонение измеряемого геометрического параметра;

σx_{met} — средняя квадратическая погрешность измерений.

Критерии оценки результатов контроля по увеличенному объему выборки принимают по плану контроля для выборки n.

Таблица 4.2

Предельная погрешность измерений σx_{met} в долях от технологического до пуска контролируемого параметра	Увеличенный объем выборки n' при приемочном уровне дефектности, %			
	0,25	1,5	4,0	10,0
$0{,}3 \cdot \Delta x/2$	$1{,}13n$	$1{,}08n$	$1{,}06n$	$1{,}036n$
$0{,}4 \cdot \Delta x/2$	$1{,}23n$	$1{,}15n$	$1{,}11n$	$1{,}065n$

Пример. Выбрать средство измерения для контроля длины изделия.

L = (3600 ± 2,0) мм Δx = 4 мм, (ГОСТ 21779–82).

Решение

1. Определяем предельную погрешность измерения δx_{met}:

$$\delta x_{\text{met}} \le K\Delta x = 0{,}2 \cdot 4{,}0 = 0{,}8 \text{ мм}.$$

2. Для выполнения измерений применяем, например, 10-метровую металлическую рулетку 3-го класса точности ЗПКЗ-10АУТ/10 ГОСТ 7502–80.

3. В суммарную погрешность измерения длины изделия рулеткой входят составляющие погрешности: Θx_l — поверки рулетки; Θx_2 -от погрешности измерения температуры окружающей среды; Θx_3 — от колебания силы натяжения рулетки; Θx_4 — снятия отсчетов по шкале рулетки на левом и правом краях изделия.

Определяем значения этих погрешностей.

3.1. Погрешность Θx_l поверки рулетки в соответствии с ГОСТ 8.301–78 принимаем равной 0,2 мм.

3.2. Погрешность Θx_2 от изменения температуры окружающей среды термометром с ценой деления 1 °С (погрешность измерения равна 0,5 °С) составляет:

$$\Theta x_2 = L\alpha\Delta t = 3600 \cdot 12{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}5 \approx 0{,}22 \text{ мм}.$$

3.3. Погрешность Θx_3 от колебания силы натяжения рулетки составляет

$$\Theta x_3 = \frac{L\Delta P}{FE} = \frac{3600 \cdot 10}{2 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0{,}09 \approx 0{,}1 \text{ мм},$$

где $\Delta P = 10H$ — погрешность натяжения рулетки вручную;

F = 2 мм^2 — площадь поперечного сечения рулетки;

$E = 2 \cdot 10^5$ Н/мм^2 — модуль упругости материала рулетки.

3.4 Экспериментально установлено, что погрешность снятия отсчета по шкале рулетки не превышает 0,3 мм, при этом погрешность Θx_4 снятия отсчетов на левом и правом краях изделия составит:

$$\Theta x_4 = 0{,}3\sqrt{2} \approx 0{,}4 \text{ мм}.$$

4.Определяем расчетную суммарную погрешность измерения, учитывая, что Θx_1 — систематическая погрешность, а δx_2, δx_3 и δx_4 — случайные:

$$\delta x_{\Sigma met} = \sqrt{\delta x_2^2 + \delta x_3^2 + \delta x_4^2 + \Theta x_1^2} = \sqrt{0{,}26} \approx 0{,}5 \text{ мм.}$$

4. Данные метод и средство измерения могут быть приняты для выполнения измерений, так как расчетная суммарная погрешность измерения $\delta x_{\Sigma\text{met}}$ = 0,5 мм меньше предельной δx_{met} = 0,8 мм, что соответствует требованию.

Задание

По вышеописанному алгоритму выбрать средство измерения для контроля длины изделия L = (4500 ± 3,0) мм, Δx = 6 мм, ГОСТ 21779–82).

Практическое занятие № 5

СПЛОШНОЙ КОНТРОЛЬ

При сплошном контроле точность данного геометрического параметра проверяют в каждом объекте контроля (единице продукции).

Контрольными нормативами при сплошном контроле являются верхнее δx_{sup} и нижнее δx_{inf} предельные отклонения от номинальных размеров или от номинального положения ориентира, точки прямой или плоскости, определяющие требования к точности контролируемого параметра.

В отдельных случаях контрольными нормативами могут быть наибольший x_{max} или наименьший x_{min} предельные размеры.

Для определения соответствия геометрических параметров контрольным нормативам согласно установленным правилам измерений находят действительные отклонения δx_i или действительные размеры x_i.

Объект контроля считают годным по данному контролируемому параметру, если соблюдено одно из следующих условий:

$$\delta x_{\text{in}f} \le \delta x_i \delta x_{\text{in}f} \le \delta x_{\text{sup}}, \tag{5.1}$$

$$x_{\min} \le x_i \le x_{\max}. \tag{5.2}$$

В целях сокращения трудоемкости контроля, проверка соблюдения условий (5.1) и (5.2) может производиться без определения количественных значений δx_i и x_i с помощью предельных калибров или шаблонов.

Измерительные средства в зависимости от измеряемых размеров и допускаемых погрешностей измерения рекомендуется выбирать по табл. 5.1–5.4. Допускается использовать более точные средства измерения, кроме указанных в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Универсальные средства измерения размеров с неуказанными допусками

Обозначения для табл. 5.2–5.4	Наименование измерительного средства и способ его применения	Цена деления, мм	Диапазон измерения, мм	Условие измерения	
				Класс концевых мер длины	Температурный режим
1	Линейки измерительные металлические. ГОСТ 427–75	1,0	0-500		
2	Штангенциркули. ГОСТ 166–80	0,1	0-630	—	—
3	Штангенциркули. ГОСТ 166–80	0,05	0-250	—	—
4	Микрометры. ГОСТ 6507–78	0,01	0-500	—	—
5	Индикаторные нутромеры. ГОСТ 868–82	0,01	6-100/100-500	4/4	5/3
6	Штангенглубиномеры. ГОСТ 162–80	0,05	0-400	—	—
7	Глубиномеры микрометрические. ГОСТ 7470–78	0,01	0-150		5
8	Глубиномеры индикаторные. ГОСТ 7661–67	0,01	0-100	—	5

В табл. 5.2–5.4 на пересечении вертикальной колонки (квалитет) и горизонтальной строки (номинальные размеры) находится поле, в котором в виде дроби указан в числителе предел допускаемой погрешности измерения в микрометрах (мкм), а в знаменателе — условные обозначения измерительных средств из табл. 5.1.

Таблица 5.2

Выбор универсальных средств для измерения наружных размеров

Номинальные размеры, мм	Квалитет 12	Квалитеты 13, 14	Квалитеты 15, 16	Квалитет 17
Свыше 1–3	50/4	100/3	150/2	150/2
» 3–6	50/4	100/3	200/2	500/1; 2
» 6–30	100/3	200/2	300/2	500/1; 2
» 30–120	150/2	250/2	400/2	800/1; 2
» 120–315	200/2; 4	300/2; 4	600/1; 2; 4	1000/1; 2; 4
» 315–500	300/2; 4	500/1; 2; 4	1000/1; 2; 4	1500/1; 2; 4

Таблица 5.3

Выбор универсальных средств для измерения внутренних размеров

Номинальные размеры, мм	Квалитет 12	Квалитеты 13, 14	Квалитеты 15, 16	Квалитет 17
Свыше 1–3	—	—	—	—
» 3–6	—	—	—	—
» 6–30	100/5	200/2	300/2	500/1; 2
» 30–120	150/3	250/2	400/2	800/1; 2
» 120–315	200/2	300/2	600/1; 2	1000/1; 2
» 315–500	300/2	500/1	1000/1; 2	1500/1; 2

Примечание. Точность измерения внутренних размеров от 1 до 6 мм обеспечивается технологически размерами режущего инструмента. Контроль в случае необходимости можно проводить калибрами или специальными измерительными средствами.

Таблица 5.4

Выбор универсальных средств для измерения глубин и уступов

Номинальные размеры, мм	Квалитет 12	Квалитеты 13, 14	Квалитеты 15, 16	Квалитет 17
Свыше 1-3	50/7; 8	100/6	150/2; 6	150/2; 6
» 3-6	50/7; 8	100/6	200/2; 6	500/1; 2
» 6-30	100/6	200/2; 6	300/2; 6	500/1; 2
» 30-120	150/2; 6	250/2; 6	400/2; 6	800/1; 2
» 120-315	200/6	300/6	600/1	1000/1
» 315-500	300/6	500/1	1000/1	1500/1

Пример. Выбрать средство измерения для контроля длины изделия для измерения наружного размера 110/13, где в виде дроби указан в числителе размер измеряемого изделия в мм, а в знаменателе — квалитет.

Решение

По табл. 5.2 определяем в поле на пересечении номинального размера и квалитета предел допускаемой погрешности измерения в микрометрах (мкм), указанный в числителе, и средство измерения — в знаменателе. Предел допускаемой погрешности измерения равняется 250 мкм, и средство измерения, определяемое по табл. 5.1, штангенциркули по ГОСТ 166-80 с ценой деления 0,1 мм и диапазоном измерения для наружных размеров 0–630 мм.

Расчет погрешности при сплошном контроле измерений выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 26433.0–85.

Методы и средства измерений принимаем в соответствии с характером объекта и измеряемых параметров из условия:

$$\delta x_{\Sigma \mathrm{met}} \leq \delta x_{\mathrm{met}},$$

где $\delta x_{\Sigma \mathrm{met}}$ — расчетная суммарная погрешность принимаемого метода и средства измерения;

δx_{met} — предельная погрешность измерения.

Вычисляем расчетную погрешность измерения по одной из формул:

$$\delta x_{\Sigma \mathrm{met}} = \sqrt{\sum_{p=1}^{r} K_p^2 \delta x_p^2 + \left(\sum_{q=1}^{u} K_q \Theta x_q\right)^2}$$

или

$$\delta x_{\Sigma \mathrm{met}} = 2{,}5 \sigma x_{\Sigma \mathrm{met}} = 2{,}5 \sqrt{\sum_{p=1}^{r} K_p^2 \sigma x_p^2 + \left(\sum_{q=1}^{u} K_q \sigma x_q\right)^2},$$

где δx_p — случайные составляющие погрешности;

Θx_q — систематические составляющие погрешности;

σx_p — средние квадратические случайные составляющие погрешности; σx_q — средние квадратические систематические составляющие погрешности;

$p = 1, 2... r$ — число случайных составляющих погрешностей;

$q = 1, 2...u$ — число систематических составляющих погрешностей;

K_p, K_q — коэффициенты, учитывающие характер зависимости между суммарной и каждой из составляющих погрешностей измерения.

При расчете по указанным формулам принимаем, что составляющие погрешности независимы между собой или слабо коррелированы.

Предельную погрешность δx_{met} определяем из условия:

$$\delta x_{\text{met}} \leq K\Delta x,$$

где Δx — допуск измеряемого геометрического параметра, установленный нормативно-технической документацией на объект измерения;

K — коэффициент, зависящий от цели измерений и характера объекта.

Для измерений, выполняемых в процессе и при контроле точности изготовления и установки элементов, а также при контроле точности разбивочных работ принимаем K = 0,2. Для измерений, выполняемых в процессе производства разбивочных работ, K = 0,4.

Действительная погрешность $\delta x_{\Sigma\text{met}}$ выполненных измерений не должна превышать ее предельного значения.

Для случаев, когда процесс измерения состоит из большого числа отдельных операций, на основе принципа равных влияний определяем среднее значение составляющих погрешностей $\delta x_{p,q}$ по формуле:

$$\delta x_{p,q} = \frac{x_{\Sigma\text{met}}}{\sqrt{r + u^2}},$$

где r — число случайных составляющих погрешностей;

u — число систематических составляющих погрешностей.

Выделяем те составляющие погрешности, которые легко могут быть уменьшены, увеличивая соответственно значения тех составляющих погрешностей, которые трудно обеспечить имеющимися методами и средствами.

Проверяем соблюдение условия, и в случае несоблюдения этого условия назначаем более точные средства или принимаем другой метод измерения.

Задание

Выбрать средство измерения для контроля размеров изделия, используя данные табл. 5, где в виде дроби указан в числителе размер измеряемого изделия, мм, а в знаменателе — квалитет.

Таблица 5.5

Выбор средств измерений

Вариант	Наружный/размер	Внутренний/размер	Размер/ глубин/и/уступов
1	111/13	433/17	24/17
2	23/12	282/16	4,9/15
3	5/14	35/14	1,8/14
4	1,3/15	12/12	2,9/12
5	3,7/17	14/14	5,4/13
6	19/16	84/15	7/16
7	49/3	144/17	61/17
8	134/12	367/16	302/15
9	373/16	138/13	369/15
10	227/15	87/12	218/12
11	102/17	17/15	42/13
12	9,4/16	86/17	16/16
13	4,2/13	291/16	3,7/17
14	1,6/12	467/14	2,2/17
15	2,1/11	308/15	5,1/18
16	5,8/15	92/13	23/14
17	13/17	27,5/15	66/12
18	64/16	13/17	237/13
19	198/13	183/17	417/16

Окончание таблицы 5.5

Вариант	Наружный/размер	Внутренний/размер	Размер/ глубин/и/уступов
20	397/12	457/16	343/17
21	211/12	172/14	121/15
22	93/14	49/12	73/14
23	23/15	16/13	15/12
24	5,9/17	53/15	4,7/16
25	2,3/17	134/17	1,9/16

Практическое занятие № 6

ВЫБОРОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ

При выборочном контроле точность данного геометрического параметра проверяют по установленному плану контроля в выборке, состоящей из определенного количества объектов контроля (единиц продукции) в общем объеме партии (в потоке) продукции или в объеме выполненных работ.

Возможность применения эффективного выборочного контроля устанавливают на основе результатов статистического анализа точности по ГОСТ 23615–79.

Для контроля формируют случайные выборки в соответствии с требованиями ГОСТ 18321–73.

При контроле точности разбивочных работ и установки элементов выборку составляют из определенного количества закрепленных в натуре ориентиров или установленных элементов из их общего числа, входящего в принимаемый за партию объем строительно-монтажных работ.

При контроле по альтернативному признаку контрольными нормативами являются предельные отклонения δx_{sup} и δx_{inf} (или x_{max} и x_{min}) и приемочные и браковочные числа *Ac* и *Re*, характеризующие предельное количество дефектных единиц в выборке.

Может быть принят одноступенчатый или двухступенчатый способ контроля, которые равнозначны по получаемой оценке.

При этом планы контроля устанавливают в соответствии зависимости от условий производства и приемочного уровня дефектности, принятого для данного контролируемого параметра.

В обоснованных случаях допускается применение других планов контроля по ГОСТ 18242–72.

При контроле по альтернативному признаку определяют количество дефектных объектов контроля (единиц продукции) в выборке путем ее сплошного контроля.

Партия принимается, если количество дефектных объектов контроля в выборке меньше или равно приемочному числу *Ac1*, и не принимается, если это количество больше или равно браковочному числу *Re1*.

При двухступенчатом контроле, в случаях, когда число дефектных объектов контроля в выборке больше *Ac1* и меньше *Re1* извлекается вторая выборка. Если общее число дефектных единиц в двух выборках меньше или равно приемочному числу *Ac2*, партия принимается, если больше или равно браковочному числу *Re2* — не принимается.

При контроле по количественному признаку контрольными нормативами являются $x_{\max}$, $x_{\min}$ и табличные коэффициенты, характеризующие допустимое для данного плана контроля соотношение между действительными и нормативными характеристиками точности.

Правила контроля по количественному признаку назначают в соответствии с ГОСТ 20736–75.

Отклонение при выборочном контроле партии могут быть предъявлены для сплошного контроля.

Таблица 6.1

Планы выборочного контроля по альтернативному признаку

Объем партии	Объем выборки	Приемочные *Ac* и браковочные *Re* числа при приемочном уровне дефектности, %			
		0,25	1,5	4,0	10,0
До 25	3	Зона сплошного контроля	↓	0 1	1 2
От 26 до 90	8		0 1	1 2	2 3
От 91 до 280	13	↓		1 2	3 4
От 281 до 500	20	↓	↓	2 3	5 6
От 501 до 1 200	32	↓	1 2	3 4	7 8
От 1 201 до 3 200	50	0 1	2 3	5 6	10 11
От 3 201 до 10 000	80		3 4	7 8	14 15
От 10 001 до 35 000	125	↓	5 6	10 11	21 22
Более 35 000	200	1 2	7 8	14 15	

*Примечани*е. 1. ↓ — применяется та часть плана, включая объем выборки, которая расположена под стрелкой. 2. — применяется та часть плана, включая объем выборки, которая расположена над стрелкой. 3. Приемочное число *Ac* расположено слева, браковочное *Re* — справа.

Таблица 6.2

Значения приемочного уровня дефектности

Приемочный уровень дефектности, %	Область применения
0,25; 1,5	Параметры, являющиеся составляющими или результирующими при расчете точности конструкций по ГОСТ 21780–83 и обеспечивающие надежность сооружения в эксплуатации, к обеспечению точности которых предъявляются повышенные требования. Нарушение требований к точности таких параметров является критическим дефектом
4,0	Параметры, являющиеся составляющими или результирующими при расчете точности конструкций по ГОСТ 21780–83, а также влияющие на эксплуатационные свойства объекта контроля. Нарушение требований к точности указанных параметров является значительным дефектом
10,0	Параметры, не входящие в исходные уравнения при расчете точности конструкций по ГОСТ 21780–83 или пригоняемые по месту. Нарушение требований к точности указанных параметров является малозначительным дефектом

Пример. Рассмотрим партию из 3 454 единиц продукции. Назначаем вероятность β = 0,001 и наибольший процент критических несоответствующих единиц 0,2 %.

$p = 0{,}2/100 = 0{,}002$ и $d = Np = 3454 \cdot 0{,}002 = 6{,}908$, которое округляется до $d = 6$.

Из этого следует, что:

$$n = (N - d/2)\left[1 - \beta^{1/(d+1)}\right] = (3454 - 3)\left(1 - 0.001^{1/7}\right) = 3451 \cdot 0{,}62724 = 2164{,}61,$$

которое округляем до $n = 2\ 165$.

План выборочного контроля включает:

– объем выборки n — 2 165;
– приемочное число *Ac* — 0 несоответствующих единиц;
– браковочное число *Re* — 1 несоответствующая единица.

Задание

Найти объем партии (N), необходимый для производства установленного количества единиц продукции (L = 1500) после разрушающего контроля выборки (n) при испытаниях с предположительным отсутствием несоответствий, для вероятности β = 0,001 и числа несоответствующих единиц в партии следует вычислить с округлением в сторону увеличения.

Практическое занятие № 7

ВЫБОР МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

Применяемые для контроля точности методы и средства измерений должны обеспечивать необходимую точность и достоверность этих измерений и назначаться в соответствии с особенностями объекта контроля и контролируемого параметра с учетом их трудоемкости и стоимости.

Точность контрольных измерений должна соответствовать условию:

$$2\delta x_{\text{met}} \leq 0{,}4\Delta x, \tag{7.1}$$

где δx_{met} — предельное значение абсолютной погрешности измерения;

Δx — допуск контролируемого параметра.

При расчете предельных значений погрешностей учитывают случайные и неустранимые систематические погрешности метода и средств измерений.

Обозначения:

x_i, δx_i — определяемый геометрический параметр;

l_i, α_i, β_i — измеренные длина отрезка прямой линии, горизонтальный и вертикальный углы, соответственно;

a_i — отсчет по шкале рулетки, линейки, рейки, взятый по риске (ориентиру) на конструкции, сетке нитей зрительной трубы, нитке или острию отвеса и другому отсчетному устройству;

a'_i — отсчеты при повторном наблюдении, например, при обратной перестановке сосудов гидростатического нивелира, при втором положении вертикального круга зрительной трубы теодолита, по шкале отсчетного устройства микронивелира при его развороте на 180°, при втором горизонте нивелира и т.д.;

l_{oi}, α_{oi} — заранее известные длина или угол;

L — заданный интервал линейного размера;

x, y, z — прямоугольные координаты;

H_i, h_i — действительные отметка и превышение, соответственно;

x_{nom}, y_{nom}, z_{nom}, H_{nom}, h_{nom}, α_{nom}, β_{nom} и т.д. — номинальные значения геометрических параметров;

δx, δy, δz, δH, δh, $\delta\alpha$, $\delta\beta$ и т.д. — отклонения от номинальных значений;

$\delta x_{cor,i}$ — по ГОСТ 26433.0;

R_i, r_i — действительные значения радиусов;

$\rho'' = 206265$ — число секунд в радиане.

Общие требования к выбору методов и средств измерений, выполнению измерений и обработке их результатов — по ГОСТ 26433.0.

Измерения выполняют в соответствии со схемами, приведенными в табл. 7.1.

Предпочтительными являются прямые измерения параметра. При невозможности или неэффективности прямого измерения выполняют косвенное измерение.

Для измерения линейных размеров и их отклонений применяют линейки по ГОСТ 427 и ГОСТ 17435, рулетки по ГОСТ 7502, светодальномеры по ГОСТ 19223 и другие специальные средства измерения, аттестованные в установленном порядке.

Для измерения горизонтальных и вертикальных углов применяют теодолиты по ГОСТ 10529, для измерения вертикальных углов — оптические квадранты по действующей НТД, а для измерения углов между гранями и ребрами строительных конструкций и их элементов — угломеры по ГОСТ 5378 и поверочные угольники по ГОСТ 3749.

Для измерения превышений между точками применяют нивелиры по ГОСТ 10528 и гидростатические высотомеры.

Для измерений отклонений от вертикальности применяют отвесы по ГОСТ 7948 и теодолиты совместно со средствами линейных измерений, а также средства специального изготовления, аттестованные в установленном порядке.

Для измерения отклонений от прямолинейности (створности) и плоскостности применяют теодолиты, нивелиры, трубы визирные, а также средства специального изготовления (стальные струны, разметочный шнур, капроновые лески, плоскомеры оптические, лазерные визиры и др.) совместно со средствами линейных измерений.

Правила измерений, выполняемых штангельинструментом, нутромерами, скобами, калибрами, индикаторами часового типа, щупами, микроскопами, принимают по ГОСТ 26433.1.

Размеры помещений — длину, ширину, высоту измеряют в крайних сечениях, проведенных на расстоянии 50–100 мм от краев и в среднем сечении при размерах помещений свыше 3 м не более 12 м. При размерах свыше 12 м между крайними сечениями измерения выполняют в дополнительных сечениях.

Отклонения от плоскостности поверхностей конструкций и отклонения от плоскости монтажного горизонта измеряют в точках, размеченных на контролируемой поверхности по прямоугольной сетке или сетке квадратов с шагом от 0,5 до 3 м. При этом крайние точки должны располагаться в 50–100 мм от края контролируемой поверхности.

Отклонения от прямолинейности определяются по результатам измерений расстояний реальной линии от базовой прямой в трех точках, размеченных на расстояниях 50–100 мм от ее краев и в середине, или в точках, размеченных с заданным в проекте шагом.

Отклонение от вертикальности определяется по результатам измерения расстояния от отвесной базовой линии до двух точек конструкции, размеченных в одном вертикальном сечении на расстояниях 50–100 мм от верхнего и нижнего обреза конструкции. Вертикальность колонн и сооружений башенного типа контролируется в двух взаимно перпендикулярных сечениях, а вертикальность стен — в крайних сечениях, а также в дополнительных сечениях, в зависимости от особенностей конструкции.

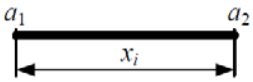
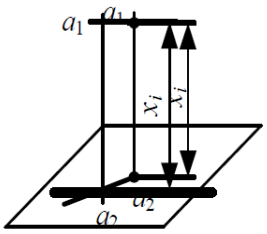
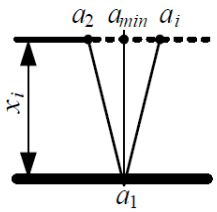
Измерения зазоров, уступов, глубины опирания, эксцентриситетов производятся в характерных местах, влияющих на работу стыковых соединений.

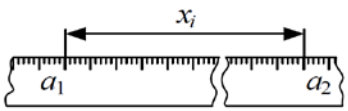
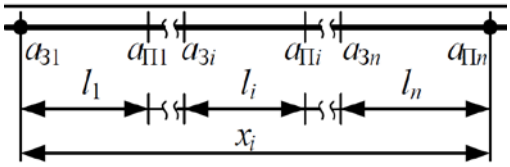
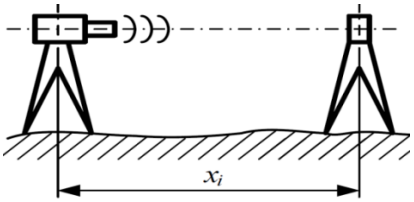
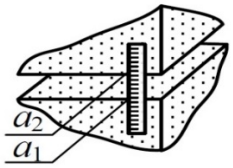
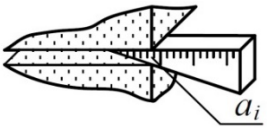
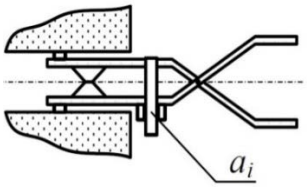
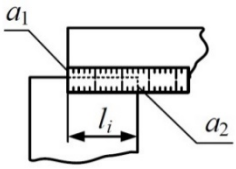
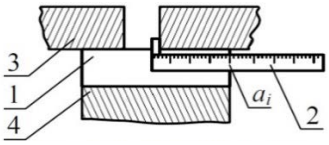
Измерение отклонения элементов конструкций, а также зданий и сооружений от заданного положения в плане и по высоте выполняется в точках, расположенных в крайних сечениях или на расстояниях 50–100 мм от края.

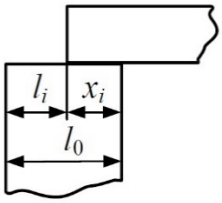
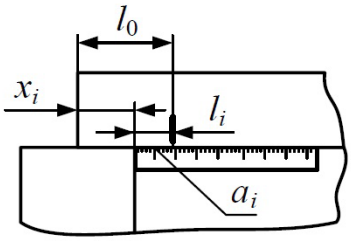
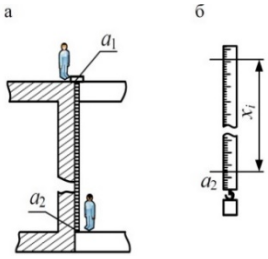
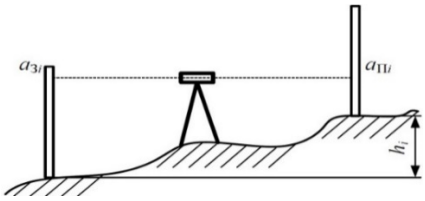
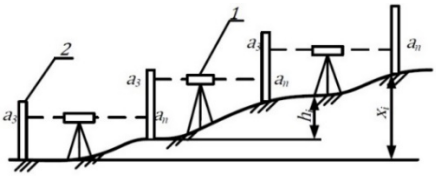
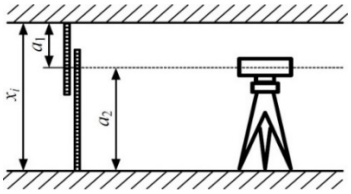
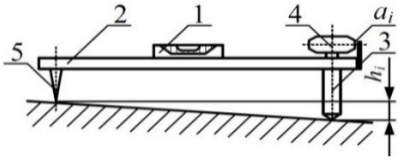
Геодезические пункты разбивочных сетей и ориентиры осей закрепляются на местности и на строительных конструкциях знаками, обеспечивающими требуемую точность разбивочных работ и сохранность ориентиров в процессе строительства и эксплуатации (при необходимости).

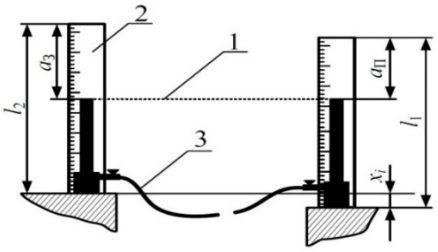
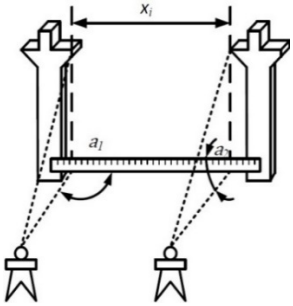
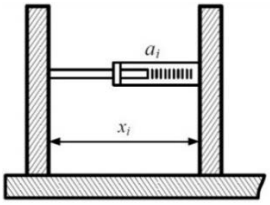
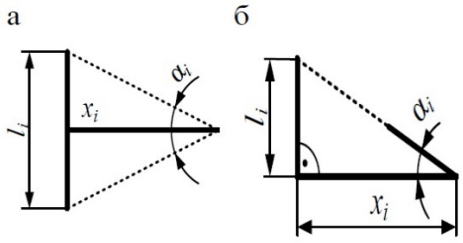
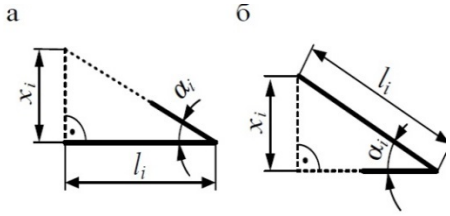
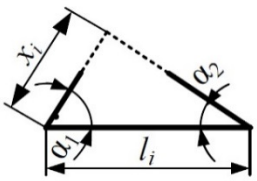
Таблица 7.1

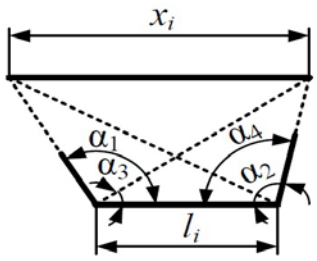
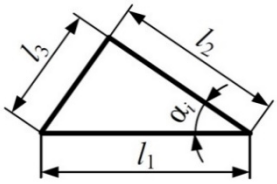
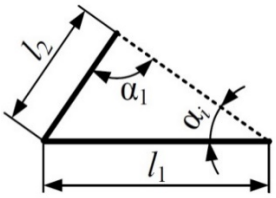
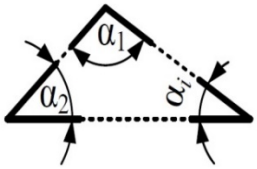
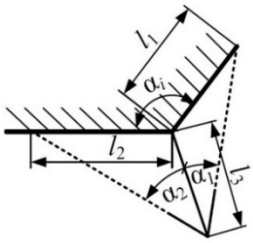
Схемы и примеры применения средств и методов измерений

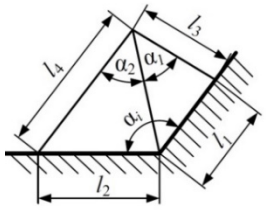
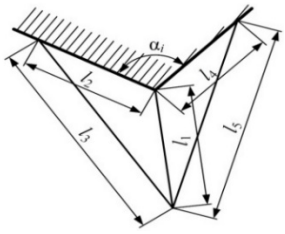
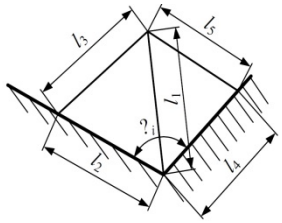
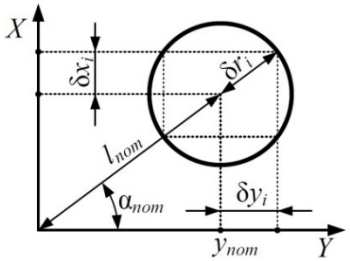
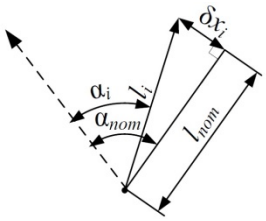
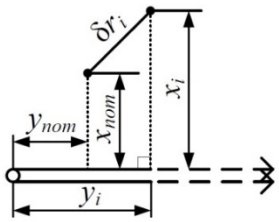
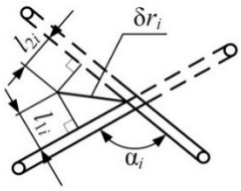
Наименование измеряемого параметра и метода измерений	Схема применения метода и средств измерений	Формула для вычисления измеряемого параметра и пояснения
1. Линейные размеры: длина, ширина, высота, глубина, пролет, зазор, межосевой размер, габаритные размеры и др.		
Измеряются расстояния:		
а) между двумя фиксированными точками		
б) между точкой и прямой, точкой и плоскостью; между двумя параллельными прямыми или плоскостями методом построения и измерения перпендикуляра: с помощью геодезических приборов и других средств угловых и линейных измерений покачиванием линейки, рейки, рулетки в направлениях, обеспечивающих кратчайшее расстояние	 	$x_i = a_{\min} - a_i$, где a_i — начальный отсчет по шкале средства измерения в фиксированной точке; a_{min} — минимальный из отсчетов, полученных в процессе покачивания рейки

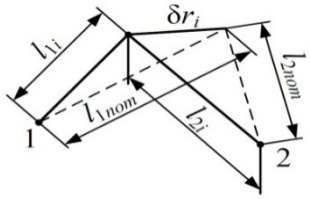
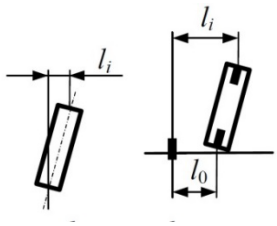
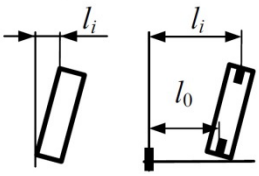
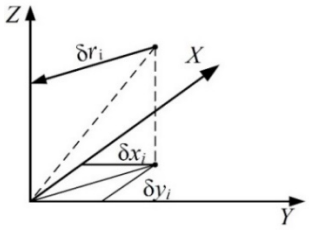
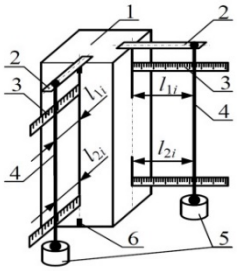
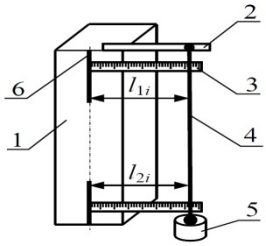
Наименование измеряемого параметра и метода измерений	Схема применения метода и средств измерений	Формула для вычисления измеряемого параметра и пояснения
1.1. Измерение размера рулеткой, линейкой и другими средствами линейных измерений, укладываемых непосредственно в створе измеряемой линии, когда измеряемый размер:		
а) меньше длины мерного прибора		$x_i = a_2 — a_1$, где a_1, a_2 — начальный и конечный отсчеты по шкале средства измерений соответственно;
б) больше длины мерного прибора		$x_i=\Sigma(a_n-a_З)_i+\Sigma\delta x_{cor,i}$, где $a_З$, a_n — отсчеты по рулетке задний и передний по ходу соответственно; $\Sigma\delta x_{cor}$ — сумма поправок по ГОСТ 26433.0, исключающих известные систематические погрешности из результата измерений
1.2. Измерение размера геодезическим светодальномером или радиодальномером		Вычисление по формуле, приведенной в эксплуатационной документации на данный тип дальномера
1.3. Измерение зазора:		
а) линейкой		$x_i = a_2 — a_1$
б) клиновым калибром		$x_i = a_i$ a_i — отсчет по клиновому калибру
в) кронциркулем		$x_i = a_i$
1.4. Измерение глубины опирания:		
а) линейкой в доступном месте		$x_i = l_i = a_2 — a_1$
б) линейкой-щупом в перекрытом сечении через технологическое (например коробка электросети) или специально проделанное отверстие	 *1* — отверстие в несущей стене; *2* — линейка-щуп; *3* — панель перекрытия; *4* — стеновая панель	$x_i = a_i$

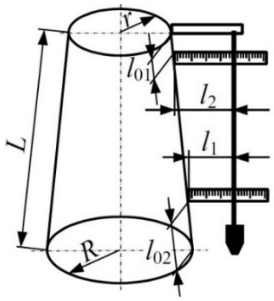
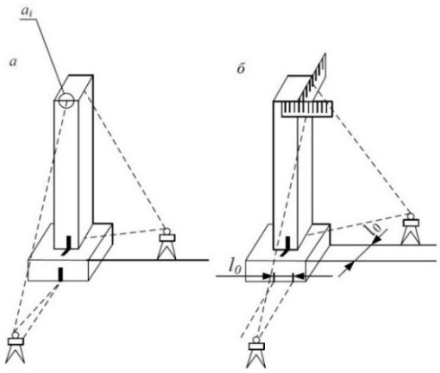
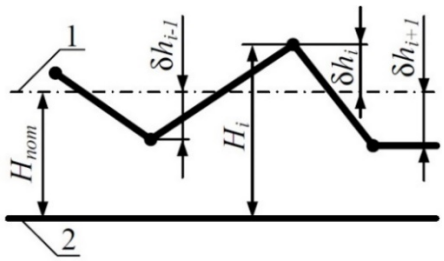
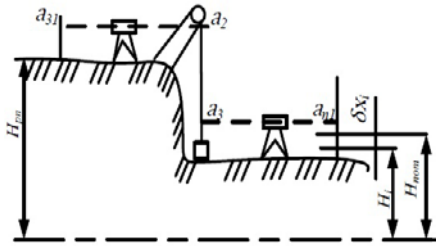
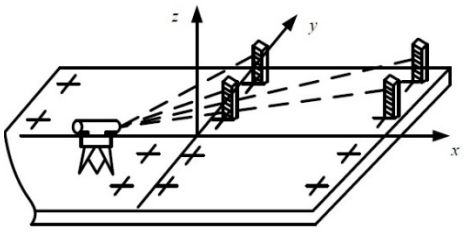
Наименование измеряемого параметра и метода измерений	Схема применения метода и средств измерений	Формула для вычисления измеряемого параметра и пояснения
в) посредством измерений линейкой перекрытой части сечения и толщины несущей стены		$x_i = l_o — l_i$, где l_o — известная или измеренная толщина несущей стены; l_i — измеренная ширина неперекрытой части сечения
г) после укладки плит перекрытий посредством измерения линейкой расстояния от риски на плите перекрытия до несущей стеновой панели; риска на плите перекрытия маркируется заранее, на фиксированном расстоянии от края плиты		$x_i = l_o — l_i$, где l_o — известное расстояние от края плиты до фиксированной риски; l_i — измеренный размер
1.5. Измерение расстояния между горизонтальными плоскостями:		
1.5.1. Измерение рулеткой, рейкой по направлению отвесной линии		а) $x_i = a_2 — a_1$; б) $x_i = a_2 — a_1$
1.5.2. Измерение методом геометрического нивелирования		
а) в пределах одной установки нивелира		$x_i = h_i = a_{3i} — a_{ni}$, где a_3, a_n — отсчеты по задней и передней по ходу рейкам, соответственно
б) при нескольких последовательных установках нивелира	 *1* — нивелир; *2* — рейка	$x_i = \Sigma h_i = \Sigma a_3 - \Sigma a_{ni}$, где a_3, a_n — отсчеты по задней и передней по ходу рейкам, соответственно; i — номер станции
в) при измерении высоты помещения		$x_i = a_1 + a_2$, где a_1, a_2 — отсчеты по рейке, установленной в положение «0» — вверх и «0» — вниз
1.5.3. Измерение методом микронивелирования	 *1* — уровень; *2* — корпус; *3* — подвижный упор; *4*- отсчетное устройство; *5* — неподвижный упор	$x_i = h_i = a_i — M_0$; $M_0 = 1/2(a_i+a_i')$

Наименование измеряемого параметра и метода измерений	Схема применения метода и средств измерений	Формула для вычисления измеряемого параметра и пояснения
1.5.4. Измерение методом гидростатического нивелирования	 *1* — горизонт жидкости; *2* — сосуд; *3* — соединительный шланг; l_i — длина сосудов	$x_i = h_i = a_{пi} — a_{зi} — M_0$; $M_0 = l_1 - l_2 = 1/2(a_n - a_n' - a_з + a_з')$, где $a_з$, $a_п$ — отсчеты по шкалам заднего и переднего сосудов соответственно; $a_з'$, $a_п'$ — то же, при обратной перестановке сосудов; M_0 — место нуля
1.6. Измерение расстояния между двумя недоступными точками методом проектирования точек на линию измерения с помощью теодолита, отвеса или оптического прибора		$x_i = a_2 — a_1$, где a_2, a_1 — отсчеты по рулетке. Рулетка натягивается горизонтально, в одной вертикальной плоскости с измеряемым пролетом. Проектирование с помощью теодолита осуществляется при двух положениях вертикального круга
1.7. Измерение расстояния между двумя вертикальными плоскостями раздвижной рейкой		$x_i = a_i$
1.8. Косвенные измерения линейных размеров:		
1.8.1. Измерение расстояния между двумя фиксированными точками методом параллактического треугольника		а) $x_i = \frac{l_i}{2}\mathrm{ctg}\frac{a_i}{2}$ б) $x_i = l_i \mathrm{ctg}\alpha_i$, где l_i — известный размер; α_i — измеренный горизонтальный угол
1.8.2. Измерение расстояния между фиксированной точкой и прямой		а) $x_i = l_i \mathrm{tg}\alpha_i$; б) $x_i = l_i \sin\alpha_i$
1.8.3. Измерение расстояния до недоступной точки методом микротриангуляции		$x_i = \frac{l_i \sin\alpha_2}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}$

Наименование измеряемого параметра и метода измерений	Схема применения метода и средств измерений	Формула для вычисления измеряемого параметра и пояснения
1.8.4. Измерение расстояния между двумя недоступным точками методом микротриангуляции		$x_{i=}$ $= \sqrt{\frac{\sin^2\alpha_1}{\sin^2(\alpha_1+\alpha_2)} + \frac{sin^2\alpha_3}{\sin^2(\alpha_3+\alpha_4)} - \frac{2\sin\alpha_1\sin\alpha_3\cos(\alpha_4+\alpha_2)}{\sin(\alpha_1+\alpha_2)\sin(\alpha_3+\alpha_4)}}$
2. Угловые размеры: горизонтальные и вертикальные углы; углы образованные пересечением осей и плоскостей:		
2.1. Прямое измерение углового размера методом сравнения со шкалой угломерного прибора (теодолита, квадранта и др.)		α_i, β_i — горизонтальные и вертикальные углы, соответственно, измеряются и вычисляются по методикам и формулам, приведенным в эксплуатационной документации на данный тип угломерного прибора
2.2. Косвенные измерения углового размера:		
2.2.1. Метод построения и решения треугольника:		
а) по трем измеренным сторонам l_1, l_2, l_3		$\alpha_i = \arccos\frac{l_1^2+l_2^2-l_3^2}{2l_1l_2}$
б) по измеренным углу α_1 и по двум сторонам l_1 и l_2		$\alpha_i = \arcsin\frac{l_2\sin\alpha_1}{l_1}$
в) по измеренным двум углам α_1 и α_2		$\alpha_i = 180 - (\alpha_1 + \alpha_2)$
2.2.2. Метод построения и решения двух треугольников:		
а) по измеренным двум углам α_1 и α_2, и трем сторонам l_1, l_2, l_3		$\alpha_{i=}\alpha_1+\alpha_2+$ $+\arcsin\frac{l_3}{l_2}\sin\alpha_2+$ $+\arcsin\frac{l_3}{l_1}\sin\alpha_1$

Наименование измеряемого параметра и метода измерений	Схема применения метода и средств измерений	Формула для вычисления измеряемого параметра и пояснения
		$\alpha_i = \arcsin\frac{l_4}{l_2}\sin\alpha_2 + \arcsin\frac{l_3}{l_1}\sin\alpha_1$
б) по пяти измеренным сторонам l_1, l_2, l_3,l_4, l_5		$\alpha_i = 360^o - \arccos\frac{l_1^2 + l_2^2 - l_3^2}{2l_1l_2} - \arccos\frac{l_1^2 + l_4^2 - l_5^2}{2l_1l_4}$
		$\alpha_i = \arccos\frac{l_1^2 + l_2^2 - l_3^2}{2l_1l_2} + \arccos\frac{l_1^2 + l_4^2 - l_5^2}{2l_1l_4}$
3. Отклонение от заданного положения точки в плане:		
3.1. Косвенные измерения с использованием средств линейных и угловых измерений (теодолит, рулетка и др.)		$\delta r_i = \sqrt{\delta^2 x_i + \delta^2 y_i}$
3.1.1. Метод полярных координат		$\delta a_i = a_i - a_{nom}$ $\delta l_i = l_i - l_{nom}$ $\delta x_i = \sqrt{\frac{l_i^2}{\rho^2}\delta^2\alpha_i + \delta^2 l_i}$
3.1.2. Метод прямоугольных координат		$\delta r_i = \sqrt{(x_i - x_{nom})^2 + (y_i - y_{nom})^2}$
3.1.3. Метод створной засечки		$\delta r_i = \frac{1}{\sin\alpha_i}\sqrt{l_{1i}^2 + l_{2i}^2 + 2l_{1i}l_{2i}\cos\alpha_i}$

Наименование измеряемого параметра и метода измерений	Схема применения метода и средств измерений	Формула для вычисления измеряемого параметра и пояснения
3.1.4. Метод линейной засечки		$\delta r_i = \sqrt{\delta l_{1i}^2 + \delta l_{2i}^2 - 2 l_{1i} l_{2i} \cos\alpha_{\text{nom}}}$; $\delta l_{1i} = l_{1i} - l_{1\text{nom}}$; $\delta l_{2i} = l_{2i} - l_{2\text{nom}}$; $\alpha_{\text{nom}} = 180^{\circ}$.
4. Отклонение от отвесной линии колонн стеновых панелей, стен и других конструкций, и их элементов:		
Измеряются отклонения:		
а) ориентира оси конструкции		а) $\delta x_i = l_i$; б) $\delta x_i = l_i - l_o$
б) поверхности грани (ребра) конструкции		а) $\delta x_i = l_i$; б) $\delta x_i = l_i - l_o$
в) точек закрепления осей при их передаче по вертикали на монтажные горизонты		$\delta r_i = \delta x_i^2 + \delta y_i^2 =$ $= l_{1i}^2 + +l_{2i}^2$;
4.1. Измерение с помощью стального строительного отвеса и линейки:		
а) относительно боковой грани		$\delta x_i = l_{1i} - l_{2i}$
б) относительно ориентиров оси конструкции	 *1* — колонна; *2* — консоль для подвески отвеса; *3*- линейка; *4* — отвес; *5* — сосуд с вязкой жидкостью; *6* — ориентир оси конструкции (установочная риска) *Примечание*: в способе *б)* исключается погрешность изготовления	

Наименование измеряемого параметра и метода измерений	Схема применения метода и средств измерений	Формула для вычисления измеряемого параметра и пояснения
в) относительно боковой грани конструкции, имеющей переменное сечение по высоте		$\delta x_i = l_1 - l_2 + c$, где c — поправка, учитывающая закон изменения размеров сечения. Для колонны, имеющей форму усеченного конуса $c = \frac{R-r}{L}(L - l_{01} - l_{02})$
4.2. Измерения с помощью теодолита и линейки: а) теодолит установлен на разбивочной оси б) теодолит установлен на оси, параллельной разбивочной		а) $\delta x_i = \frac{1}{2}(a_1 + a_1')$ б) $\delta x_i = \frac{1}{2}(a_1 + a_1') - l_{0i}$ где a_i, — отсчеты, полученные при двух положениях вертикального круга *Примечание*: особое внимание следует уделять тщательности юстировки уровня горизонтального круга и приведению его пузырька в нуль-пункт
5. Отклонение точек конструкций и их элементов от проектных отметок на монтажном горизонте, в котловане и т.д.	 *1* — горизонтальная линия или плоскость, расположенные на проектной отметке; *2* — исходная горизонтальная плоскость, служащая началом отсчета отметок или имеющая отметку, равную нулю	$\delta h_i = H_i - H_{nom}$
5.1. Измерение методом геометрического нивелирования при передаче отметки в котлован		$H_i = H_{pn} + a_{з1} - /a_2 - a_3/ - a_{n1}$; $\delta x_i = H_i - H_{nom}$
5.2. Измерение методом геометрического нивелирования при контроле ровности монтажного горизонта		$\delta x_i = \frac{H_{max} - H_{min}}{2}$ где H_{max}, H_{min} — отметки наиболее высокой и низкой точек монтажного горизонта

Пример. Передать проектную отметку +36,00 м по 3-му классу точности ГОСТ 21779 на монтажный горизонт строящегося панельного здания.

1.1 Определяем по ГОСТ 21779 значение допуска $\Delta x = 10$ мм.

1.2 Определяем по ГОСТ 26433.0 предельную и среднюю квадратическую погрешности измерения:

$$\delta x_{\Sigma\text{met}} = 0{,}4 \cdot 10 = 4\text{мм};\ \delta x_{\text{met}} = 0{,}4 \cdot 2{,}5 = 1{,}6\ \text{мм};$$

и принимаем, что суммарные расчетные погрешности не должны превышать величин:

$$\delta x_{\Sigma\text{met}} \leq 4\text{мм};\ \delta x_{\text{met}} \leq 1{,}6\ \text{мм};$$

1.3. Для передачи отметки принимаем метод геометрического нивелирования по схеме измерений приложения 1, пункт 6.1; при этом полагаем, что передача отметки производится двумя нивелирами, двумя нивелирными рейками и металлической рулеткой длиной 50 м и при одновременном снятии отсчетов по рулетке.

1.4. Определяем совокупность факторов, влияющих на суммарную погрешность результата измерений:

- установка пузырька уровня нивелира в нуль-пункт;
- отклонение от параллельности визирной оси и оси уровня (несоблюдение главного условия нивелира);
- отсчет по рейке (рулетке);
- компарирование рулетки;
- компарирование рейки;
- натяжение рулетки;
- установка рейки (рулетки) по вертикали.

1.5. Принимаем принцип равного влияния для всех факторов и, учитывая, что погрешности из-за отклонения реек и рулетки от вертикали оказывают систематическое влияние, а влияние погрешностей компарирования реек и рулетки в связи с одноразовым их применением в конкретном случае можно отнести к случайным, получим:

$$\sigma_i = \frac{\delta x_{\text{met}}}{\sqrt{r + u^2}} = \pm\frac{1{,}6}{\sqrt{12 + 3^2}} = \pm 0{,}35\ \text{мм},$$

где r — количество факторов, оказывающих случайное воздействие на результат измерения;

u — то же, но систематическое.

1.6. Определяем допустимые средние квадратические погрешности регистрации и учета каждого из перечисленных факторов.

1.6.1. Установка пузырька уровня в нуль-пункт:

$$\sigma''_i = \frac{\sigma_i \rho}{l} = \frac{0{,}35 \cdot 2 \cdot 10^5}{50 \cdot 10^3} = \pm 1{,}4\ \text{мм},$$

где σ''_i — погрешность установки пузырька уровня в нуль-пункт;

l — расстояние от нивелира до рейки;

ρ'' — 206265″.

Погрешность установки пузырька контактного уровня находится в пределах 0,04 τ'', где τ'' — цена деления уровня.

Следовательно:

$$\tau'' = \frac{1{,}4''}{0{,}04} = 35'',$$

в связи с чем достаточно использовать нивелир с ценой деления уровня $\tau \leq 30''$. При использовании нивелира Н3, имеющего $\tau = 15''$, будет двойной запас точности по данному фактору.

1.6.2. Отклонение от параллельности визирной оси и оси цилиндрического уровня:

$$\sigma_2 = \pm\frac{1}{2}\Delta S\frac{i''}{\rho''},$$

где $\sigma_2 = \sigma_i$ — погрешность из-за отклонения от параллельности визирной оси и оси цилиндрического уровня;

i — угол между визирной осью зрительной трубы и осью цилиндрического уровня;

S — неравенство плеч.

Полагая, что главное условие соблюдается с погрешностью $i''=\pm10''$, получим допустимое неравенство плеч:

$$\Delta S = \frac{2\sigma_2\rho}{i} = \frac{0{,}35\cdot 2\cdot 2\cdot 10^5}{10} = 14 \text{ м.}$$

1.6.3. Отсчет по рейке (рулетке).

При снятии отсчетов по рейке с шашечными сантиметровыми делениями, установленной на расстоянии 50 м, ошибка однократного отсчета по рейке составит величину порядка ± 1 мм.

1.6.4. Компарирование

Относительная погрешность компарирования рулетки составит:

$$\frac{\sigma_i}{l} = \frac{0{,}35}{36\cdot 10^3} = \frac{1}{100000}.$$

То же, для рейки:

$$\frac{\sigma_i}{l_0} = \frac{0{,}35}{3\cdot 10^3} = \frac{1}{10000},$$

где l_o — длина рейки.

1.6.5. Натяжение рулетки:

$$\sigma_\rho = \frac{\sigma_i EF}{l} = \frac{0{,}35\cdot 19{,}62\cdot 10^4\cdot 1}{36\cdot 10^3} = 1{,}86 \text{ Н},$$

где σ_ρ — погрешность определения натяжения;

σ_i — погрешность измеряемого размера из-за погрешности натяжения;

l — измеряемый размер;

E — модуль Юнга;

F — площадь поперечного сечения полотна рулетки.

При натяжении рулетки гирей следует учитывать массу рулетки.

1.6.6. Установка рейки и рулетки по вертикали:

$$\sigma_{y1} = \sqrt{\frac{\sigma_i 2}{l_0}}\rho'' = 2\cdot 10^5\sqrt{\frac{0{,}35\cdot 2}{3\cdot 10^3}} = 51'.$$

То же, для рулетки:

$$\sigma_{y2} = \sqrt{\frac{\sigma_i 2}{l}}\sigma_{y1} = 2\cdot 10^5\sqrt{\frac{0{,}35\cdot 2}{36\cdot 10^3}} = 14{,}7',$$

где σ_{y1}, σ_{y2} — погрешности установки рейки и рулетки по вертикали.

1.7. Выполняем анализ полученных погрешностей и назначаем методы и средства их обеспечения.

Используются два нивелира Н-3; двусторонние шашечные рейки с сантиметровыми делениями и рулетка металлическая длиной 50 м. Отсчеты по рейкам снимаются по черной и красной стороне при двух горизонтах приборов, в связи с чем погрешность отсчета составит величину $1/\sqrt{4}$ = 0,50 мм, что больше допустимых ± 0,35 мм. Однако это незначительное превышение можно компенсировать натяжением рулетки гирей, масса которой совместно с массой растянутого полотна рулетки определяется с точностью до ± 50 г, что в три раза уменьшит соответствующую погрешность, и установкой реек в вертикальное положение по круглому уровню с ценой деления $10\tau''$, что также уменьшит соответствующую погрешность в 4 раза. Рулетка компарируется на стационарном компараторе с погреш-

ностью 1/100000; длины сантиметровых, дециметровых и метровых интервалов на рейках определяются женевской линейкой, контрольным метром и др.

При соблюдении указанных мероприятий следует ожидать, что с вероятностью $P = 0{,}988$ вынесенная в натуру отметка строительного репера будет находиться в пределах допуска $\Delta x = 10$ мм.

Задание

Передать проектную отметку +42,00 м по 2-му классу точности ГОСТ 21779 на монтажный горизонт строящегося панельного здания.

Библиографический список

1. ГКИНП-02-033-82 Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 : издание официальное : утвержден и введен в действие ГУГК СССР от 9 сентября 1979 г. № 436 n: введен впервые : дата введения 1983-01-01 / разработан Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР. — Москва : Недра, 1979.

2. Методика геодезического мониторинга технического состояния высотныхи уникальных зданий и сооружений. МДС 13-22.2009 / ООО «ТЕКТОПЛАН». — Москва : ОАО «ЦПП», 2010. — 76 с.

3. Методические указания РД 50-98-86 Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм : издание официальное : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 8 июля 1987 г. № 2035 : введен впервые : дата введения 1987-01-07 / разработан ВНИИизмерения Мосстанкин. — Москва : Издательство стандартов, 1987.

4. ПМГ 96-2009 ГСИ. Результаты и характеристики качества измерений. Формы представления : издание официальное : введен впервые : дата введения 2011-01-01 / разработан ВНИИМС. — Москва : Стандартинформ, 2011. — 59 с.

5. Пособие по производству геодезических работ в строительстве к СНиП 3.01.03-84 : издание официальное : дата введения 2013-01-01 / разработан ЦНИИОМТП. — Москва : Стройиздат, 1985.

6. Р 50.2.038-2004 ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений : издание официальное : введен впервые : дата введения 2005-01-01 / разработан ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. — Москва : Стандартинформ, 2011.

7. РМГ 91-2009 ГСИ. Совместное использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения». Общие принципы : издание официальное : дата введения 2015-01-01 / разработан ФГУП ВНИИМ им. Д. И. Менделеева. — Москва : Стандартинформ, 2009.

8. РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения : издание официальное : введен впервые : дата введения 2015-01-01 / разработан ФГУП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. — Москва : Стандартинформ, 2013.

9. РМГ 43-2001 ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений» : издание официальное : введен впервые : дата введения 2003-01-07 / разработан ВНИИМ им. Д.И. Менделеева Госстандарта России. — Москва : Стандартинформ, 2005.

10. Российская Федерация. Градостроительный кодекс Российской Федерации : ГрК № 190-ФЗ: [принят Государственной думой 22 декабря 2004 года : одобрен Советом Федерации 24 декабря 2004 года].

11. Российская Федерация. Законы. Об обеспечении единства измерений : Федеральный за-кон № 102-ФЗ : [принят Государственной думой 11 июня 2008 года : одобрен Советом Федерации 18 июня 2008 года].

12. Российская Федерация. Законы. О техническом регулировании : Федеральный закон № 184-ФЗ : [принят Государственной думой 27 декабря 2002 года : одобрен Советом Федерации 18 декабря 2002 года].

13. Российская Федерация. Законы. Об утверждении Положения о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации : Постановление № 879 : [принят Постановлением Правительства Российской Федерации от 31 октября 2009 года].

14. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон № 384-ФЗ : [принят Государственной думой 23 декабря 2009 года : одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 года].