

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГОУ ВПО ОмГАУ)**

---

**Ю.В. СТОЛБОВ, С.Ю. СТОЛБОВА**

**РАСЧЕТ ДОПУСКОВ И НАЗНАЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ  
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ И СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ  
ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

**Омск  
Издательство ФГОУ ВПО ОмГАУ  
2012**

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГОУ ВПО ОмГАУ)

---

Ю.В. СТОЛБОВ, С.Ю. СТОЛБОВА

РАСЧЕТ ДОПУСКОВ И НАЗНАЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ  
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ И СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ  
ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Учебное пособие

Для студентов по специальности 120100.65 - Прикладная геодезия  
и магистров по направлению 120100.68 - Геодезия

Рекомендовано ученым советом землеустроительного факультета в качестве  
учебного пособия

Омск  
Издательство ФГОУ ВПО ОмГАУ  
2012

УДК 528  
ББК

*Рецензенты:*

**Столбов Ю.В**

## Оглавление

Введение .....	5
1. Классификация допусков и нормативные документы по точности возведения строительных конструкций зданий .....	6
1.1. Классификация допусков точности геометрических параметров в строительстве .....	6
1.2. Нормативные документы по точности возведения строительных конструкций зданий .....	12
2. Методы расчета технологических допусков и назначение точности монтажа строительных конструкций .....	19
2.1. Методы расчета технологических допусков на монтаж строительных конструкций .....	19
2.2. Методика назначения точности монтажа строительных конструкций с учетом показателей ответственности зданий .....	28
3. Исследование точности изготовления и монтажа железобетонных конструкций зданий .....	34
3.1. Теоретические основы статистических исследований точности возведения сборных строительных конструкций .....	34
3.2. Исследование точности изготовления сборных железобетонных конструкций зданий .....	40
3.3. Исследование точности монтажа железобетонных конструкций зданий .....	72
4. Рекомендации по расчету технологических допусков и назначению точности монтажа строительных конструкций .....	74
4.1. Расчет технологических допусков и обоснование точности монтажа строительных конструкций зданий .....	74
4.2. Рекомендации по расчету и назначению точности монтажа строительных конструкций на стадиях проектирования и возведения зданий .....	89
Заключение .....	91
Библиографический список .....	92
Приложения .....	98

## Введение

Капитальное строительство играет важную роль в развитии всего хозяйства страны. Необходимым условием для выполнения заданий по капитальному строительству является повышения уровня индустриализации и качества возведения зданий и сооружений.

Одним из основных показателей качества современного строительства является геометрическая точность возведения зданий и сооружений.

Для качественного строительства тех или иных объектов необходимы обоснованные нормы точности на изготовление конструкций, строительномонтажные и разбивочные работы. Погрешности, возникающие при выполнении этих работ, оказывают влияние на точность геометрических параметров строительных конструкций зданий и на их надежность.

Возникает необходимость расчета и назначения обоснованных допусков на геометрические параметры строительных конструкций зданий. Решение поставленной задачи возможно при разработке совершенных методов расчета и назначения норм точности на различные операции и процессы строительного производства, в том числе и на монтаж строительных конструкций.

Несмотря на ряд исследований, проведенных в нашей стране и за рубежом, вопросы расчета и назначения обоснованной точности монтажа строительных конструкций зданий решена недостаточно. Необходимо совершенствование методов расчета технологических допусков и методики назначения геометрической точности монтажа строительных конструкций.

Технологические допуски на монтаж строительных конструкций, рассчитываемые по известным методам, не учитывают действительных уровней точности изготовления деталей, геодезического обеспечения и технологии строительства, а также показателей ответственности зданий или надежности их конструкций по назначению.

Возникает необходимость в совершенствовании метода расчета технологических допусков и разработки методики назначения точности монтажа строительных конструкций зданий с учетом отмеченных выше факторов, что будет способствовать повышению собираемости конструкций и качества строительства, снижению трудоемкости строительномонтажных работ.

# 1. Классификация допусков и нормативные документы по точности возведения строительных конструкций зданий

## 1.1. Классификация допусков точности геометрических параметров в строительстве

Возведение зданий и сооружений из сборных элементов изменили организационную структуру и технический уровень строительства. В настоящее время здания и сооружения возводят из взаимозаменяемых строительных элементов, изготовленных на специальных предприятиях с определенной точностью их геометрических параметров. Поэтому одним из основных показателей качества современного строительства является точность изготовления и установки строительных конструкций в проектное положение.

Геометрическая точность возведения строительных конструкций должна устанавливаться с учетом функциональных, конструктивных, технологических и экономических требований, предъявляемых к зданиям или сооружениям и их отдельным элементам.

В процессе строительства должны быть созданы условия стабильного положения отдельных элементов, узлов конструкций и всего здания или сооружения в целом с учетом последующих на них воздействий в период эксплуатации.

При изготовлении деталей, производстве геодезических разбивочных работ и монтаже строительных конструкций действует большое количество различных факторов, которые вызывают появление погрешностей в проектных размерах, конструктивной форме и взаимном положении отдельных узлов здания или сооружения. Эти погрешности оказывают влияние на надежность и долговечность строительных конструкций возводимых зданий и сооружений. Поэтому обоснование необходимой и достаточной точности возведения строительных конструкций зданий и сооружений тесно связано с проблемами обеспечения их надежности и долговечности.

Согласно ГОСТ 21778-81 [23] точность геометрического параметра  $x$ , представляющего собой случайную величину, определяют характеристиками точности. Графически характеристики точности геометрических параметров и их взаимосвязь показаны на рис. 1.1.

Расчетные размеры геометрического параметра, приводимые в проекте, называют проектными или номинальными  $x_{ном}$ , а полученные в результате изготовления деталей, выноса проекта в натуру (при условии исключения погрешностей измерения) и установки конструкций в проектное положение называют действительными  $x_i$ .

Точность геометрического параметра характеризуется степенью приближения действительных значений к их номинальной величине.

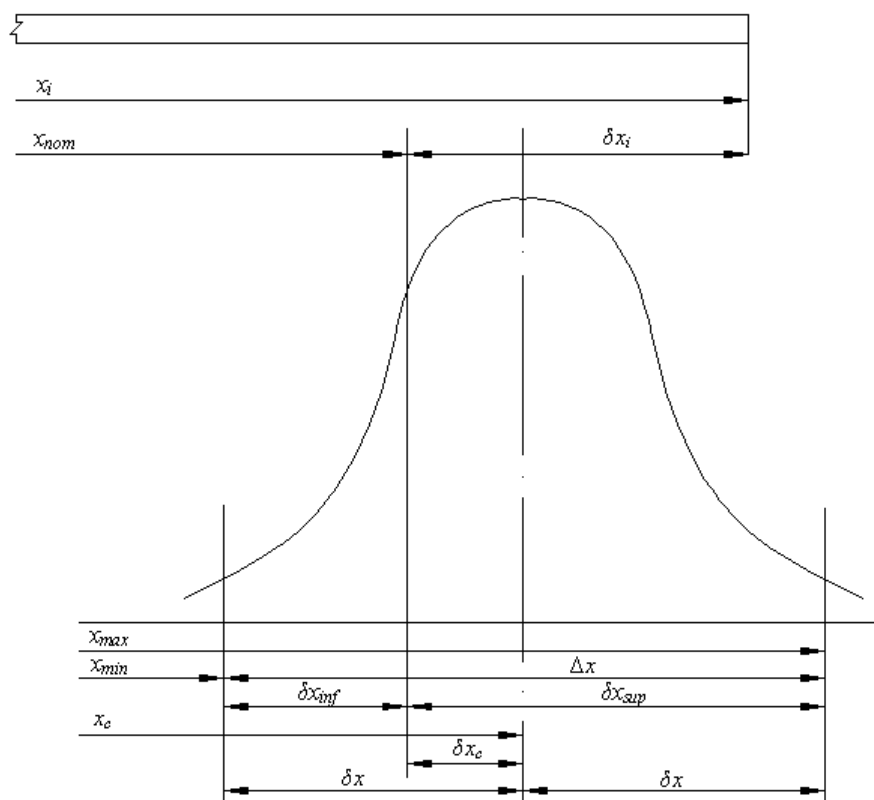


Рис. 1.1. Характеристики точности геометрических параметров

Действительные значения геометрического параметра могут отклоняться от номинальных как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения и принимать максимальное  $x_{max}$  и минимальное  $x_{min}$  предельные значения. Точность геометрического параметра в каждом отдельном случае характеризуется действительной погрешностью или действительным отклонением.

$$\delta_{x_i} = x_i - x_{nom} \quad (1.1)$$

Действительное отклонение  $\delta_{x_i}$  содержит в себе ряд случайных и систематических погрешностей и может принимать  $\delta_{x_{inf}}$  (нижнее) и  $\delta_{x_{sup}}$  (верхнее) предельные отклонения от номинального значения. Интервал между наименьшим и наибольшим предельными значениями геометрического параметра называется полем допуска или просто допуском  $\Delta_x$ . В соответствии с ГОСТ 21778-81 взаимосвязь между характеристиками точности определяют по формулам:

$$x_{min} = x_{nom} + \delta_{x_{inf}} = x_c - \delta_x; \quad (1.2)$$

$$x_{max} = x_{nom} + \delta_{x_{sup}} = x_c + \delta_x; \quad (1.3)$$

$$\Delta_x = 2\delta_x = x_{max} - x_{min} = \delta_{x_{sup}} - \delta_{x_{inf}}; \quad (1.4)$$

$$\delta_{x_c} = x_c - x_{nom} = (x_{max} - x_{min})/2 - x_{nom} = (\delta_{x_{sup}} + \delta_{x_{inf}})/2, \quad (1.5)$$

где  $\delta_x$  – предельное отклонение параметра  $x$  от середины поля допуска  $x_c$ ;

$\delta_{x_c}$  – отклонение середины поля допуска  $x_c$  от номинального значения параметра  $x$ . Значения предельных отклонений  $\delta_{x_{inf}}$  и  $\delta_{x_{sup}}$  подставляют в выражения (1.2)-(1.4) со своими знаками.

Допуски геометрических параметров по характеру своего назначения подразделяются на функциональные и технологические. Точность геометрических

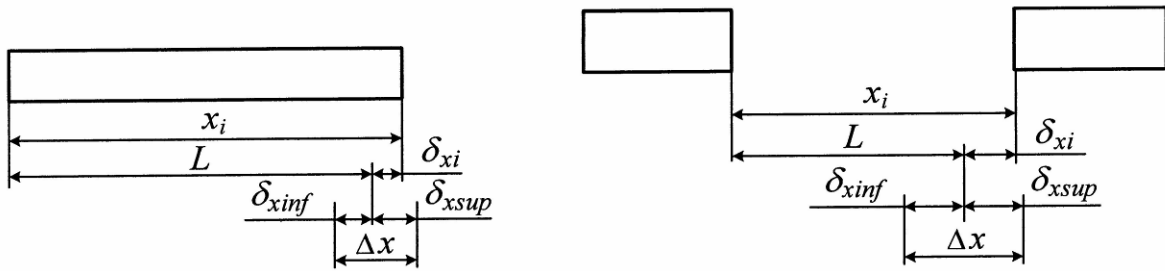
параметров в сопряжениях и точность положения элементов в конструкциях регламентируется функциональными допусками. Функциональные допуски должны удовлетворять оптимальным эксплуатационным требованиям, обеспечивать необходимое качество конструкций и применение промышленных методов их возведения. Значение функциональных допусков определяют по формуле (1.4), где  $x_{min}$  и  $x_{max}$  или  $\delta_{xsup}$  и  $\delta_{xinf}$  принимают исходя из функциональных (прочностных, изоляционных или эстетических) требований к конструкциям. Номенклатура функциональных допусков приведена в ГОСТ 26607-85. Функциональные допуски следует рассматривать как компенсаторы технологических погрешностей, а значит должны проверяться на стадии проектирования расчетом точности геометрических параметров зданий по ГОСТ 21780-83.

Технологические допуски устанавливают точность технологических процессов и операций по изготовлению и установке элементов в проектное положение и выполнению разбивочных работ. Они являются составляющими элементами в расчетах точности функциональных допусков. Основные принципы регламентации, номенклатуру и значения технологических допусков геометрических параметров устанавливает ГОСТ 21779-82.

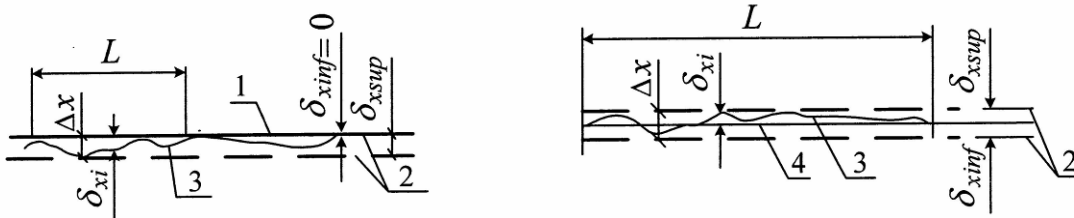
В соответствии с ГОСТ 21779-82, точность изготовления элементов разбивочных работ и установки элементов в проектное положение характеризуют допусками и предельными отклонениями линейных размеров, формы и взаимного положения поверхностей (при изготовлении элементов рис. 1.2.), разбивки точек и осей в плане, передаче точек и осей по вертикали, разбивки и передачи высотных отметок, а также допусками створности точек, перпендикулярности осей и предельными отклонениями от створности точек и от перпендикулярности осей (при разбивочных работах) рис. 1.3; допусками совмещения и отклонениями от совмещения ориентиров (точек, линий, поверхностей) и допусками симметричности и отклонениями от симметричности установки элементов (при установке элементов в проектное положение) рис. 1.4.



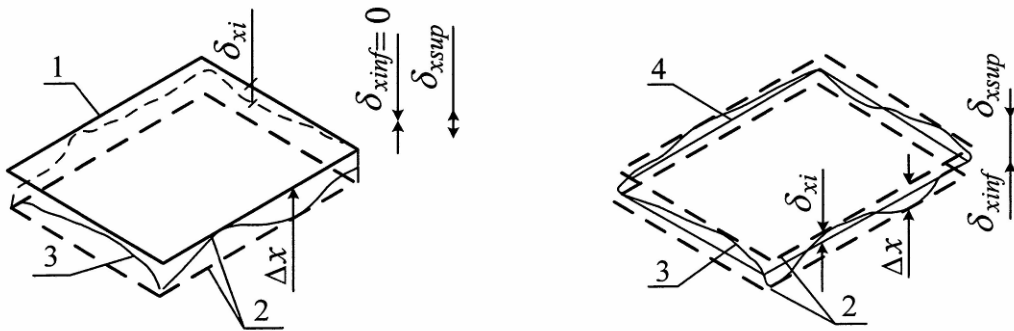
а) Допуск и отклонение от линейных размеров элементов



б) Допуск прямолинейности и отклонение от прямолинейности



в) Допуск плоскостности и отклонение от плоскостности



г) Допуск перпендикулярности

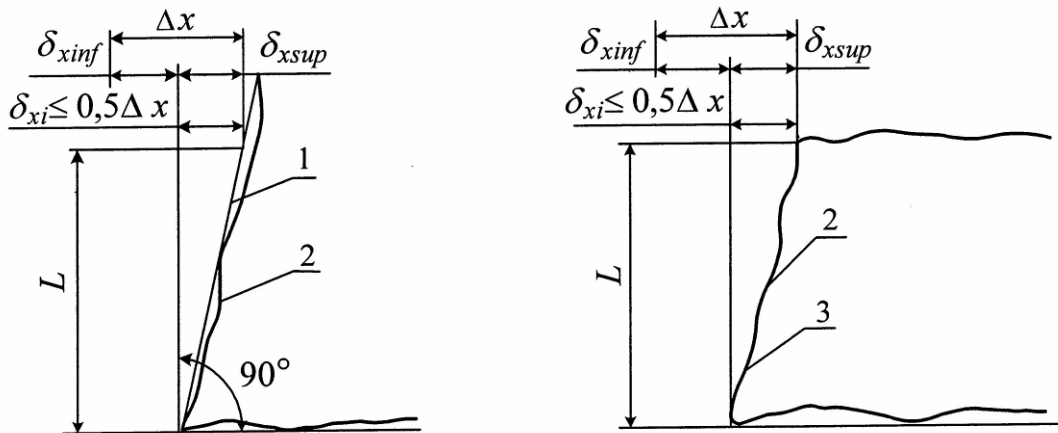
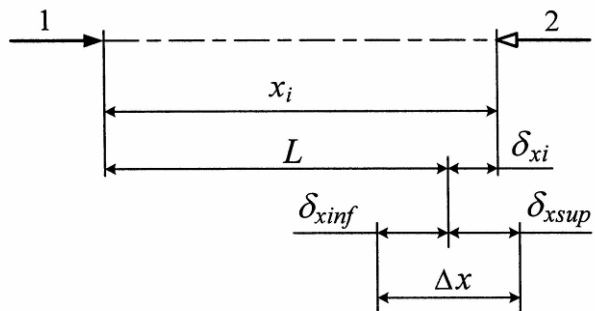


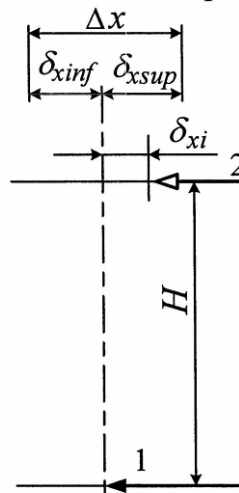
Рис. 1.2. Точность изготовления элементов:

- 1 – условная (прилегающая);
- 2 – прямые (плоскости), ограничивающие поле допуска;
- 3 – реальный профиль (поверхность);
- 4 – условная, проходящая через крайние точки

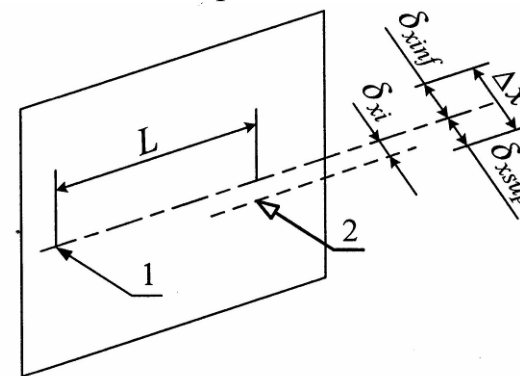
а) Допуск и отклонение разбивки точек и осей в плане



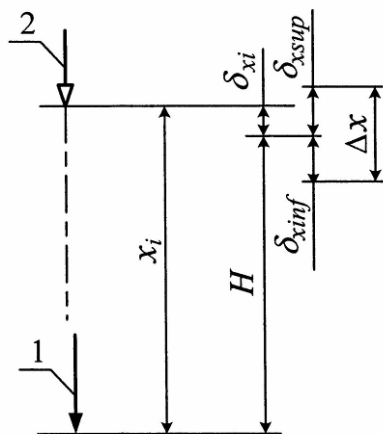
б) Допуск и отклонение передачи точек и осей по вертикали



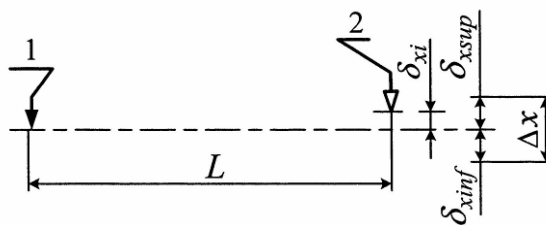
в) Допуск створности и отклонение от створности точек



г) Допуск и отклонение разбивки высотных отметок



д) Допуск и отклонение передачи высотных отметок



е) Допуск перпендикулярности и отклонение от перпендикулярности осей

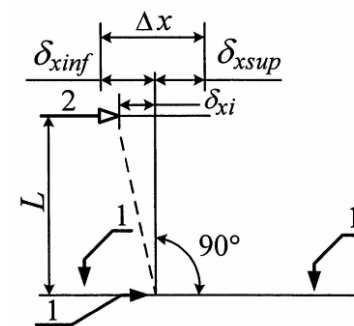
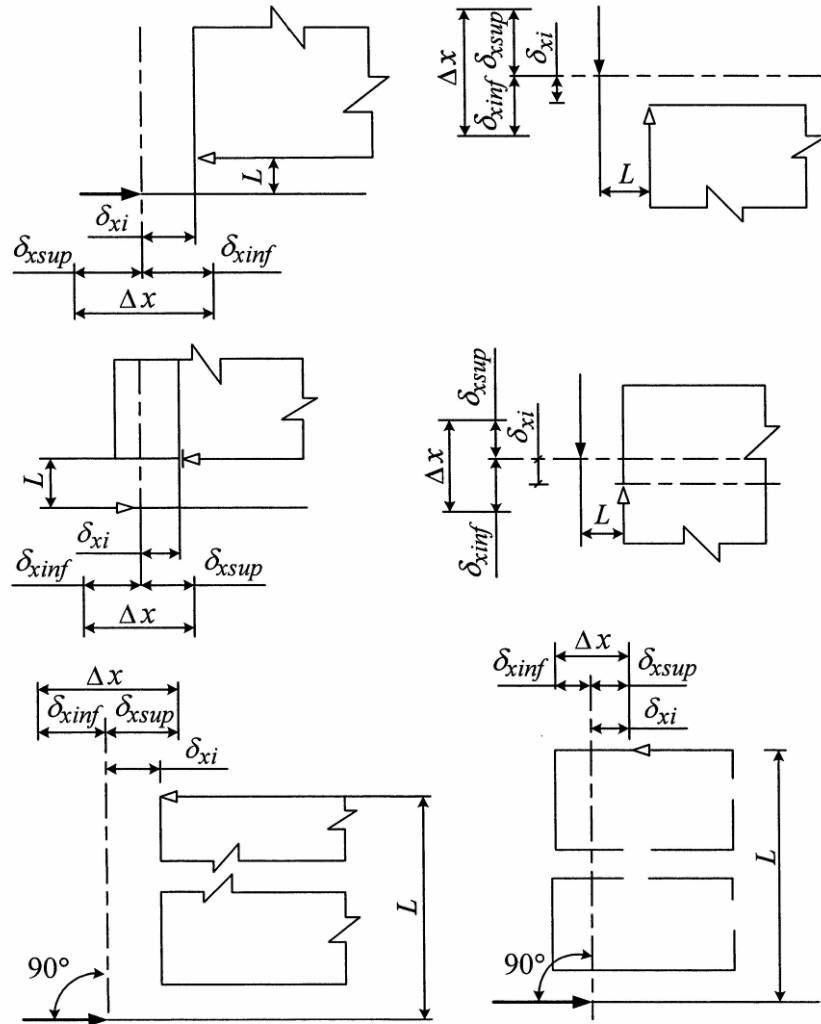


Рис. 1.3. Точность разбивочных работ:

1 – ориентиры, принимаемые за начало отсчета;

2 – ориентиры, устанавливаемые в результате разбивки или передачи

а) Допуск совмещения и отклонение от совмещения ориентиров



б) Допуск симметричности и отклонение от симметричности установки элементов

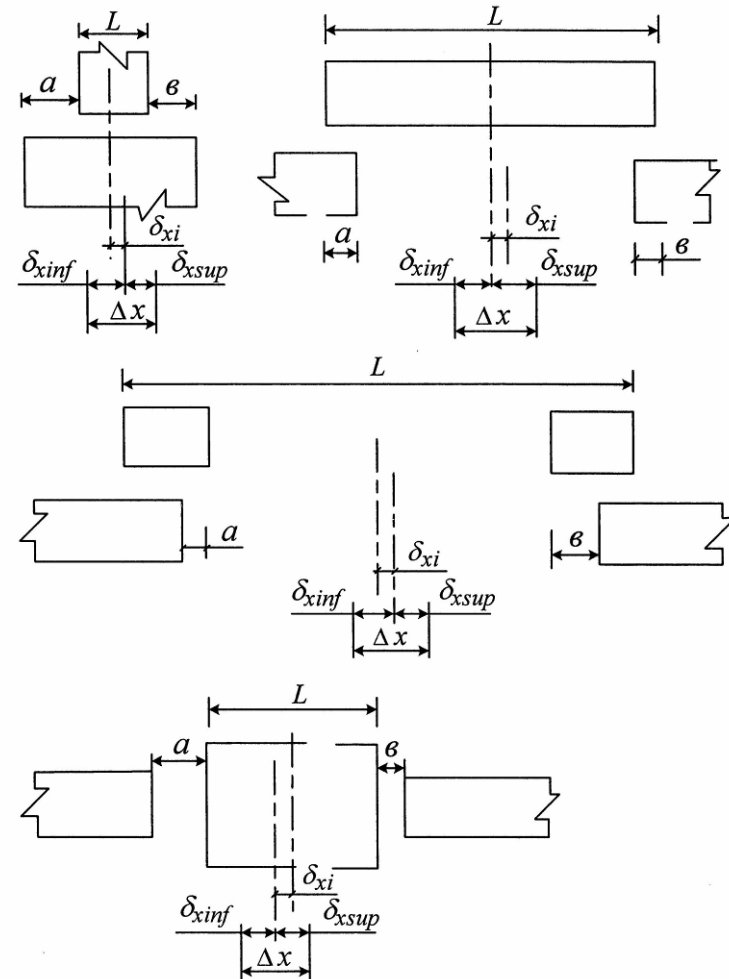


Рис. 1.4. Точность строительно-монтажных работ

## 1.2. Нормативные документы по точности возведения строительных конструкций зданий

На основании норм точности геометрических параметров строительных конструкций, приводимых в нормативных документах (ГОСТ, СНиП, ТУ и др.), назначаются функциональные и технологические допуски на возведение зданий и сооружений, проводятся расчеты и анализ проектной точности. От обоснованности допусков точности, заложенных в нормативных документах, зависит как качество проектных решений, так и качество возведенных по проекту зданий и сооружений.

Поэтому научное обоснование и обеспечение геометрической точности возведения строительных конструкций зданий и сооружений являются одними из важнейших задач в современном строительстве. Нормирование точности строительно-монтажных и разбивочных работ в нашей стране имеет многолетнюю традицию. Следует отметить, что до пятидесятых годов двадцатого столетия, все допуски назначались преимущественно эмпирически, на основе результатов ограниченного опыта. Необходимость в назначении более обоснованных норм точности раньше всего возникла для монтажа стальных конструкций, которые в 40-ых годах были единственным видом индустриальных конструкций производственных зданий и сооружений.

В «Технических условиях ВТУ–04-49» [13], утвержденных в 1949 году, допускаемое отклонение верха стальной колонны многоэтажных зданий рекомендовано определять по выражению:

$$\delta_g^k \leq 0,001L\sqrt{n}, \quad (1.6)$$

где  $L$  – длина элемента колонн в мм;  $n$  – число элементов колонн по высоте. Госстроем СССР в 1956 году были утверждены "Указания по применению сборных железобетонных конструкций и деталей в строительстве" У-107-56 [83].

В этом документе допуск на общее отклонение от вертикали колонн и несущих стен зданий и сооружений, имеющих высоту до 50 метров, рекомендовано определять по формуле:

$$\delta_g^k \leq 0,00185L\sqrt{n}, \quad (1.7)$$

где  $L$  – длина элемента колонн в мм;  $n$  – число элементов колонн по высоте.

Допуски на изготовление деталей в этот период времени регламентировались, утвержденными в 1957 году Госстроем СССР «Техническими условиями на изготовление и приемку сборных железобетонных и бетонных конструкций и деталей» СН–I-57 [77]. Здесь указывалось, что возможные отклонения фактических размеров и форм изделий по длине, ширине и толщине следует устанавливать на каждый вид изделия, но не превышать  $\pm 10$  мм. Допускаемое отклонение разрешалось устанавливать более  $\pm 10$  мм только для конструкций длиной свыше 6 м и шириной более 1,6 м при возможности их монтажа и эксплуатации.

В 1961 году Госстроем СССР, взамен СН-I-57, были утверждены «Технические условия на изготовление и приемку сборных железобетонных и бетонных изделий» СН-I-61 [78]. Госстроем СССР в том же году были утверждены «Указания по монтажу и приемке сборных железобетонных конструкций» СН-180-61 [82]. В этом нормативном документе приведены предельно-допускаемые отклонения от проектных размеров конкретных типов железобетонных конструкций для промышленных зданий и сооружений (прил.1). Эти нормы точности установлены независимо от величины размеров, за исключением балок и ферм покрытий. В СН-180-61 приведены допускаемые отклонения на монтаж сборных железобетонных конструкций промышленных и гражданских зданий и сооружений (прил.2).

Нормативным документом по выполнению геодезических разбивочных работ на стройплощадке в этот период была «Инструкция по топографо-геодезическим работам для городского, поселкового и промышленного строительства» СН-212-62 [34]. Инструкция содержала нормы точности на посадку зданий и сооружений, в зависимости от способов измерений, для двух видов разбивочных работ: вынос в натуру красных линий, осей улиц и главных осей зданий и сооружений. Эти нормы точности установлены без учета конструктивных особенностей зданий и сооружений и технологии производства строительного-монтажных работ.

В 1962 году Госстроем СССР были утверждены ряд нормативных документов по вопросу точности возведения зданий и сооружений. Основным из них являлся СНиП I-A.4-62 «Система допусков. Основные положения» [53], где были приведены основные положения о нормах точности в строительстве и сами допуски на изготовление элементов конструкций, разбивочные и строительного-монтажные работы.

Система допусков в строительстве была построена по принципу группирования предельных погрешностей (отклонений)  $\delta = 3m$  (все главы СНиП) или удвоенного значения предельных погрешностей  $\Delta = 6m$  (только СНиП I-A.4-62) отдельных процессов и операций по возведению зданий и сооружений в классы точности, где  $m$  – средняя квадратическая погрешность. Допуски на изготовление деталей в этой системе определялись подобно системе, принятой в машиностроении ГОСТ, по выражению:

$$\Delta = K \cdot I, \quad (1.8)$$

где  $K$  – коэффициент точности или число единиц допуска;

$I$  – единица допуска, зависящая от размера.

Единица допуска для размеров строительных элементов до 10000 мм (10м) определялась, как и в машиностроении системы ГОСТ, по формуле:

$$I = 0,45\sqrt[3]{L} + 0,001L, \quad (1.9)$$

где  $L$  – размер элемента в мм;  $I$  – единица допуска в мк.

При этом в формуле (1.9) первый член учитывает влияние размера элемента конструкции на точность изготовления, а второй – влияние размера элемента на точность измерения.

При изготовлении элементов конструкций свыше 10000мм (10м), т.е. размеров непредусмотренных в машиностроении системой ГОСТ, единицу допуска рекомендовалось определять по формуле:

$$I = 0,45\sqrt[3]{L} + 0,1\sqrt{L}, \quad (1.10)$$

Для изготовления элементов конструкций в системе строительных допусков принят ряд классов точности по международной системе допусков ИСО, с коэффициентом геометрической прогрессии  $\sqrt[5]{10} \approx 1,6$  [1].

Нумерация классов точности в строительстве на изготовление деталей была принята по машиностроительной системе ГОСТ от 5 – го до 12 – го, т.е. было включено восемь классов точности.

Следует отметить, в отличие от машиностроения система допусков в строительстве была дополнена 6 – м и 12 – м классами точности. Допуски для стальных конструкций назначены были по 6 – 9, а для сборных железобетонных по 9 – 12 классам точности.

На разбивочные работы в строительной системе допусков устанавливались три класса точности в зависимости от расстояний между осями конструкций.

На монтаж конструкций было принято 2 класса точности. При этом, допуски разделены на 4 группы, которые характеризовали: плановое, высотное, вертикальное и взаимное положение сборных элементов и конструкций. При этом допуски на первые три группы приводились непосредственно в СНиП I-A.4-62, а допуски на взаимное положение приводились в СНиП главы III. Одновременно со СНиП I-A.4-62 Госстроем СССР были утверждены и введены в действие строительные нормы и правила на выполнение отдельных видов работ, в которых приводились нормы точности (допускаемые отклонения), в том числе:

- 1) на изготовление железобетонных изделий для зданий и сооружений, СНиП I-B.5.1-62[54];
- 2) на производство и приемку сборных бетонных и железобетонных конструкций, СНиП III-B.3-62[55];
- 3) на изготовление, монтаж и приемку металлических конструкций СНиП III-B.5-62[56].

В первых двух нормативных документах нормы точности незначительно отличались от приведенных в СН-180-61. При сравнении допусков на монтаж железобетонных и стальных элементов можно установить что они, в основном, одинаковы для однотипных конструкций. Здесь следует отметить, если в СНиП I-A.4-62 на монтаж было предусмотрено 2-у класса точности, то в СНиП III-B.3-62 были приведены допускаемые отклонения только по одному, как правило, второму классу точности.

В СНиП III-B.3-62 устанавливались следующие значения допускаемых отклонений для одноэтажных и многоэтажных зданий: на смещение осей колонн в нижнем сечении и на смещение осей ригелей, ферм и балок относительно разбивочных осей -  $\pm 5$  мм, т.е. такими же как в СН-180-61; т.е. на отклонение колонн от вертикали в верхнем сечении при высоте колонн  $H$  в м :до 4,5 м -  $\pm 10$

мм; от 4,5 – 15 м -  $\pm 15$  мм; свыше 15 м –  $0,001H$ , но более 30 мм (только для одноэтажных зданий).

В 1973 году Госстроем СССР, взамен СНиП III-В.3-62, введен в действие СНиП III-16-73. Здесь для одноэтажных зданий, в зависимости от высоты колонн устанавливались следующие отклонения колонн от вертикали : до 10 м -  $\pm 10$  мм, свыше 10 м -  $0,001H$ , но не более 35 мм. Для многоэтажных зданий при высоте колонн  $H$  в м: до 4,5 м -  $\pm 10$  мм; свыше 4,5 м -  $\pm 15$  мм. Допускаемые отклонения на смещение осей колонн, ригелей, ферм или балок относительно геометрических осей опорных конструкций устанавливались равными  $\pm 5$  мм, т.е. такими же как в СН-180-61 и СНиП III-В.3-62.

В 1975 году был утвержден Госстроем СССР СНиП III-2.-75 "Геодезические работы в строительстве" [58]. Точность разбивочных работ по СНиП III-2.75. приведена в табл. 1.1.

В этом нормативном документе регламентировалась точность геодезических работ при построении разбивочной сети на строительной площадке, внешней и внутренних разбивочных сетей зданий и сооружений, геодезического контроля точности геометрических параметров, а также геодезических измерений деформаций оснований. В СНиП III-2.75 на детальные разбивочные работы было установлено шесть классов точности и приведены значения средних квадратических погрешностей на угловые и линейные измерения (см.табл.1.1).

Табл.1.1

Классы точности	Допустимые средние квадратические погрешности измерений при разбивочных работах	
	Угловые измерения, с	Линейные измерения
1	10	1/15000
2	10	1/10000
3	20	1/5000
4	30	1/2000
5	45	1/1000
6	60	1/500

В 1977 году Госстроем СССР были утверждены и введены в действие впервые государственные стандарты системы обеспечения геометрической точности в строительстве: ГОСТ 21778-76 «Основные положения» [18], ГОСТ 21779-76 «Технологические допуски геометрических параметров» [19] и ГОСТ 21780-76 «Общие правила расчета точности» [20], а в 1979 году ГОСТ 23615-79 «Статистический анализ точности» [21] и ГОСТ 23616-79 «Общие правила контроля точности» [22].

Допуски и классы точности в этой системе принимались на изготовление деталей, разбивочные работы и монтаж конструкций по международной системе допусков ИСО с коэффициентом геометрической прогрессии  $\varphi = \sqrt[3]{10} = 1,6$ . Стандартизация значений допусков границ интервалов номинальных размеров  $L$ , а также значений коэффициентов точности  $K$  и  $\varphi$  осуществляется на основе

принципа предпочтительности с использованием рядов предпочтительных чисел  $R = 5$  и  $R = 10$ .

Первые три стандарта были в начале 80-годов пересмотрены и в них были внесены изменения некоторых положений, в том числе, изменено название системы. Она называется теперь системой обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. В 1980 году Госстроем СССР, взамен СНиП III-16-73, введен в действие СНиП III-16-80, в котором предельные отклонения на приемку смонтированных конструкций рекомендовалось назначать проектом на основе расчета геометрической точности с учетом требований СНиП по геодезическим работам в строительстве и ГОСТ 21778-76 [18], 21779-76 [19] и 21780-76 [20]. В случае отсутствия в проекте специальных указаний предельные отклонения положений элементов в конструкциях при приемке относительно осей или рисков должны не превышать, приведенных в таблице значений. Предельные отклонения на смещение осей элементов конструкций относительно разбивочных осей в нижнем сечении практически такие как и в СНиП III-16-73. На отклонение осей колонн зданий и сооружений в верхнем сечении относительно разбивочных осей предельные значения в зависимости от высоты колонн изменились и были приняты равными: до 8 м - 20 мм; свыше 8 м до 16 м - 25 мм; свыше 25 м до 40 м - 40 мм.

Сейчас действуют стандарты: ГОСТ 21778-81 «Основные положения» [23], ГОСТ 21779-82 «Технологические допуски геометрических параметров» [24], ГОСТ 21780-83 «Расчет точности» [25] и ГОСТ 26607-85 «Функциональные допуски» [26], а также ГОСТ 23615-79 и ГОСТ 23616-79.

В ГОСТ 21779-76 для определения единиц допусков на изготовление деталей, разбивочные работы и монтаж конструкций применялись различные формулы при расчете допусков.

В ГОСТ 21779-82 при расчетах допусков на линейные размеры, конфигурации и установки элементов в проектное положение приведена одна формула:

$$I = \alpha_i (0,8 + 0,001\sqrt{L}) \cdot (\sqrt[3]{L + 25} + 0,01\sqrt[3]{L^2}), \quad (1.11)$$

а на разбивочные работы также одна формула:

$$I = \alpha_i \cdot L, \quad (1.12)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент назначаемый в зависимости от вида допуска геометрического параметра (прил. 3).

Следует отметить, что по ГОСТ 21779-76 единица допуска на разбивку осей определялась по выражению  $I = 0,8 L$ , а по ГОСТ 21779-82 рекомендовано по выражению  $I = L$ , т.е. величины допусков на разбивку осей в новой редакции этого стандарта больше на 20%. Значение допусков на изготовление деталей, разбивочные работы и монтаж конструкций, приведены непосредственно в таблицах ГОСТ 21779-82.

Анализ допусков на линейные размеры показывает, что в новой редакции этого стандарта, по сравнению с предыдущей (ГОСТ 21779-76), увеличен интервал номинальных размеров до 60000 мм. Для допусков прямолинейности сохранено 6 классов точности, но изменено значение коэффициента точности



«*K*», для первого класса оно равно 0,25. Также изменено значение коэффициента точности «*K*» для допусков перпендикулярности и оно для первого класса принято равным 0,16 вместо 0,25.

Анализ норм точности на монтаж строительных конструкций показал, что в новой редакции стандарта расширен диапазон интервалов номинальных размеров для допусков совмещения ориентиров до 12 с максимальным значением 60000 мм, а для допусков симметричности установки до 7 интервалов с максимальным значением также 60000 мм.

В 1985 году Госстроем СССР утвержден СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве» [61], взамен СНиП III-2-75, где регламентируется точность геодезических работ при построении разбивочной сети на строительной площадке, внешней и внутренней разбивочных сетей здания или сооружения и других разбивочных работ. В этом нормативном документе приведены значения средних квадратических погрешностей для угловых измерений, для определения превышения на станции и относительной погрешности для линейных измерений. Рекомендации по обеспечению точности геодезических измерений приведены в приложении к СНиП.

Госстроем СССР в 1987 году утвержден СНиП 3.03.01.87 «Несущие и ограждающие конструкции» [62], взамен СНиП III-16-80, где приведены предельные отклонения с рекомендациями контроля точности (метода, объема, вида регистрации). В этом нормативном документе приведены предельные отклонения на отдельные операции при монтаже строительных конструкций одноэтажных и многоэтажных зданий. Здесь приведены следующие нормы точности:

а) предельные отклонения от совмещения ориентиров (рисок геометрических осей, граней) в нижнем сечении установленных элементов с установочными ориентирами (рисками геометрических осей или гранями нижележащих элементов, рисками разбивочных осей) для колонн, ригелей, балок и ферм – 8 мм.

б) предельные отклонения осей колонн одноэтажных зданий в верхнем сечении от вертикали при длине колонн, м: до 4 – 20 мм; свыше 4 до 8 – 25 мм; свыше 8-16 – 30 мм; свыше 16 – 25 – 40 мм.

в) предельное отклонение от совмещения ориентиров (рисок геометрических осей) в верхнем сечении колонн многоэтажных зданий с рисками разбивочных осей при длине колонн, м : до 4 – 12 мм; св. 4 до 8 – 15 мм; св. 8 до 16 – 20 мм; св. 16-25 – 25 мм.

Сравнивая нормы точности на монтаж конструкций в СНиП 3.03.01.-87, с ранее действующими нормативными документами, начиная с 1961 года, можно установить, что допускаемое отклонение ( $\pm 5$  мм) на установку колонн, балок, ферм, ригелей относительно разбивочных осей практически не изменялось вплоть до 1987 года. Нормы точности и на установку колонн по вертикали также, вплоть до 1987 года, изменялись незначительно.

В рассмотренных выше нормативных документах (СНиП I-A.4-62, ГОСТ 21780-76 и ГОСТ 21780-83), допуски на изготовление, разбивочные работы и монтаж строительных конструкций рассчитывали и рассчитывают вероятност-

ным методом и методом максимума-минимума, способ попыток путем пробных расчетов.

Подобные расчеты точности возведения строительных конструкций зданий и сооружений, называемые еще решением прямой задачи, позволяет установить связь погрешностей замыкающего звена с погрешностями составляющих звеньев размерной цепи.

В практике строительства приходится чаще решать обратную задачу, когда по известному проектному допуску замыкающего звена, необходимо определить допуски на составляющие звенья размерной цепи. В рассмотренных стандартах и СНиП нет четких рекомендаций по целесообразному распределению допусков замыкающего звена (суммарного или функционального допуска) между составляющими звеньями (технологическими допусками).

Проведенный анализ нормативных документов по возведению строительных конструкций зданий показал, что вопросам расчета, назначения и обеспечения необходимой точности изготовления деталей, геодезических разбивочных и строительного-монтажных работ уделяется большое внимание. В нормативных документах (государственных стандартах, СНиП, ТУ и др.) систематически корректируются требования по точности возведения зданий и сооружений, в соответствии с развитием науки, техники и технологии строительного производства.

Однако, в рассмотренных стандартах и СНиП нет четких рекомендаций по целесообразному распределению допусков замыкающего звена (суммарного или функционального) между составляющими звеньями размерной цепи (технологическими допусками).

В нормативных документах значения предельных отклонений и допусков приведены без учета показателей уровней производственной базы стройиндустрии, геодезического обеспечения и технологии строительства, а также показателей надежности конструкций по назначению или ответственности зданий и сооружений.

Для устранения отмеченных недостатков нормативных документов необходимы дальнейшие исследования по точности возведения строительных конструкций зданий и сооружений.

## **2. Методы расчета технологических допусков и назначение точности монтажа строительных конструкций**

### **2.1. Методы расчета технологических допусков на монтаж строительных конструкций.**

В нашей стране до середины 50 годов прошлого столетия вопросам точности возведения конструкций зданий недостаточно уделялось внимания. С широким внедрением в практику строительства сборных конструкций эти вопросы заслужили пристального изучения.

В первых работах Л.С. Авиромы [1, 2], К.И. Башлая [6], Б.И. Беляева [7, 8], И.С. Иванушкина [33], В.И. Эглита [87] и других отражены результаты исследований этих авторов по точности возведения строительных конструкций зданий. Результаты этих исследований были положены в основу разработанных нормативных актов по точности возведения зданий и сооружений в нашей стране [53, 54, 55, 56].

В связи с многообразием конструктивных схем различных зданий и сооружений, методов их возведения, применяемых материалов и конструкций, видов строительства, вопросы точности изготовления деталей, разбивочных и строительно-монтажных работ получили дальнейшее изучение.

Технологическому обеспечению точности возведения конструкций зданий посвящены работы Л.С. Авиромы [2], К.И. Башлая [6], Б.И. Беляева [8], В.И. Эглита [87], М.Я. Егнуса, Р.А. Каграманова, А.Л. Левинзона, А. Каковкиной [30, 31], В.Д. Жвана [32], В.А. Калугина [35], М.Р. Мазина [41], С.Ц. Мкртчяна [43], Ю.В. Столбова [67], В.С. Сытника [76], С.Ф. Чернышева [85] и др.

Вопросы влияния точности возведения конструкций на трудоемкость и эффективность строительства зданий нашли отражение в работах Л.С. Авиромы [2, 3], К.И. Башлая [6], Н.С. Воловник [68, 69], М.Я. Егнуса, Р.А. Каграманова, А.Л. Левинзона [30, 31], Д.Ф. Гончаренко [17], С.Ц. Мкртчяна [43], Ю.В. Столбова [68, 69] и др.

Анализу, расчетам и назначению точности возведения строительных конструкций зданий и сооружений посвящены работы Л.С. Авиромы [2, 3], К.И. Башлая [6], Б.И. Беляева [8], С.П. Войтенко [12], А.П. Выпшиса [14], А.Ф. Гаевого [15], Г.Д. Дзяман (Костиной) [27], М.Я. Егнуса [30, 31], И.С. Иванушкина [33], Р.А. Каграманова [30, 31, 50], З.А. Каковкиной [30, 31], К.Л. Каратаева [36], В.А. Клевцова [14], В.С. Клочко [15], И.В. Колечицкой [39, 51], А.Ф. Котлова [38], Д.М. Лаковского [39, 51], В.Ф. Лукьянова [40], М.Р. Мазина [41], В.К. Мисковца [42], П.М. Нагнибеды [44], Н.А. Небылова [45], И.И. Парасониса [14, 47], Я.А. Сокольского [64], Ю.В. Столбова [66, 67], В.С. Сытника [76], В.И. Торкатюка [81], Т.Т. Чмчяна [86], В.И. Эглита [87] и др.

Эти вопросы рассматривали в своих работах и зарубежные ученые и специалисты: Borkowy K. [89], Goretzki W. [90], Heinicke G. [91], Herda M. [92], Priehl H., Runkiewicz L., Szkwerek J.[93].

Выполненные исследования по точности возведения конструкций зданий и сооружений учитывались при пересмотре и введении в действие новых редакций нормативных актов, разработанных ведущими научно-исследовательскими институтами: ЦНИИЭП учебных зданий Госгражданстроя при Госстрое СССР, ЦНИИЭП жилища Госгражданстроя при Госстрое СССР, ЦНИИОМТП Госстроя СССР, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР и др.

Элементы строительных конструкций взаимосвязаны и, сопрягаясь в узлах конструкций зданий, образуют размерные цепи. Поэтому точность их возведения в настоящее время рассчитывают с использованием основных положений теории размерных цепей, заимствованной из машиностроения [9, 29, 84].

Размерная цепь – совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи. Она позволяет объединить в одном уравнении все виды погрешностей, оказывающих влияние на точность возведения конструкций зданий и сооружений. Размерная цепь состоит из составляющих и замыкающих звеньев цепи. Допуски для замыкающих звеньев цепи называют суммарными или функциональными, а для составляющих звеньев цепи - технологическими.

Расчет допусков геометрических параметров проводится на основе выявления размерных связей в конструктивно-технологических схемах зданий, изделий и их элементов, путем составления размерных цепей и решения уравнения точности.

При расчетах размерных цепей и решения уравнения точности может быть два вида задач: прямые и обратные.

Решение прямых задач это определение допусков замыкающих размеров, звеньев цепи. Исходными данными здесь являются допуски составляющих звеньев цепи или технологические допуски. Такие расчеты называются проверочными.

При решении обратных задач исходными являются допуски замыкающих звеньев цепи или суммарные (функциональные) допуски, а определяемыми допуски составляющих звеньев цепи или технологические допуски. Такие расчеты называются проектными.

Для расчетов допусков с применением теории размерных цепей применяют два метода:

- 1) на максимум-минимум (предельных погрешностей или наихудшего случая), который обеспечивает полную взаимозаменяемость деталей и узлов;
- 2) теоретико-вероятностный или вероятностный, который обеспечивает неполную, ограниченную взаимозаменяемость деталей и узлов, исходя из принятой доверительной вероятности  $P$ .

Расчет суммарного допуска (замыкающего звена цепи) при известных технологических допусках (составляющих звеньев цепи) с применением метода максимума-минимума выполняется по выражению [29]:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_1 \pm \Delta_2 \pm \Delta_3 \pm \dots \pm \Delta_{n-1}, \quad (2.1)$$

или

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta_i, \quad (2.2)$$

где  $\Delta_i, \Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_{n-1}$  – максимальные и минимальные значения погрешностей составляющих звеньев цепи (технологических допусков);  $n$  – число звеньев в размерной цепи.

Достоинством такого метода расчета является простота сборки конструкций, выполняемая без подбора и подгонки.

Недостатком этого метода расчета является:

- 1) арифметическое суммирование технологических допусков на размеры или положения элементов конструкций, составляющих размерную цепь, принципиально и практически необоснованно;
- 2) невозможно количественно оценить попадание размера или отклонения замыкающего звена в границе установленного допуска;
- 3) невозможно определить причины выхода размера за границы установленного допуска, если на него действует несколько факторов.

Применение этого метода расчета допусков возможно для размерных цепей с малым числом составляющих звеньев. Здесь заранее предполагается сочетание элементов конструкций с их предельными размерами и отклонениями, что приводит к определению (расчету) преувеличенных суммарных допусков.

Сочетание же элементов конструкций с максимальными погрешностями может происходить в действительности крайне редко. Поэтому расчет допусков методом максимума-минимума не находит широкого применения в строительстве [67].

Необходим метод расчета, позволяющий определять величину предельной погрешности замыкающего звена размерной цепи, без значительного снижения точности составляющих звеньев. Таким методом является теоретико-вероятностный (вероятностный), базирующийся на положениях теории вероятностей.

Здесь предполагается, что погрешности в размерах звеньев цепи и их сочетания при сборке элементов конструкций рассматриваются как события случайные, а распределение погрешностей в размерах или положениях звеньев цепи подчиняются закону нормального распределения с полем распределения от  $+\infty$  до  $-\infty$ .

Расчет суммарного допуска при известных технологических допусках с применением вероятностного метода выполняется по выражениям [9]:

$$\Delta_{\Sigma}^2 = \Delta_1^2 \pm \Delta_2^2 \pm \Delta_3^2 \pm \dots \pm \Delta_{n-1}^2, \quad (2.3)$$

или

$$\Delta_{\Sigma}^2 = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta_i^2, \quad (2.4)$$

где  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_{n-1}$  и  $\Delta_i$  – допуски составляющих звеньев цепи или технологические допуски;  $n$  – число звеньев в размерной цепи.

При законах распределения случайных погрешностей, несколько отличающихся от нормального, в приведенные выше выражения следует включать коэффициент относительного рассеивания  $\lambda$ , который характеризует степень отклонения закона распределения погрешностей  $i$ -го звена от нормального. В этом случае суммарный допуск или допуск замыкающего звена цепи определяется по выражению:

$$\Delta_{\Sigma}^2 = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta_i^2 \cdot \lambda_i^2, \quad (2.5)$$

При проектировании и строительстве зданий и сооружений выполняются и проектные расчеты, когда по значению суммарного (функционального) допуска на возведение строительных конструкций определяются технологические допуски (решение обратной задачи).

В СНиП I-A.4-62 и государственных стандартах системы обеспечения точности геометрических параметров в строительстве как в первой [18, 19, 20], так и во второй редакциях [23, 24, 25] для проверочных и проектных расчетов методами максимума-минимума и вероятностным приведены одни и те же формулы, соответственно (2.2) и (2.4). При этом предполагалось и предполагается расчет размерных цепей выполнять путем подбора или попыток в назначении технологических допусков, т.е. норм точности при изготовлении деталей, геодезических разбивочных работах и монтаже строительных конструкций.

Расчет точности по этим формулам позволяет определять сумму погрешностей составляющих звеньев цепи (суммарных допусков), но не решает вопроса о рациональном распределении этой суммы между составляющими звеньями цепи (технологическими допусками) при решении обратной задачи.

При таких расчетах точности монтажа строительных конструкций зданий и сооружений распределение суммарного (функционального) допуска между технологическими носит приближенный характер. Кроме того, практика возведения зданий и сооружений показывает, что подобранные из СНиП технологические допуски на стадии их проектирования не всегда обеспечивают собираемость их строительных конструкций. Следовательно, рассчитанные таким образом технологические допуски не строго обоснованы.

В государственных стандартах «Системы обеспечения точности геометрических параметров в строительстве» [23, 24, 25] нет рекомендаций по учету показателей ответственности зданий и сооружений при назначении норм точности на возведение их строительных конструкций. Поэтому необходим более совершенный метод расчета технологических допусков на монтаж строительных конструкций на стадиях проектирования и возведения зданий, а также необходима разработка методики расчета назначения точности изготовления деталей, геодезических разбивочных и строительно-монтажных работ.

При проектировании и строительстве зданий и сооружений выполняются чаще проектные расчеты (решение обратных задач), когда из условий эксплуатации назначаются функциональные допуски, а по ним определяют потом технологические, т.е. нормы точности на изготовление деталей, геодезические разбивочные работы и монтаж строительных конструкций. В нормативных доку-

ментах [18, 19, 20, 23, 24, 25, 53] предусматривалось и предусматривается решение таких задач, но других формул кроме (2.2), (2.4), и (2.5) не дается. Проектные расчеты предусмотрено выполнять путем подбора в назначении значений технологических допусков, т.е. способом попыток или пробных расчетов. Но расчеты допусков на составляющие звенья размерной цепи при решении обратных задач (проектные расчеты) можно выполнять теми способами: попыток или пробных расчетов; равных допусков и равной точности.

При расчете способом попыток вопрос о рациональности распределения функционального (суммарного) допуска между технологическими не рассматриваются.

Из практики строительства известно, что подобранные из СНиП допуски на отдельные операции не всегда соблюдаются, вследствие чего нормы точности не всегда будут отвечать требованиям при монтаже строительных конструкций. При расчете размерных цепей вторым способом (равных допусков) допуск замыкающего звена (функциональный) распределяется между допусками составляющих звеньев (технологическими) равномерно.

Средний допуск для всех составляющих звеньев цепи определяется по выражениям:

- для метода максимума-минимума

$$\Delta_{i\text{cp}} = \Delta_{\Sigma} / n - 1; \quad (2.6)$$

- для вероятностного метода

$$\Delta_{i\text{cp}}^2 = \Delta_{\Sigma}^2 / n - 1. \quad (2.7)$$

Вычисленное значение среднего допуска на составляющие звенья можно корректировать исходя из возможности его выполнения. При этом должно соблюдаться условие равенства суммы всех допусков составляющих звеньев величине допуска замыкающего звена цепи. Этот способ проектного расчета допусков на составляющие звенья цепи прост и удобен, но он несколько произволен и его можно применять только для предварительных расчетов, так как при возведении зданий и сооружений размеры звеньев цепи одного порядка практически не встречаются.

Проектные расчеты допусков на составляющие звенья размерной цепи с использованием способа равной точности сводятся к определению коэффициента точности  $K$  или числа единиц допусков [9, 29, 63]. При этом используются основные уравнения при расчетах размерных цепей (2.2) и (2.4). С учетом того, что допуски  $\Delta_i = K_i * I_i$ , эти уравнения можно представить в виде:

- при расчете методом максимума-минимума

$$\Delta_{\Sigma} = K_1 I_1 \pm K_2 I_2 \pm K_3 I_3 \pm \dots \pm K_{n-1} I_{n-1}; \quad (2.8)$$

- при вероятностном методе расчета

$$\Delta_{\Sigma}^2 = K_1^2 I_1^2 \pm K_2^2 I_2^2 \pm K_3^2 I_3^2 \pm \dots \pm K_{n-1}^2 I_{n-1}^2. \quad (2.9)$$

По условию задачи  $K_1 = K_2 = K_3 = \dots = K_{n-1} = K_{cp}$ . Тогда выражение (2.8) и (2.9) можно представить соответственно в виде:

$$\Delta_{\Sigma} = K_{cp} \sum_{i=1}^{n-1} I_i; \quad (2.10)$$

$$\Delta_{\Sigma}^2 = K_{cp}^2 \sum_{n=1}^{n-1} I_i^2 . \quad (2.11)$$

Значения коэффициентов точности  $K_{cp}$  определяется по выражениям:

– при методе максимума-минимума

$$K_{cp} = \Delta_{\Sigma} / \sum_{n=1}^{n-1} I_i ; \quad (2.12)$$

– при вероятностном методе

$$K_{cp}^2 = \Delta_{\Sigma}^2 / \sum_{n=1}^{n-1} I_i^2 . \quad (2.13)$$

По коэффициенту точности  $K_{cp}$  устанавливается класс точности и допуски на все составляющие звенья в размерной цепи.

Как отмечается в работах [9, 29, 63] способ равной точности при расчете размерных цепей в машиностроении позволяет назначать более рациональные допуски. По оценке автора [67] способ равной точности является наиболее приемлемым и для расчета точности возведения зданий и сооружений. Но для применения этого способа был необходим пересмотр системы допусков в строительстве. В разделе 1.2 отмечено, что в системе допусков СНиП 1-А.4-62 нормы точности на изготовление деталей, геодезические разбивочные работы и монтаж конструкций не были связаны между собой едиными параметрами и классами точности. На изготовление деталей было 8 классов точности, на геодезические разбивочные работы 3 класса точности, а на монтаж строительных конструкций 2 класса. Это не позволяло применять этот способ для расчета технологических допусков в строительстве. Необходим был пересмотр системы допусков СНиП 1-А.4-62.

В работе [65] была предложена система допусков СНиП с включением в нее четырех классов точности на геодезические разбивочные и строительномонтажные работы, взаимосвязанные едиными параметрами (размерами), с коэффициентами точности соответственно для 1, 2, 3, и 4 классов: 160 (0,16), 400 (0,4), 1000 (1,0) и 2500 (2,5).

Такие коэффициенты точности отвечали требованиям к 5, 7, 9 и 11 классам в строительстве на изготовление деталей до 1977 года. При этом рекомендовано 4 класса точности с учетом того, что по классификации ЦНИИОМТП Госстроя СССР монтаж конструкций по степени ограничения свободы движения элементов в монтажном цикле подразделяется на 4 метода: свободный, ограниченно-свободный, полупринудительный или трафаретный, принудительный или координатный [65].

Учитывая, что в практике строительства координатный метод монтажа конструкций не получил распространения, а уровень производственной базы стройиндустрии по точности изготовления деталей не всегда соответствует необходимым требованиям, разработчики государственных стандартов «Системы обеспечения геометрической точности в строительстве» при пересмотре системы допусков СНиП 1-А.4-62 предусмотрели на разбивочные работы и монтаж



конструкций 6 классов с коэффициентом точности  $K_i$  соответственно: 0,25; 0,4; 0,64; 1,0; 1,6 и 2,5.

В государственных стандартах как в первой [18, 19, 20], так и во второй редакциях [23, 24, 25] допуски на изготовление деталей, геодезические разбивочные работы и монтаж конструкций взаимосвязаны едиными параметрами (размерами) и классами точности. Это позволяет применять для расчета технологических допусков при возведении строительных конструкций зданий способ равной точности.

Автором предложено выполнять расчет технологических допусков на монтаж строительных конструкций на стадии проектирования зданий вероятностным методом с применением способа равной точности по выражению (2.13).

Определенные таким образом технологические допуски будут являться априорными характеристиками точности, по которым можно проектировать точность технологических операций по изготовлению деталей, геодезических разбивочных и строительно-монтажных работ на стадии проектирования зданий.

Рассчитанные нормы точности на стадии проектирования зданий вероятностным методом с применением способа равной точности будут более обоснованными по сравнению с применением способа попыток.

Однако, как показывают исследования [47, 67, 71, 73, 74, 76], рассчитанные технологические допуски на изготовление и монтаж конструкций не всегда обеспечиваются на практике.

Например, известно, что металлические формы для изготовления деталей выполняют на один-два класса точнее, чем выпускаемые элементы конструкций. На первой стадии их эксплуатации детали могут быть изготовлены точнее, чем требуется, затем формы изнашиваются и точность изготовления деталей будет соответствовать проектным. Далее при эксплуатации они более изнашиваются, но их на предприятиях стройиндустрии не всегда своевременно рихтуют и продолжают эксплуатировать. В результате на строительные площадки часто поступают детали с характеристиками точности геометрических параметров, не соответствующим проектным требованиям.

Следует отметить, что при разных методах монтажа строительных элементов конструкций одна и та же проектная точность может реализована с различной трудоемкостью. Кроме того, по исследованиям многих авторов отмечается, что точность установки колонн по вертикали даже свободным методом монтажа, в основном, соответствует требованиям СНиП, а точность же установки колонн относительно разбивочных осей в нижнем сечении часто не соответствует и превышает в отдельных случаях допускаемые отклонения в полтора-два и более раз [47, 67, 73, 74].

По данным НИИСП Госстроя УССР, свыше 60 % обнаруженных дефектов при возведении зданий и сооружений являются причиной нарушений СНиП и отступлений от проектов, а проведенный НИИСП Госстроя СССР анализ показал, что 50 % брака в строительстве это вина строителей и монтажников, 40 % - поставщиков недоброкачественных материалов, железобетонных элементов

конструкций и 10 % вызваны недостатками проектов, отсутствием нужных инструментов и другими причинами [66].

Все это показывает, что решение обратных задач только по нахождению априорных характеристик точности возведения строительных конструкций зданий и сооружений недостаточно. Необходимо совершенствование метода расчета технологических допусков на стадии возведения зданий и сооружений.

При проектных расчетах точности возведения зданий математически допустимо любое распределение функционального допуска между технологическими при соблюдении условий (2.2) и (2.4).

С технической и экономической точек зрения рациональными будут только такие технологические допуски  $\Delta_i$ , при которых будет минимальная суммарная стоимость возведения строительной конструкции. Для определения таких допусков  $\Delta_i$  необходимо знать зависимости (законы) изменения стоимости от точности выполнения технологических операций при возведении строительной конструкции, т.е.  $C = f(\Delta_i)$ .

Выполненные исследования в нашей стране и за рубежом показали, что общее соотношение между допусками на выполнение проектных размеров сборных конструкций и стоимостью их возведения аппроксимируются гиперболической кривой [30, 31, 43, 68, 69].

Меньшие по величине допуски на размер или положение элементов конструкций труднее выдержать при производстве работ и при этом будет ниже производительность труда и выше стоимость возведения этой строительной конструкции. Назначение излишне жестких допусков на отдельные монтажные операции приводит к повышению трудоемкости и стоимости строительства.

Минимальная суммарная стоимость возведения строительной конструкции, следует полагать, будет при таких значениях технологических допусков, когда одновременно выполняются равенства (2.2) или (2.4) и (2.14):

$$C'_1(\Delta_1) = C'_2(\Delta_2) = C'_i(\Delta_i) = \dots = C'_{n-1}(\Delta_{n-1}), \quad (2.14)$$

где  $C'_i(\Delta_i)$  – стоимость выполнения технологических операций по возведению строительных конструкций с соблюдением равенства (2.2) или (2.4). Это будет идеальный способ распределения суммарного допуска между технологическими.

К сожалению, в практике строительства законы изменения стоимости от точности выполнения технологических операций при возведении строительных конструкций конкретных серий зданий изучены недостаточно. Поэтому в нормативных документах [23, 24, 25] рекомендуются для расчета допусков методы максимума-минимума и вероятностный.

При распределении суммарного допуска между технологическими применяют способы: попыток, равных допусков и равной точности. В работах [9, 29, 67, 68, 84] отмечается, что достаточно близким к рациональному распределению допуска замыкающего звена между составляющими звеньями размерной цепи является способ равной точности. Поэтому при совершенствовании метода расчета технологических допусков на монтаж строительных конструкций на

стадии возведения зданий примем за основу вероятностный метод с использованием способа равной точности.

При разработке проектов производства работ (ППР) необходимо учитывать накопленный опыт строительных организаций по возведению аналогичных объектов, а результаты таких расчетов включать в технологические карты на строительство зданий и сооружений.

В работах [43, 68, 69] приведены исследования по зависимости между точностью и трудоемкостью выверки при монтаже строительных конструкций, которые можно в дальнейшем использовать при расчетах технологических допусков.

Например, в работах [68,69] приведены выборочные характеристики для величин смещений колонн и торцов балок с разбивочных осей в плане, отклонений колонн от вертикали. Установлены следующие зависимости между трудоемкостью выверки и точностью монтажа строительных конструкций применительно к одноэтажным зданиям [69]:

$$t_1 1/(0,011\delta_1 + 0,11); \quad (2.15)$$

$$t_2 1/(0,038\delta_2 + 0,136); \quad (2.16)$$

$$t_3 1/(0,038\delta_3 + 0,088), \quad (2.17)$$

где  $t_1, t_2, t_3$  – продолжительность выверки соответственно при монтаже колонн в плане, по вертикали и балок (ферм), мин.;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$  – допускаемые отклонения (предельные погрешности) соответственно при монтаже колонн в плане, по вертикали и балок (ферм), мм.

Согласно этим исследованиям, трудоемкость установки колонн (с высотой  $H=4-8$  м) по вертикали для одноэтажных зданий по сравнению с трудоемкостью установки колонн в нижнем сечении относительно разбивочных осей для одних и тех же значений допусков будет ниже на 20-30 %. Поэтому распределение функциональных допусков между технологическими с учетом уровня производственной базы стройиндустрии, геодезического обеспечения и технологии строительства, а также трудоемкости монтажа конструкций позволяет рассчитывать и назначать наиболее обоснованные нормы точности возведения зданий.

Следовательно, при расчетах технологических допусков на монтаж строительных конструкций следует учитывать сложившиеся уровни производственной базы по точности изготовления деталей, геодезического обеспечения и технологии строительства (в том числе трудоемкость выполнения отдельных операций по установке элементов в проектное положение).

В результате таких расчетов получим апостериорные характеристики точности на основе статистического анализа действительной точности изготовления деталей, поступающих на строительную площадку, геодезического обеспечения и технологии строительства, а метод расчета можно рассматривать как вероятностно-статистический.

При известной точности изготовления деталей, технологические допуски на разбивочные работы и монтаж конструкций следует рассчитывать по коэффициенту точности  $K_{cp}$  [71]:

$$K_{cp}^2 = \left( \Delta_{\Sigma}^2 - \sum_{n=1}^{n-1} \Delta_{II}^2 \right) / \sum_{n=1}^{n-1} (I_{II}^2 + I_{IM}^2), \quad (2.18)$$

где  $I_{II}$  и  $I_{IM}$  – единицы допусков соответственно на разбивочные работы и монтаж конструкций;  $\Delta_{II}$  – известные допуски на изготовление деталей, обеспечиваемые на данном этапе эксплуатации оснастки.

$$K_i^2 = \left[ \Delta_{\Sigma}^2 - \sum_{n=1}^{n-1} (\Delta_{II}^2 + \Delta_{II}^2) \right] / \sum_{n=1}^{n-1} I_{IM}^2. \quad (2.19)$$

Когда же известен уровень технологии строительства при выполнении отдельных монтажных операций, то допуски на остальные монтажные работы предложено рассчитывать по коэффициенту  $K_i$ , определяемому по выражению [71, 74]:

$$K_i^2 = \left[ \Delta_{\Sigma}^2 - \sum_{n=1}^{n-1} (\Delta_{II}^2 + \Delta_{II}^2 + \Delta_{iMI}^2) \right] / \sum_{n=1}^{n-1} I_{iMO}^2, \quad (2.20)$$

где  $\Delta_{iMI}$  – известные допуски на отдельные монтажные работы, мм;

$I_{iMO}$  – единицы допуска на остальные (точность которых неизвестна) монтажные работы, мм.

Использование такого метода расчета технологических допусков на монтаж строительных конструкций, учитывающего точность изготовления деталей, геодезических разбивочных и отдельных монтажных работ, позволяет определять наиболее обоснованные нормы точности возведения сборных зданий и сооружений.

В п.2.1. отмечалось, что в государственных стандартах «Системы обеспечения точности геометрических параметров в строительстве» [23, 24, 25] нет рекомендаций по учету показателей ответственности зданий и сооружений при назначении норм точности на изготовление деталей, геодезических разбивочных работ и монтажа строительных конструкций.

Поэтому необходима разработка методики назначения точности возведения строительных конструкций с учетом показателей ответственности зданий и сооружений.

## **2.2 Методика назначения точности монтажа строительных конструкций с учетом показателей ответственности зданий.**

Как отмечено выше, погрешности при изготовлении деталей, геодезических разбивочных и строительного-монтажных работ, оказывают влияние на точность возведения конструкций зданий.

Исследования многих авторов показывают, что распределения погрешностей в размерах и положениях строительных элементов, в основном, соответствуют нормальному закону. Также установлено, что элементарные погрешности в положении строительных элементов и узлов суммируются, а суммарные погрешности регламентируют размеры швов, площадок или уступов между ними, сопрягаемых в единой плоскости. При этом, условия сопряжения строительных

элементов обеспечиваются, если положения их не выходят за пределы интервалов соответствующих суммарных допусков.

Следовательно, появляется необходимость рассмотрения задачи определения вероятности попадания в заданный интервал нормальной случайной величины [16]:

$$P(-\infty < x < +\infty) = 1/\sigma \sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty-(x-a)/2\sigma^2} e^{-\dots} \cdot dx, \quad (2.21)$$

где  $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение случайной величины (стандарт);

$a$  - математическое ожидание случайной величины;

$e$  - основание натуральных логарифмов.

Вероятность  $P(-\infty < x < +\infty) = 1$ .

Учитывая, что погрешности в положении строительных элементов вызывают изменение несущей способности, прочности и эксплуатационной надежности сборных зданий, возникает необходимость сужения интервалов погрешностей, а это приведет к уменьшению вероятности  $P$ .

При уменьшении интервалов от  $x_1$  до  $x_2$  вероятность появления значений отклонений размеров, лежащих в этих пределах, будет равна:

$$P(x_1 < x < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} Y \cdot dx = (1/\sigma \sqrt{2\pi}) \int_{x_1}^{x_2-(x-a)/2\sigma^2} e^{-\dots} \cdot dx, \quad (2.22)$$

Введя новую переменную  $t=(x-a)/\sigma$ , называемую нормированной, и учитывая, что  $x=t \sigma+a$  и  $dx=\sigma^*dt$ , выражение (2.22) приводится к виду:

$$P(x_i < x < x_2) = (1/\sqrt{2\pi}) \int_0^{t_2-t^2/2} e^{-\dots} \cdot 2dt - (1/\sqrt{2\pi}) \int_0^{t_1-t^2/2} e^{-\dots} \cdot dt, \quad (2.23)$$

где  $t_1=(x_1-a)/\sigma$ ;  $t_2=(x_2-a)/\sigma$ .

Нормированное распределение позволяет перенести начало координат в центр группирования и к выражению абсцисс в долях  $\sigma$ .

Пользуясь функцией Лапласа [16]:

$$\Phi(t) = (1/\sqrt{2\pi}) \int_0^{t-t^2/2} e^{-\dots} \cdot dt, \quad (2.24)$$

получим

$$P(x_1 < x < x_2) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1). \quad (2.25)$$

Вероятность появления нормируемого значения случайной погрешности в интервале от  $-t_1$  до  $+t_2$  с учетом симметричности кривой нормального распределения, будет равна:

$$P(-t_1 < t < +t_2) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = 2\Phi(t). \quad (2.26)$$

Эта вероятность называется доверительной. Следовательно, определение интервалов погрешностей тесно связано с принятием доверительной вероятности.

Суммарные погрешности в положении строительных элементов или узлов характеризуются предельными отклонениями  $\delta$  и являются результатом на-

копления элементарных погрешностей при возведении сборных зданий. Учитывая это, выражение (2.26) можно представить в виде:

$$P(-t\sigma < \delta < +t\sigma) = 2\Phi(t). \quad (2.27)$$

Длина доверительного интервала погрешностей при этом будет равна  $2t\sigma$ .

В строительстве при решении практических задач, связанных с нормальным распределением погрешностей, приходится рассматривать попадание в интервал относительно математического ожидания (среднего значения). Тогда выражение (2.27) можно представить так:

$$P(x - t\sigma < a < x + t\sigma) = 2\Phi(t). \quad (2.28)$$

Учитывая это, предельные размеры или положения строительного элемента можно выразить:

$$\begin{aligned} x_{\max} &= a + t\sigma; \\ x_{\min} &= a - t\sigma, \end{aligned} \quad (2.29)$$

а тогда допуск размеров или положения будет равен:

$$\Delta = x_{\max} - x_{\min}. \quad (2.30)$$

Задаваясь различными значениями переменной  $t$  можно назначить допустимые погрешности с определенной доверительной вероятностью  $P$ .

Например, при  $t=1; 1,65; 2$  и  $3$  доверительные вероятности принятия интервалов соответственно будут:

$$P(x - \sigma < a < x + \sigma) = 2\Phi(1) = 0,6827; \quad (2.31)$$

$$P(x - 1,65\sigma < a < x + 1,65\sigma) = 2\Phi(1,65) = 0,9010; \quad (2.32)$$

$$P(x - 2\sigma < a < x + 2\sigma) = 2\Phi(2) = 0,9545; \quad (2.33)$$

$$P(x - 3\sigma < a < x + 3\sigma) = 2\Phi(3) = 0,9973. \quad (2.34)$$

Из вышеприведенных выражений видно, что если случайная величина имеет нормальное распределение, то вероятность ее отклонения от своего математического ожидания (среднего значения), не более чем на  $\sigma$  составляет 68,27 %, не более, чем на  $1,65\sigma$  - 90,1 %, не более, чем на  $2\sigma$  - 95,45 % и не более, чем на  $3\sigma$  - 99,73 %.

Расчетная вероятность  $P$  тесно взаимосвязана с интервалом  $2t\sigma$ , которая оказывает влияние на размеры площадок опирания, зазоров, т.е. на показатели точности геометрических параметров и на надежность строительных конструкций зданий. Поэтому при установлении границ допускаемых отклонений и допусков геометрических параметров строительных конструкций необходимо учитывать показатели ответственности зданий или надежности конструкций по назначению.

Под надежностью строительных конструкций следует понимать способность их выполнять заданные функции в период эксплуатации. Другими словами, надежность можно охарактеризовать как вероятность того, что в заданный период эксплуатации не наступит ни одно из недопустимых предельных состояний для строительных конструкций или их элементов.

Способность конструктивных систем выполнять, при заданных условиях возведения и во время эксплуатации, установленные для них функции изучает

прикладная теория надежности. Термин «теория надежности» появился в середине 50-ых годов 20-го столетия, хотя расчеты на надежность проводятся уже давно. Расчет конструкций уже по допускаемым напряжениям (классическим методом) представляет собой способ оценки или обеспечения механической надежности.

Отечественными учеными были разработаны сначала в 1938 году метод расчета конструкций (бетонных, железобетонных и каменных) по разрушающим нагрузкам, а затем и метод по предельным состояниям. С 1955 года метод расчета по предельным состояниям был введен в действие в СССР в качестве единого метода для расчета строительных конструкций, а с 1962 года - для оснований.

При расчетах конструкций по первому предельному состоянию (по несущей способности) в нормах проектирования с 1955 года вместо единого коэффициента запаса были введены три (перегрузок, однородности материалов и условий работы), которые учитывали изменчивость фактических значений нагрузок, прочностных характеристик материалов и условий работы конструкций.

Затраты на возведение конструкций в основном зависят от расходов материалов, эксплуатации машин и оборудования, трудозатрат и в меньшей степени от назначения объектов или ответственности зданий. Показатель же надежности существенно зависит от назначения объектов и показателей ответственности зданий. Поэтому в нормах проектирования гидротехнических сооружений в соответствии с главой СНиП II-A.10-71 (Строительные конструкции и основания. Основные положения) с 1971 года вводится 4-й коэффициент ответственности сооружений или надежности по назначению. При проектировании же других конструкций в этот период показатели ответственности сооружений или надежности по назначению не учитывались, т.к. не были установлены.

В 1981 году в работе [46] к.т.н. В.А. Отставновым, чл. корр. АН СССР А.Ф. Смирновым, д.т.н. В.Д. Райзером и к.т.н. Ю.В. Суховым рекомендованы показатели ответственности для зданий и сооружений различного назначения. Там же предложено в нормах проектирования строительных конструкций при их расчетах по методу предельных состояний использовать систему частных коэффициентов уже из пяти групп: коэффициенты надежности по нагрузкам, коэффициенты надежности (безопасности) по материалу, коэффициенты условия работы, коэффициенты ответственности зданий и сооружений или надежности их конструкций по назначению и коэффициенты надежности по точности геометрических параметров конструкций.

В этом случае главное неравенство при расчете конструкций по первому предельному состоянию – по несущей способности (по прочности или устойчивости), будет иметь вид [75]:

$$\gamma_{ni}/\gamma_{mi} (N^H \cdot \gamma_{fi}) \leq \Phi(S_i; R_i^H; 1/\gamma_{mi}; \gamma_{di}), \quad (2.35)$$

где  $N^H$  – усилия от нормативных нагрузок;

$\Phi$  – функция, соответствующая роду усилия (сжатие, изгиб и т.д.);

$S_i$  – геометрические характеристики сечения;

$\gamma_{fi}$  – коэффициенты надежности по нагрузкам;

$\gamma_{mi}$  – коэффициенты надежности по материалу;

$\gamma_{di}$  – коэффициенты условий работ;

$\gamma_{ni}$  – коэффициенты ответственности зданий и сооружений или надежности конструкций по назначению;

$\gamma_{mi}$  – коэффициенты надежности по точности геометрических параметров конструкций.

Структура коэффициентов  $\gamma_{fi}$ ,  $\gamma_{mi}$ ,  $\gamma_{di}$  достаточно изучена (они применяются с 1955 года). Правила учета степени ответственности зданий и сооружений при проектировании конструкций приведены в [49], а значение коэффициентов надежности по назначению приведены в нормативных документах по расчету строительных конструкций (они применяются с 1981 года).

Значения коэффициентов надежности по точности геометрических параметров еще недостаточно изучены. Предлагается допуски на геометрические параметры строительных конструкций при их возведении назначать с учетом показателей ответственности зданий и сооружений.

В зависимости от ответственности зданий и сооружений, согласно [46], коэффициенты надежности по назначению  $\gamma_{ni}$  рекомендовано принимать равными: 1; 0,95 и 0,9.

С учетом этих показателей ответственности зданий и сооружений, нормы точности (средние квадратические отклонения) при возведении строительных конструкций предложено назначать [71, 73, 74, 75] при:

$$\gamma_n = 1, \quad t = 3, \quad P = 0,997 \quad \sigma = \Delta/6 = \pm \delta/3; \quad (2.36)$$

$$\gamma_n = 0,95, \quad t = 2, \quad P = 0,95 \quad \sigma = \Delta/4 = \pm 2; \quad (2.37)$$

$$\gamma_n = 0,9, \quad t = 1,65, \quad P = 0,9 \quad \sigma = \Delta/3,3 = \pm \delta/1,65. \quad (2.38)$$

При этом размер и положение строительного элемента в процессе изготовления и монтажа может отклоняться от своего проектного или номинального значения ( $x_0$ ) в интервале  $2t\sigma$ . В этом случае границы этого интервала определяют предельные размеры или положения строительного элемента.

В 1988 году введен в действие ГОСТ 27751-88 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету» [88], в которых в 1999 году внесено изменение № 1 по учету ответственности зданий и сооружений. В этом нормативном документе для учета ответственности зданий и сооружений, характеризуемой экономическими, социальными и экологическими последствиями их отказов, установлено три уровня:

I - повышенный; II - нормальный; III - пониженный.

По ГОСТ 27751-88, повышенный уровень ответственности рекомендовано принимать для зданий и сооружений, отказы которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным и экологическим последствиям (резервуары для нефти и нефтепродуктов вместимостью 10000 м<sup>3</sup> и более, магистральные трубопроводы, производственные здания с пролетами 100 м и более сооружения связи с высотой 100 м и более, а также уникальные здания и сооружения). Нормальный уровень ответственности рекомендовано принимать для зданий и



сооружений массового строительства (жилые, общественные, производственные, сельскохозяйственные здания и сооружения). Пониженный уровень ответственности рекомендовано принимать для сооружений сезонного или вспомогательного назначения (парники, теплицы, летние павильоны, небольшие склады и подобные сооружения).

Согласно п.5.2. ГОСТ 27751-88, при расчете несущих конструкций и оснований рекомендовано коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n$ , принимаемый равный: для I уровня по ответственности – более 0,95, но не более 1,2; для II уровня – 0,95; для III уровня – менее 0,95, но не менее 0,8. В примечании к п.5.2. этого стандарта отмечено, что настоящий пункт не распространяется на здания и сооружения, учет ответственность которых установлен в соответствующих документах.

С учетом внесенных изменений в п.5.2. ГОСТ 27751-88, автором предлагается назначать нормы точности (средние квадратические отклонения) при возведении зданий соответственно I, II и III уровней ответственности, определяемых по выражениям (2.36), (2.37) и (2.38).

### **3. Исследование точности изготовления и монтажа железобетонных конструкций зданий**

#### **3.1. Теоретические основы статистических исследований точности возведения сборных строительных конструкций**

Для экспериментальной проверки предложенных метода расчета технологических допусков и методики назначения точности возведения зданий, проведем исследование точности изготовления и монтажа их строительных конструкций на конкретных объектах.

Установить закономерности, которым подчинены массовые случайные явления, можно на основе изучения статистических данных, полученных в результате наблюдений исследуемых объектов. В качестве исследуемых объектов взяты сборные железобетонные конструкции многоэтажных зданий серии 1.020 и одноэтажных производственных зданий унифицированных габаритных схем, возводимых в городе Омске.

Учитывая, что на точность возведения зданий оказывают влияние погрешности изготовления граней колонн, длин ригелей, балок или ферм относительно разбивочных осей и установки колонн по вертикали, были подвергнуты исследованию эти погрешности геометрических параметров конструкций. Оценку точности геометрических параметров конструкций в каркасе здания можно выполнить с применением методов математической статистики и теории вероятностей [12, 16, 28, 37, 52].

На основе статистического анализа устанавливается закономерность распределения действительных значений и их элементов, определяются статистические характеристики точности этих параметров и осуществляется оценка действительной точности.

Выполнение статистического анализа точности осуществлялось в следующей последовательности:

- по результатам наблюдений получали выборки и определяли действительные отклонения параметров от их номинальных значений;
- рассчитывали статистические характеристики действительной точности параметра в выборках;
- проверяли статистическую однородность процесса, стабильность статистических характеристик в выборках и согласие опытного распределения действительных отклонений параметра с теоретическим;
- оценивали точность технологического процесса.

Для изучения результаты наблюдений группировались в вариационные ряды. Совокупности измеренных величин объемом  $N$  разбивали на интервалы шириной  $h$ , которую определяли по формуле Стерджеса [28]:

$$h = \frac{R}{1 + 3,32 \lg N} \quad ; \quad (3.1)$$

$$R = (x_{\max} - x_{\min}), \quad (3.2)$$

где  $x_{\max}$  и  $x_{\min}$  соответственно максимальное и минимальное значение измеряемой величины;  $N$  – число наблюдений.

Формула (3.1.) позволяет построить негромоздкий интервальный ряд, выявляющий характерные черты изучаемого явления. Количество интервалов наблюдений « $k$ » определяется из соотношения  $R/h$ .

Наблюдаемые значения  $x_i$  называют вариантами, числа наблюдений  $n$  – частотами, а их отношение к объему выборки называют относительными частотами или частостями, определяемыми из соотношения:

$$W_i = n_i / N. \quad (3.3)$$

Статистическое распределение выборки это перечень вариантов (интервалов) и соответствующих им частот или частостей. Сумма частот, попавших в соответствующий интервал, принимается в качестве частоты этого интервала. Сумма всех частот равна объему выборки.

В качестве статистической оценки геометрических параметров строительных конструкций принята выборочная средняя взвешенная:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i x_i}{N}. \quad (3.4)$$

где  $n_i$  – частоты;  $k$  – число интервалов;  $N$  – объем выборки.

Рассеивание наблюдаемых значений количественного признака выборки относительно своего среднего значения  $\bar{x}$  характеризуется выборочной дисперсией  $D$  и выборочным средним квадратическим отклонением  $\sigma$ .

$$D = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2}{N}, \quad (3.5)$$

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (3.6)$$

Генеральная дисперсия оценивается с помощью исправленной дисперсии. Она, в отличие от выборочной дисперсии, является несмещенной характеристикой.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}. \quad (3.7)$$

Для оценки среднего квадратического отклонения генеральной совокупности используется «исправленное» среднее квадратическое отклонение, определяемое по формуле:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k n_i (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}. \quad (3.8)$$

Средняя квадратическая погрешность арифметического среднего  $M$  и средняя квадратическая погрешность самой средней квадратической погрешности  $m_m$  определяется по выражениям:

$$M = \frac{m}{\sqrt{N}}, \quad (3.9)$$

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2(N-1)}}. \quad (3.10)$$

Оценки (3.4.) – (3.8.) будут точечными, определяемые одним числом. При небольших объемах выборок следует использовать интервальные оценки, определяемые двумя числами и позволяющие установить точность и надежность оценок.

Для сравнительной оценки полученных из статистической обработки параметров распределения с нормативными величинами определяем доверительные интервалы среднего значения и дисперсии или среднего квадратического отклонения по выборочным характеристикам  $\bar{x}$  и  $m$ .

Для оценки доверительных интервалов задаемся надежностью (доверительной вероятностью)  $P=0,95$  и уровнем значимости (точностью оценки)  $q=0,05$ , учитывая, что исследуемые совокупности измерений имеют ограниченный объем и вероятность появления отклонений, превышающих по абсолютной величине  $2m$ , очень мала.

Для генеральной совокупности доверительные интервалы математического ожидания « $a$ » и стандарта « $\sigma$ » можно определить из выражения [16]:

$$\bar{x} - t \cdot m / \sqrt{N} < a < \bar{x} + t \cdot m / \sqrt{N}, \quad (3.11)$$

$$m - t \cdot m / \sqrt{2 \cdot (N-1)} < a < m + t \cdot m / \sqrt{2 \cdot (N-1)}, \quad (3.12)$$

где  $t$  – нормируемый множитель, зависящий от  $P$ ;  $N$  – объем выборки. Приведенные выше оценки математического ожидания « $a$ » и стандарта « $\sigma$ » являются предельными и справедливыми при больших  $N$ .

При ограниченных объемах выборок, что имеет место у нас, для оценки « $a$ » используется распределение Стюдента и в выражение (3.11) вместо « $t$ » вводится новый коэффициент « $t_q$ » – нормируемый множитель, который зависит не только от  $P$ , но и от количества элементов в выборке. Выражение для оценки « $a$ » при ограниченных объемах выборок будет иметь вид:

$$\bar{x} - t_q \cdot m / \sqrt{N} < a < \bar{x} + t_q \cdot m / \sqrt{N}, \quad (3.13)$$

Для оценок стандарта « $\sigma$ » при ограниченных объемах выборок используется распределение  $\chi^2$  с  $N-1$  степенями свободы:

$$m(1-g) < \sigma < m(1+g), \quad (3.14)$$

где  $m$  – средняя квадратическая погрешность;

$g$  – величина, зависящая от объема выборки и вероятности, которая определяется из выражения (3.15.) или по таблице [16, прил.4]

$$\int_{\sqrt{N-1/(1-g)}}^{\sqrt{N+1/(1+g)}} R(\chi, N) \cdot d\chi = q, \quad (3.15)$$

где  $\gamma$  – заданная надежность;  $R(\chi, N)$  – плотность распределения.

Степень близости эмпирического с теоретическим распределением оценивают с использованием критериев согласия (проверки).

Для первоначального представления об эмпирическом распределении строят гистограмму и кривую теоретического распределения. При этом кривая теоретического распределения строится на основании значений вероятности  $P(x_i)$  по интервалам, соответствующим эмпирическому распределению.

Значение вероятностей определяем при помощи таблиц функций Лапласа [16]:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-t^2/2} \cdot dt, \quad (3.16)$$

где  $t = (a - \bar{x})/m$  или  $t = (b - \bar{x})/m$ ;

$a$  и  $b$  – границы интервала;  $\bar{x}$  – среднее взвешенное;  $m$  – «исправленное» среднее квадратическое отклонение. Однако гистограмма полного представления о характере эмпирического распределения не дает.

Многочисленными исследованиями процессов возведения зданий в нашей стране и зарубежом установлено, что они в основном подчиняются закону нормального распределения. В качестве статистической гипотезы предполагаем, что распределение значений  $x_i$  подчиняются нормальному закону. Это будет нулевая гипотеза.

При проверке нулевой гипотезы могут быть допущены ошибки: первого рода, когда будет отвергнута правильная гипотеза, и второго рода, когда принята неправильная гипотеза. Для наших исследований является наиболее важным устранение ошибки первого рода, а поэтому выбираем достаточно малый уровень значимости  $q = 1 - P = 0,05$ . При таком уровне значимости только в 5% из 100% можно совершить ошибку первого рода, а вероятность появления отклонений, превышающих по абсолютной величине  $2m$ , будет равна 0,05.

В качестве критерия согласия используем «критерий  $\chi^2$ » (хи квадрат) К. Пирсона, отличающийся большой чувствительностью к конкурирующей гипотезе.

При сравнении эмпирических и теоретических (вычисленных в предположении нормального распределения) частот, критерий К.Пирсона должен дать ответ, случайно (незначимо) или неслучайно (значимо) расхождение этих частот.

Для проверки нулевой гипотезы с применением «критерия  $\chi^2$ » К. Пирсона используется случайная величина:

$$\chi_{набл}^2 = \sum_{i=1}^k (n_i - NP(x_i))^2 / NP(x_i), \quad (3.17)$$

где  $n$  – эмпирические частоты;  $NP(x_i)$  – теоретические частоты;  $k$  – число интервалов;  $P(x_i)$  – теоретическая вероятность попадания  $x_i$  в интервал.

$$N = \sum_{i=1}^n n_i. \quad (3.18)$$

Чем меньше будет разница между эмпирическими и теоретическими частотами, тем меньше величина критерия. Это в известной степени будет характеризовать близость эмпирического распределения с теоретическим.

К.Пирсоном доказано, что при  $n \rightarrow \infty$  закон распределения случайной величины (3.17) стремится к  $\chi^2$  – распределению с  $K-1$  степенями свободы [16, 28]. Число степеней свободы определяют по выражению  $K=S-1-r$  где  $S$  – число интервалов,  $r$  – число параметров предполагаемого распределения, которые оцениваются по данным выборки.

Предполагаемое нормальное распределение оценивается двумя параметрами: математическим ожиданием и средним квадратическим отклонением, а поэтому у нас  $r=2$ .

При одностороннем критерии, который более «жестко» отвергает нулевую гипотезу по сравнению с двусторонним, область принятия нулевой гипотезы будет определяться неравенством:

$$\chi_{набл}^2 < \chi_{кр}^2(q, K), \quad (3.19)$$

где  $\chi_{набл}^2$  – вычисленный критерий по данным наблюдений;

$\chi_{кр}^2$  – критическая точка распределения  $\chi^2$ , определяемая по заданному уровню значимости  $q$  и числу степеней свободы  $K$  [16, прил.5].

Критерий К. Пирсона при малых  $\chi^2$  может быть неэффективным. В этом случае следует выполнить дополнительную проверку с применением других критериев.

Например, менее чувствительный к конкурирующей гипотезе является критерий Б.С. Ястремского, который характеризуется [11, 28] величиной

$$J = Q - k/\sqrt{2k + 4\Theta}, \quad (3.20)$$

$$Q = \frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)[1 - P(x_i)]}, \quad (3.21)$$

где  $K$  – число интервалов;  $\Theta=0,6$  при  $K<20$ ;  $n$ –частоты;  $N$ –объем выборки. Нулевая гипотеза принимается при  $I \leq 3$ .

При одинаковых объемах выборок, гипотезу об однородности дисперсий можно проверить упрощенным способом с применением критерия Кочрена:

$$G = |m_i^2|_{\max} / (m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_g^2), \quad (3.22)$$

где  $i$  – номер выборки;  $m_i^2$  – дисперсия;  $g$  – число выборок. Однородной дисперсия считается, если

$$(3.23)$$

где  $G_g$ –табличное значение критерия Кочрена, которое зависит от уровня значимости  $q$ , числа выборок  $g$  и объема  $n_i$  этих выборок.

При различных объемах выборок, проверку нулевой гипотезы об однородности дисперсий можно выполнить при помощи критерия Бартлетта [16]:

$$B = V/C. \quad (3.24)$$

В выражении (3.24)

$$V = 2,303 \left( \sum_{i=1}^g \nu_i \right) \lg(m^2) - \sum_{i=1}^g \nu_i \lg(m_i)^2, \quad (3.25)$$

$$C = 1 + (1 + 3(g - 1)) \cdot \left( \sum_{i=1}^g 1/\nu_i - 1/\sum_{i=1}^g \nu_i \right), \quad (3.26)$$

где  $\nu_i$  – число степеней свободы в выборке;  $m_i^2$  – выборочные дисперсии;  $m^2$  – общая средневзвешенная дисперсия для всей совокупности измерений.

При выполнении неравенства  $B < \chi^2_q$ ,  $\nu$  однородность дисперсий подтверждается, где  $\chi^2_q$ ,  $\nu$  выбирается по таблице критических значений распределения  $\chi^2$ .

Следует отметить, что критерий «B» чувствителен к отклонениям распределений от нормального, а потому к выводам полученным по этому критерию, необходимо относиться осторожно.

При исследовании точности возведения строительных конструкций измеренные смещения монтируемых элементов (колонн, ригелей, балок или ферм) с разбивочных осей и отклонения колонн от вертикали, т.е. их действительные положения, сравниваются с проектным (нулевым), не имеющим количественного выражения ( $x_0 = 0$ ). В связи с этим, полученные в результате измерений погрешности монтажа сборных элементов ( $x_i - x_0 = x_i$ ), будут истинными погрешностями, характеризующими точность установки деталей в проектное положение. Эти погрешности могут иметь как положительные, так и отрицательные знаки, но в одинаковой степени влияющие на несущую способность строительных конструкций зданий. В данном случае погрешности монтажа конструкций следует считать существенно положительными величинами.

При исследовании точности монтажа конструкций статистическая обработка результатов измерений с совокупностью существенно-положительных величин проводится подобно как и с совокупностью случайных величин и сводится к нахождению основных параметров  $\bar{x}$  и  $m$ . Если  $|x| \geq 3m$ , то кривая, описывающая распределение  $x_i$  не будет отличаться от нормальной кривой. В этом случае все значения  $x_i$  будут положительными. Когда же  $|x| < 3m$ , то при этом часть значений будет отрицательной. При математической обработке существенно-положительных величин отрицательные значения будут отнесены к положительным, а это исказит характер распределения и форму нормальной кривой, вызывая ее асимметрию. Чем меньше  $|x|$  по сравнению с  $3m$ , тем больше смещается центр группирования в сторону увеличения и тем значительней искажения и увеличения ее асимметрии. Значение смещенного центра  $\bar{x}_{см}$ , при известном центре нормального распределения  $\bar{x}$ , определяется по выражению:

$$\bar{x}_{см} = \bar{x} \Phi(\bar{x}/m) + \left( 2m/\sqrt{2\pi} \right) e^{-(\bar{x}^2/2m^2)}. \quad (3.27)$$

Здесь параметр  $\bar{x}_{см}$  является оценкой генеральной средней  $a_{см}$ , доверительный интервал которой находится по выражению:

$$\bar{x}_{см} - t_q \left( m/\sqrt{N} \right) < a_{см} < \bar{x}_{см} + t_q \left( m/\sqrt{N} \right). \quad (3.28)$$

### 3.2. Исследование точности изготовления сборных железобетонных конструкций зданий.

Для анализа точности изготовления сборных железобетонных конструкций и определения уровней производственной базы стройиндустрии (с точки зрения обеспечения геометрической точности конструкций, были проведены линейные измерения граней колонн и длин ригелей, балок или ферм многоэтажных зданий серии 1.020 и одноэтажных производственных зданий унифицированных габаритных схем (УГС).

Автором лично выполнены исследования точности изготовления сборных железобетонных элементов (граней колонн, длин ригелей или ферм) четырехэтажного здания серии 1.020 – главного производственного корпуса дрожжевого завода (объект 1), одноэтажного производственного здания с шифром унифицированной габаритной схемы (УГС) Б-18-72-корпуса учебного центра пожарной службы МЧС, возводимых в городе Омске.

При линейных измерениях граней колонн применялся стальной метр с миллиметровыми делениями, а для длин ригелей, балок и ферм стальная двадцатиметровая рулетка с миллиметровыми делениями (ГОСТ 7502-69).

Перед измерениями мерные приборы были прокомпарированы с помощью женеvской линейки при температуре  $+22^{\circ}$ . Поправка за компарирование для стального метра составила  $\Delta L^M_K = +0,05$  мм, а для стальной рулетки  $\Delta L^P_K = +0,07$  мм. Поправки за разность температур воздуха в период компарирования и при измерении железобетонных конструкций определялись по выражению:

$$(3.29)$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения мерных приборов (для стали  $12,5 \times 10^{-6}$ );  $t_K, t_B$  – температура воздуха соответственно при компарировании и измерении;  $L$  – значение измеренных размеров.

Поправки за компарирование ( $\Delta L_K$ ) и за разность температур компарирования и измерений ( $\Delta L_t$ ) вводили в результаты измерений при их обработке. Точность собственного измерения размеров будет зависеть от погрешности отсчетов по метру или рулетке и от погрешности совмещения нулевого штриха метра или рулетки с гранями сборных железобетонных элементов. Примем эти погрешности равными  $m_0 = m_c = \pm 0,5$  мм. Тогда точность собственного измерения будет  $m_{изм.} = m_0 \sqrt{2} = \pm 0,5 \sqrt{2} = \pm 0,7$  мм.

Погрешности в размерах граней колонн и длин ригелей, ферм были сформированы в малые выборки в отдельности по каждому объекту и преобразованы в вариационные ряды. Далее вариационные ряды малых выборок были преобразованы в интервальные, которые обрабатывались с применением методов математической статистики и теории вероятностей, как изложено в разделе 3.1.



Для исследования граней колонн и длин ригелей для объекта 1 были выполнены измерения соответственно с объемом выборок  $N=196$  и  $N=68$ , а граней колонн и длин ферм для объекта 2 соответственно  $N=78$  и  $N=26$ .

Основные параметры распределения, рассчитанные по формулам (3.1)-(3.9), а интервальные оценки по выражениям (3.11)-(3.14), приведены в таблицах: 3.1-3.4 (для объекта 1), 3.5-3.8 (для объекта 2).

При оценке сходимости эмпирического распределения погрешностей в размерах граней колонн с теоретическим по критерию К.Пирсона получено: для объекта 1  $\chi^2_{\text{набл.}}=3,168 < \chi^2_{\text{кр.}}=9,5$ ; для объекта 2  $\chi^2_{\text{набл.}}=2,47 < \chi^2_{\text{кр.}}=9,5$ .

Для объектов 1 и 2 нулевая гипотеза о нормальном законе распределения погрешностей в выборках не вызывает сомнения.

При оценке сходимости эмпирического и теоретического распределений погрешностей в размерах длин ригелей для объекта 1 и длин ферм для объекта 2 соответственно получены:  $\chi^2_{\text{набл.}}=1,057 < \chi^2_{\text{кр.}}=9,5$  и  $\chi^2_{\text{набл.}}=0,987 < \chi^2_{\text{кр.}}=9,5$ .

Полученные значения " $\chi^2$ " показывают, что гипотеза о нормальном законе распределения погрешностей в выборках не вызывает сомнений. Оценка сходимости эмпирических распределений исследуемых совокупностей с нормальными приведены в таблицах 3.2; 3.4 (для объекта 1); 3.6, 3.7; и 3.8 (для объекта 2), а гистограммы эмпирических и кривые теоретических распределений изображены на рис.3.1 и 3.2; (для объекта №1); 3.3 и 3.4 (для объекта 2).

На основании выполненных исследований, была установлена действительная точность изготовления строительных элементов и вычислены допуски.

Для объекта 1 допуски на изготовление граней колонн  $\Delta_{\text{н}}^{\text{к}}=4*\sigma=4*4,03=16,12$  мм, а на изготовление ригелей  $\Delta_{\text{н}}^{\text{р}}=4*\sigma=4*9,76=39,04$ мм.

Для объекта 2 допуски на изготовление граней колонн  $\Delta_{\text{н}}^{\text{к}}=4*\sigma=4*7,13=28,52$  мм, а на изготовление ферм  $\Delta_{\text{н}}^{\text{ф}}=4*\sigma=4*11,66=46,64$ мм.

Кроме того автором совместно с Т.П.Синютиной выполнены исследования точности изготовления строительных конструкций восьмиэтажного здания серии 1.020 – учебного корпуса медицинского института (объект 3), а совместно с С.В. Ляшко трех одноэтажных производственных зданий с шифром унифицированной габаритной схемы Б-18-60 – производственных корпусов дрожжевого завода (объекты 4, 5 и 6), возводимых в городе Омске.

Исследования точности изготовления строительных элементов на этих объектах показали, что погрешности во всех выборках соответствуют закону нормального распределения. Точность (допуски) изготовления строительных конструкций для объектов 3, 4, 5 и 6 приведены в [73, 74], а также в прил.6 и 7. Действительная точность изготовления строительных конструкций на всех рассматриваемых объектах, как показали наши исследования, ниже нормативной.

## Погрешности изготовления граней колонн.

## Объект 1 (главный корпус дрож. завода)

Интервалы		Частота $n_i$	Частость $W_i$	Середина интервала $x_i$	$n_i \cdot x_i$	$x_i - \bar{x}$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2$	$t_1$	$t_2$	$\Phi(t_1)$	$\Phi(t_2)$	Вероятность $P(x_i)$
a	b												
-9	-6	8	0,041	-7,5	-60	-7,88	-63,06	497,09	-2,56	-1,74	-0,4948	-0,4591	0,0357
-6	-3	30	0,153	-4,5	-135	-4,88	-146,48	715,21	-1,74	-0,92	-0,4591	-0,3212	0,1379
-3	0	46	0,235	-1,5	-69	-1,88	-86,60	163,04	-0,92	-0,10	-0,3212	-0,0398	0,2814
0	3	66	0,337	1,5	99	1,12	73,74	82,40	-0,10	0,71	-0,0398	0,2611	0,3009
3	6	36	0,184	4,5	162	4,12	148,22	610,29	0,71	1,53	0,2611	0,4370	0,1759
6	9	9	0,046	7,5	67,5	7,12	64,06	455,91	1,53	2,35	0,4370	0,4906	0,0536
9	12	1	0,005	10,5	10,5	10,12	10,12	102,36	2,35	3,17	0,4906	0,4992	0,0086
		196	1,0		75			2626,30					0,9940

$$\bar{x} = 75 / 196 = 0,38 \text{ мм}$$

$$M = 3,67 / \sqrt{196} = 0,26 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{2626,30 / (196 - 1)} = 3,67 \text{ мм}$$

$$m_m = 3,67 / \sqrt{2 \cdot (196 - 1)} = 0,19 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "a":

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q (N = 196; P = 0,95) = 1,96$$

$$0,38 - 1,96 \cdot 0,26 < a < 0,38 + 1,96 \cdot 0,26 \Rightarrow -0,13 \text{ мм} < a < 0,73 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g (N = 196, P = 0,95) = 0,098$$

$$3,67 \cdot (1 - 0,098) < \sigma < 3,67 \cdot (1 + 0,098) \Rightarrow 3,31 \text{ мм} < \sigma < 4,03 \text{ мм}$$

**Оценка сходимости эмпирического распределения.**  
**Объект 1 (главный корпус дрож. завода). Критерий Пирсона**

Интервалы		Частота $n_i$	$P(x_i)$	$NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-9	-6	8	0,0357	6,997	1,003	1,006	0,144
-6	-3	30	0,1379	27,028	2,972	8,830	0,327
-3	0	46	0,2814	55,154	-9,154	83,803	1,519
0	3	66	0,3009	58,976	7,024	49,331	0,836
3	6	36	0,1759	34,476	1,524	2,321	0,067
6	9	9	0,0536	10,506	-1,506	2,267	0,216
9	12	1	0,0086	1,686	-0,686	0,470	0,279
		196					3,39

При  $K = 7$ , число степеней свободы равно 4.  $\chi^2(0,05; 4) = 9,5$ .

Таким образом,  $3,39 < 9,5$ . Нулевая гипотеза не отвергается.

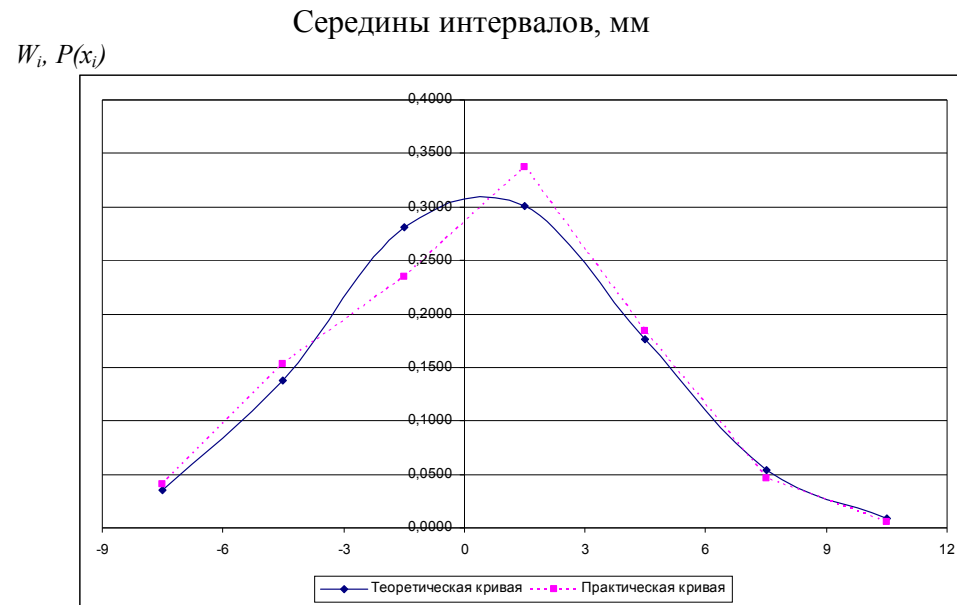


Рис. 3.1. Погрешности изготовления граней колонн.  
Объект 1 (главный корпус дрож. завода)



Рис. 3.2. Погрешности изготовления длин ригелей.  
Объект 1 (главный корпус дрож. завода)

**Погрешности изготовления длин ригелей.  
Объект 1 (главный корпус дрож. завода)**

Интервалы		Частота $n_i$	Частость $W_i$	Середина интервала $x_i$	$n_i \cdot x_i$	$x_i - \bar{x}$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2$	$t_1$	$t_2$	$\Phi(t_1)$	$\Phi(t_2)$	Вероятность $P(x_i)$
a	b												
-18	-12	4	0,059	-15	-60	-15,71	-62,82	986,70	-2,26	-1,53	-0,4881	-0,4370	0,0511
-12	-6	10	0,147	-9	-90	-9,71	-97,06	942,04	-1,53	-0,81	-0,4370	-0,2910	0,1460
-6	0	19	0,279	-3	-57	-3,71	-70,41	260,94	-0,81	-0,09	-0,2910	-0,0359	0,2551
0	6	18	0,265	3	54	2,29	41,29	94,73	-0,09	0,64	-0,0359	0,2389	0,2748
6	12	10	0,147	9	90	8,29	82,94	687,92	0,64	1,36	0,2389	0,4131	0,1742
12	18	6	0,088	15	90	14,29	85,76	1225,93	1,36	2,08	0,4131	0,4812	0,0681
18	24	1	0,015	21	21	20,29	20,29	411,85	2,08	2,81	0,4812	0,4975	0,0163
		68	1,0		48			4610,12					0,9856

$$\bar{x} = 48 / 68 = 0,71 \text{ мм}$$

$$M = 8,30 / \sqrt{68} = 1,01 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{4610,12 / (68 - 1)} = 8,30 \text{ мм}$$

$$m_m = 8,30 / \sqrt{2 \cdot (68 - 1)} = 0,72 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "a":

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q (N = 68; P = 0,95) = 1,997$$

$$0,71 - 1,997 \cdot 1,01 < a < 0,71 + 1,997 \cdot 1,01 \Rightarrow -1,31 \text{ мм} < a < 2,73 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g (N = 68, P = 0,95) = 0,177$$

$$8,30 \cdot (1 - 0,177) < \sigma < 8,30 \cdot (1 + 0,177) \Rightarrow 6,83 \text{ мм} < \sigma < 9,77 \text{ мм}$$

**Оценка сходимости эмпирического распределения погрешностей длин ригелей.**

**Объект 1 (главный корпус дрож. завода). Критерий Пирсона**

Интервалы		Частота $n_i$	$P(x_i)$	$NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-18	-12	4	0,0511	3,475	0,525	0,276	0,079
-12	-6	10	0,1460	9,928	0,072	0,005	0,001
-6	0	19	0,2551	17,347	1,653	2,733	0,158
0	6	18	0,2748	18,686	-0,686	0,471	0,025
6	12	10	0,1742	11,846	-1,846	3,406	0,288
12	18	6	0,0681	4,631	1,369	1,875	0,405
18	24	1	0,0163	1,108	-0,108	0,012	0,011
		68					0,97

При  $K = 7$ , число степеней свободы равно 4.  $\chi^2(0,05; 4) = 9,5$ .

Таким образом,  $0,97 < 9,5$ . Нулевая гипотеза не отвергается.

## Погрешности изготовления граней колонн.

## Объект 2

Интервалы		Частота $n_i$	Частость $W_i$	Середина интервала $x_i$	$n_i \cdot x_i$	$x_i - \bar{x}$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2$	$t_1$	$t_2$	$\Phi(t_1)$	$\Phi(t_2)$	Вероятность $P(x_i)$
a	b												
-15	-10	3	0,038	-12,5	-37,5	-13,27	-39,81	528,22	-2,22	-1,51	-0,4868	-0,4345	0,0523
-10	-5	15	0,192	-7,5	-112,5	-8,27	-124,04	1025,70	-1,51	-0,81	-0,4345	-0,2910	0,1435
-5	0	20	0,256	-2,5	-50	-3,27	-65,38	213,76	-0,81	-0,11	-0,2910	-0,0438	0,2472
0	5	19	0,244	2,5	47,5	1,73	32,88	56,92	-0,11	0,60	-0,0438	0,2257	0,2695
5	10	12	0,154	7,5	90	6,73	80,77	543,64	0,60	1,30	0,2257	0,4032	0,1775
10	15	7	0,090	12,5	87,5	11,73	82,12	963,28	1,30	2,00	0,4032	0,4772	0,0740
15	20	2	0,026	17,5	35	16,73	33,46	559,84	2,00	2,71	0,4772	0,4966	0,0194
		78	1,0		60			3891,35					0,9834

Доверительный интервал для "a":

$$\bar{x} = 60/78 = 0,77 \text{ мм}$$

$$M = 7,11/\sqrt{78} = 0,80 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{3891,35/(78-1)} = 7,11 \text{ мм}$$

$$m_m = 7,11/\sqrt{2 \cdot (78-1)} = 0,57 \text{ мм}$$

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q (N = 78; P = 0,95) = 1,99$$

$$0,77 - 1,99 \cdot 0,80 < a < 0,77 + 1,99 \cdot 0,80 \Rightarrow -0,82 \text{ мм} < a < 2,36 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g (N = 78, P = 0,95) = 0,169$$

$$7,11 \cdot (1 - 0,169) < \sigma < 7,11 \cdot (1 + 0,169) \Rightarrow 5,91 \text{ мм} < \sigma < 8,31 \text{ мм}$$

### Оценка сходимости эмпирического распределения

#### Объект 2. Критерий Пирсона

Интервалы		Частота $n_i$	$P(x_i)$	$NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-15	-10	3	0,0523	4,079	-1,079	1,165	0,286
-10	-5	15	0,1435	11,193	3,807	14,493	1,295
-5	0	20	0,2472	19,282	0,718	0,516	0,027
0	5	19	0,2695	21,021	-2,021	4,084	0,194
5	10	12	0,1775	13,845	-1,845	3,404	0,246
10	15	7	0,0740	5,772	1,228	1,508	0,261
15	20	2	0,0194	1,513	0,487	0,237	0,157
		78					2,47

При  $K = 7$ , число степеней свободы равно 4.  $\chi^2(0,05; 4) = 9,5$ .

Таким образом,  $2,47 < 9,5$ . Нулевая гипотеза не отвергается.



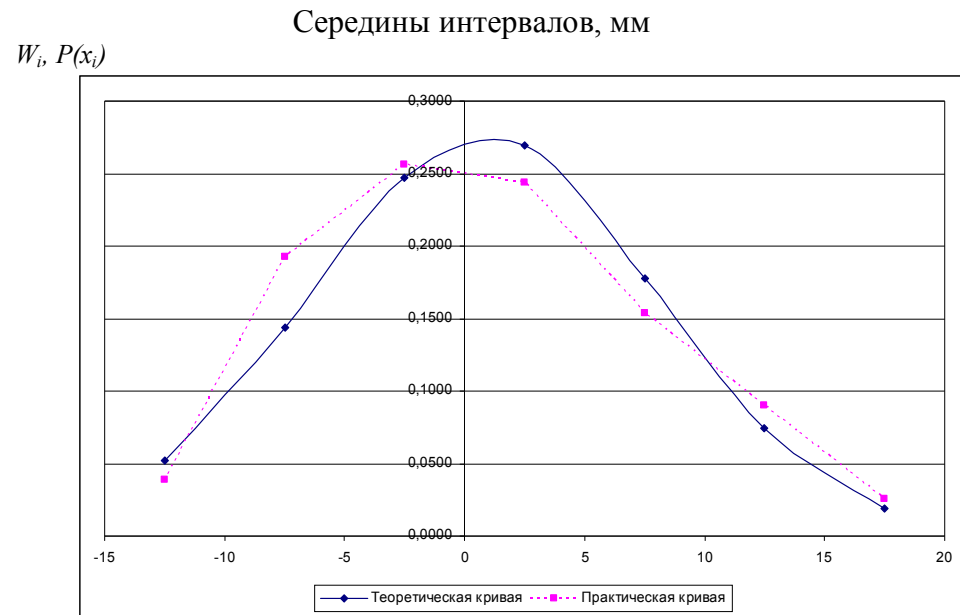


Рис. 3.3. Исследование точности изготовления граней колонн.  
Объект 2



Рис. 3.4. Погрешности изготовления длин ферм.  
Объект 2

## Погрешности изготовления длин ферм.

## Объект 2

Интервалы		Частота $n_i$	Частость $W_i$	Середина интервала $x_i$	$n_i \cdot x_i$	$x_i - \bar{x}$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2$	$t_1$	$t_2$	$\Phi(t_1)$	$\Phi(t_2)$	Вероятность $P(x_i)$
a	b												
-18	-12	2	0,077	-15	-30	-16,38	-32,77	536,91	-2,18	-1,50	-0,4854	-0,4332	0,0522
-12	-6	3	0,115	-9	-27	-10,38	-31,15	323,52	-1,50	-0,83	-0,4332	-0,2967	0,1365
-6	0	6	0,231	-3	-18	-4,38	-26,31	115,35	-0,83	-0,16	-0,2967	-0,0636	0,2331
0	6	8	0,308	3	24	1,62	12,92	20,88	-0,16	0,52	-0,0636	0,1985	0,2621
6	12	4	0,154	9	36	7,62	30,46	231,98	0,52	1,19	0,1985	0,3830	0,1845
12	18	2	0,077	15	30	13,62	27,23	370,76	1,19	1,87	0,3830	0,4693	0,0863
18	24	1	0,038	21	21	19,62	19,62	384,76	1,87	2,54	0,4693	0,4945	0,0252
		26	1,0		36			1984,15					0,9799

$$\bar{x} = 36/26 = 1,38 \text{ мм}$$

$$M = 8,91/\sqrt{26} = 1,75 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{1984,15/(26-1)} = 8,91 \text{ мм}$$

$$m_m = 8,91/\sqrt{2 \cdot (26-1)} = 1,26 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "a":

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q (N = 26; P = 0,95) = 2,06$$

$$1,38 - 2,06 \cdot 1,75 < a < 1,38 + 2,06 \cdot 1,75 \Rightarrow 2,23 \text{ мм} < a < 4,99 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g (N = 26, P = 0,95) = 0,31$$

$$8,91 \cdot (1 - 0,31) < \sigma < 8,91 \cdot (1 + 0,31) \Rightarrow 6,15 \text{ мм} < \sigma < 11,67 \text{ мм}$$

## Оценка сходимости эмпирического распределения.

## Критерий Пирсона

Интервалы		Частота $n_i$	$P(x_i)$	$NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$[n_i - NP(x_i)]^2$
a	b						$NP(x_i)$
-18	-12	2	0,0522	1,357	0,643	0,413	0,304
-12	-6	3	0,1365	3,549	-0,549	0,301	0,085
-6	0	6	0,2331	6,061	-0,061	0,004	0,001
0	6	8	0,2621	6,815	1,185	1,405	0,206
6	12	4	0,1845	4,797	-0,797	0,635	0,132
12	18	2	0,0863	2,244	-0,244	0,059	0,026
18	24	1	0,0252	0,655	0,345	0,119	0,181
		26					0,94

При  $K = 7$ , число степеней свободы равно 4.  $\chi^2(0,05; 4) = 9,5$ .

Таким образом,  $0,94 < 9,5$ . Нулевая гипотеза не отвергается.

## Смещение колонн с разбивочных осей.

Объект 1 (главный корпус дрож. завода). 1-й этаж ( $H=6,5$  м)

Интервалы		Частота $n_i$	Частость $W_i$	Середина интервала $x_i$	$n_i \cdot x_i$	$x_i - \bar{x}$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2$	$t_1$	$t_2$	$\Phi(t_1)$	$\Phi(t_2)$	Вероятность $P(x_i)$
a	b												
-16	-12	1	0,015	-14	-14	-14,29	-14,29	204,32	-2,94	-2,22	-0,4984	-0,4868	0,0116
-12	-8	3	0,044	-10	-30	-10,29	-30,88	317,91	-2,22	-1,50	-0,4868	-0,4332	0,0536
-8	-4	11	0,162	-6	-66	-6,29	-69,24	435,78	-1,50	-0,77	-0,4332	-0,2794	0,1538
-4	0	17	0,250	-2	-34	-2,29	-39,00	89,47	-0,77	-0,05	-0,2794	-0,0199	0,2595
0	4	19	0,279	2	38	1,71	32,41	55,29	-0,05	0,67	-0,0199	0,2486	0,2685
4	8	12	0,176	6	72	5,71	68,47	390,69	0,67	1,39	0,2486	0,4177	0,1691
8	12	4	0,059	10	40	9,71	38,82	376,82	1,39	2,11	0,4177	0,4825	0,0648
12	16	1	0,015	14	14	13,71	13,71	187,85	2,11	2,83	0,4825	0,4977	0,0152
		68	1,0		20			2058,12					0,9961

$$\bar{x} = 20 / 68 = 0,29 \text{ мм}$$

$$M = 5,54 / \sqrt{68} = 0,67 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{2058,12 / (68 - 1)} = 5,54 \text{ мм}$$

$$x_{cm} = \bar{x} \Phi(\bar{x}/m) + (2x \cdot m / \sqrt{2p}) \cdot e - \frac{(\bar{x})^2}{2(m)^2} \Rightarrow \bar{x}_{cm} = 4,46 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для " $a_{cm}$ ":

$$\bar{x}_{cm} - t_q \cdot M < a_{cm} < \bar{x}_{cm} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 68; P = 0,95) = 1,997$$

$$4,46 - 1,997 \cdot 0,67 < a_{cm} < 4,46 + 1,997 \cdot 0,67 \Rightarrow 2,12 \text{ мм} < a_{cm} < 5,80 \text{ мм}$$

**Оценка сходимости эмпирического распределения смещения колонн с разбивочных осей.**

**Объект 1 (главный корпус дрож. завода). 1-й этаж ( $H=6,5$  м). Критерий Пирсона**

Интервалы		Частота $n_i$	$P(x_i)$	$NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-16	-12	1	0,0116	0,7888	0,211	0,045	0,057
-12	-8	3	0,0536	3,6448	-0,645	0,416	0,114
-8	-4	11	0,1538	10,4584	0,542	0,293	0,028
-4	0	17	0,2595	17,646	-0,646	0,417	0,024
0	4	19	0,2685	18,258	0,742	0,551	0,030
4	8	12	0,1691	11,4988	0,501	0,251	0,022
8	12	4	0,0648	4,4064	-0,406	0,165	0,037
12	16	1	0,0152	1,0336	-0,034	0,001	0,001
		68					0,31

При  $K = 8$ , число степеней свободы равно 5.  $\chi^2(0,05; 5) = 11,1$ .

Таким образом,  $0,31 < 11,1$ . Нулевая гипотеза не отвергается.

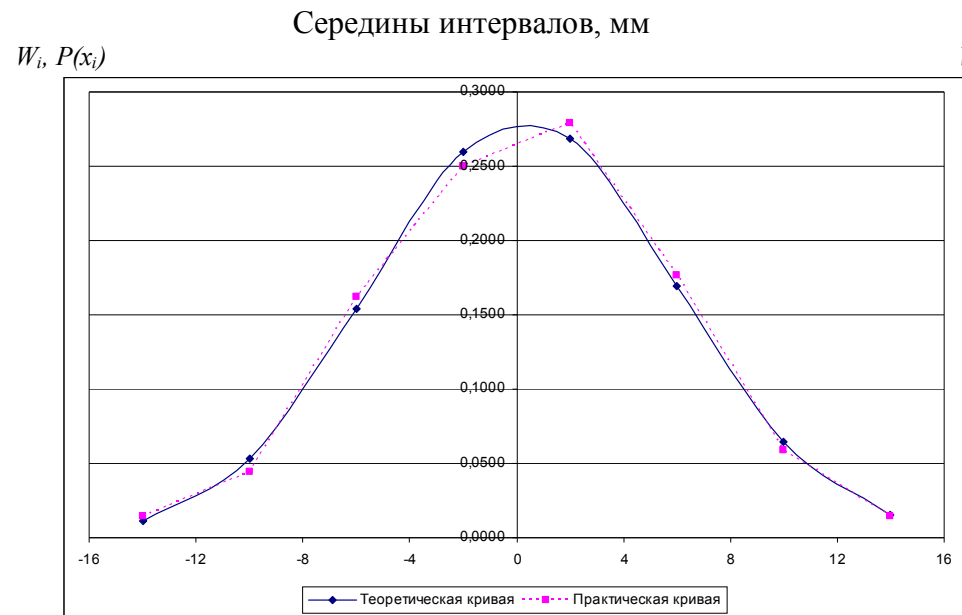


Рис. 3.5. Смещение колонн с разбивочных осей  $H=6,5$  м.  
Объект 1 (главный корпус дрож. завода)

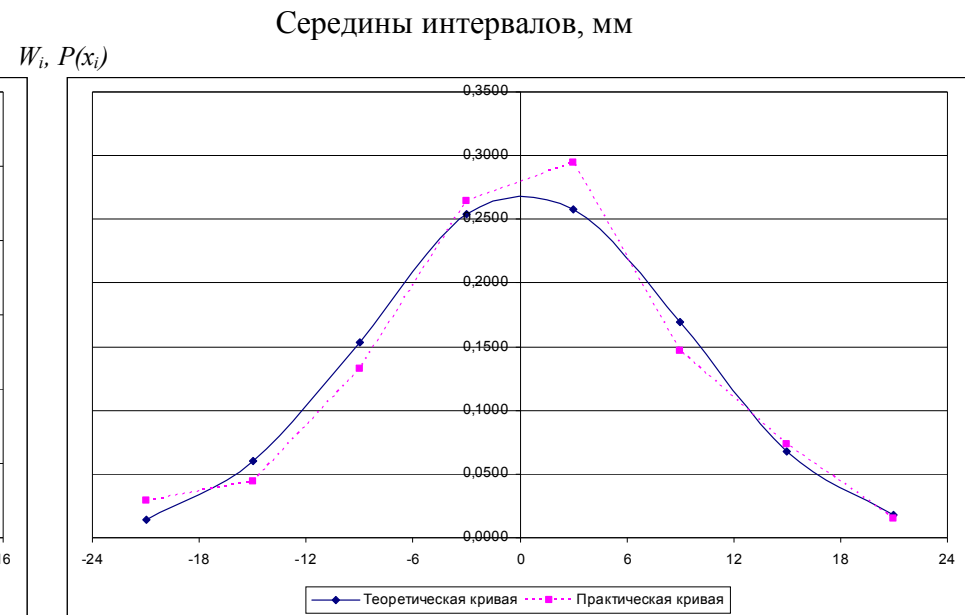


Рис. 3.6. Отклонение колонн от вертикали  $H=6,5$  м.  
Объект 1 (главный корпус дрож. завода)

## Отклонение колонн от вертикали.

Объект 1 (главный корпус дрож. завода). 1-й этаж ( $H=6,5$  м)

Интервалы		Частота $n_i$	Частость $W_i$	Середина интервала $x_i$	$n_i \cdot x_i$	$x_i - \bar{x}$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2$	$t_1$	$t_2$	$\Phi(t_1)$	$\Phi(t_2)$	Вероятность $P(x_i)$
a	b												
-24	-18	2	0,029	-21	-42	-21,35	-42,71	911,90	-2,82	-2,13	-0,4976	-0,4834	0,0142
-18	-12	3	0,044	-15	-45	-15,35	-46,06	707,14	-2,13	-1,43	-0,4834	-0,4236	0,0598
-12	-6	9	0,132	-9	-81	-9,35	-84,18	787,30	-1,43	-0,74	-0,4236	-0,2703	0,1533
-6	0	18	0,265	-3	-54	-3,35	-60,35	202,36	-0,74	-0,04	-0,2703	-0,0160	0,2543
0	6	20	0,294	3	60	2,65	52,94	140,14	-0,04	0,65	-0,0160	0,2422	0,2582
6	12	10	0,147	9	90	8,65	86,47	747,72	0,65	1,35	0,2422	0,4115	0,1693
12	18	5	0,074	15	75	14,65	73,24	1072,68	1,35	2,04	0,4115	0,4793	0,0678
18	24	1	0,015	21	21	20,65	20,65	426,30	2,04	2,74	0,4793	0,4969	0,0176
		68	1,0		24			4995,53					0,9945

$$\bar{x} = 24/68 = 0,35 \text{ мм}$$

$$M = 8,63/\sqrt{68} = 1,05 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{4995,53/(68-1)} = 8,63 \text{ мм}$$

$$x_{cm} = \bar{x}\Phi(\bar{x}/m) + (2x \cdot m/\sqrt{2p}) \cdot e^{-\frac{(\bar{x})^2}{2(m)^2}} \Rightarrow \bar{x}_{cm} = 6,92 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для " $a_{cm}$ ":

$$\bar{x}_{cm} - t_q \cdot M < a_{cm} < \bar{x}_{cm} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N=68; P=0,95) = 1,997$$

$$6,92 - 1,997 \cdot 1,05 < a_{cm} < 6,92 + 1,997 \cdot 1,05 \Rightarrow 4,82 \text{ мм} < a_{cm} < 9,02 \text{ мм}$$

**Оценка сходимости эмпирического распределения отклонения колонн от вертикали.****Объект 1 (главный корпус дрож. завода). 1-й этаж ( $H=6,5$  м). Критерий Пирсона**

Интервалы		Частота $n_i$	$P(x_i)$	$NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-24	-18	2	0,0142	0,9656	1,034	1,070	1,108
-18	-12	3	0,0598	4,0664	-1,066	1,137	0,280
-12	-6	9	0,1533	10,4244	-1,424	2,029	0,195
-6	0	18	0,2543	17,2924	0,708	0,501	0,029
0	6	20	0,2582	17,5576	2,442	5,965	0,340
6	12	10	0,1693	11,5124	-1,512	2,287	0,199
12	18	5	0,0678	4,6104	0,390	0,152	0,033
18	24	1	0,0176	1,1968	-0,197	0,039	0,032
		68					2,22

При  $K = 8$ , число степеней свободы равно 5.  $\chi^2(0,05; 5) = 11,1$ .

Таким образом,  $2,22 < 11,1$ . Нулевая гипотеза не отвергается.



## Смещение колонн с разбивочных осей.

Объект 1 (главный корпус дрож. завода).  $H=12$  м

Интервалы		Частота $n_i$	Частость $W_i$	Середина интервала $x_i$	$n_i \cdot x_i$	$x_i - \bar{x}$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2$	$t_1$	$t_2$	$\Phi(t_1)$	$\Phi(t_2)$	Вероятность $P(x_i)$
a	b												
-16	-12	3	0,026	-14	-42	-13,90	-41,69	579,34	-2,64	-1,97	-0,4959	-0,4756	0,0203
-12	-8	8	0,069	-10	-80	-9,90	-79,17	783,53	-1,97	-1,31	-0,4756	-0,4049	0,0707
-8	-4	17	0,147	-6	-102	-5,90	-100,24	591,08	-1,31	-0,65	-0,4049	-0,2422	0,1627
-4	0	32	0,276	-2	-64	-1,90	-60,69	115,10	-0,65	0,02	-0,2422	0,0080	0,2502
0	4	28	0,241	2	56	2,10	58,90	123,89	0,02	0,68	0,0080	0,2517	0,2437
4	8	18	0,155	6	108	6,10	109,86	670,54	0,68	1,34	0,2517	0,4099	0,1582
8	12	7	0,060	10	70	10,10	70,72	714,56	1,34	2,01	0,4099	0,4781	0,0682
12	16	3	0,026	14	42	14,10	42,31	596,72	2,01	2,67	0,4781	0,4962	0,0181
		116	1,0		-12			4174,76					0,9921

$$\bar{x} = -12/116 = -0,10 \text{ мм}$$

$$M = 6,03/\sqrt{116} = 0,56 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{4174,76/(116-1)} = 6,03 \text{ мм}$$

$$x_{cm} = \bar{x}\Phi(\bar{x}/m) + (2x \cdot m/\sqrt{2p}) \cdot e^{-\frac{(\bar{x})^2}{2(m)^2}} \Rightarrow \bar{x}_{cm} = 4,81 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для " $a_{cm}$ ":

$$\bar{x}_{cm} - t_q \cdot M < a_{cm} < \bar{x}_{cm} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N=116; P=0,95) = 1,983$$

$$4,81 - 1,983 \cdot 0,56 < a_{cm} < 4,81 + 1,983 \cdot 0,56 \Rightarrow 3,70 \text{ мм} < a_{cm} < 5,92 \text{ мм}$$

Оценка сходимости эмпирического распределения смещения колонн с разбивочных осей.

Объект 1 (главный корпус дроз. завода).  $H=12$  м. Критерий Пирсона

Интервалы		Частота $n_i$	$P(x_i)$	$NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-16	-12	3	0,0203	2,3548	0,645	0,416	0,177
-12	-8	8	0,0707	8,2012	-0,201	0,040	0,005
-8	-4	17	0,1627	18,8732	-1,873	3,509	0,186
-4	0	32	0,2502	29,0232	2,977	8,861	0,305
0	4	28	0,2437	28,2692	-0,269	0,072	0,003
4	8	18	0,1582	18,3512	-0,351	0,123	0,007
8	12	7	0,0682	7,9112	-0,911	0,830	0,105
12	16	3	0,0181	2,0996	0,900	0,811	0,386
		116					1,17

При  $K = 8$ , число степеней свободы равно 5.  $\chi^2(0,05; 5) = 11,1$ .

Таким образом,  $1,17 < 11,1$ . Нулевая гипотеза не отвергается.

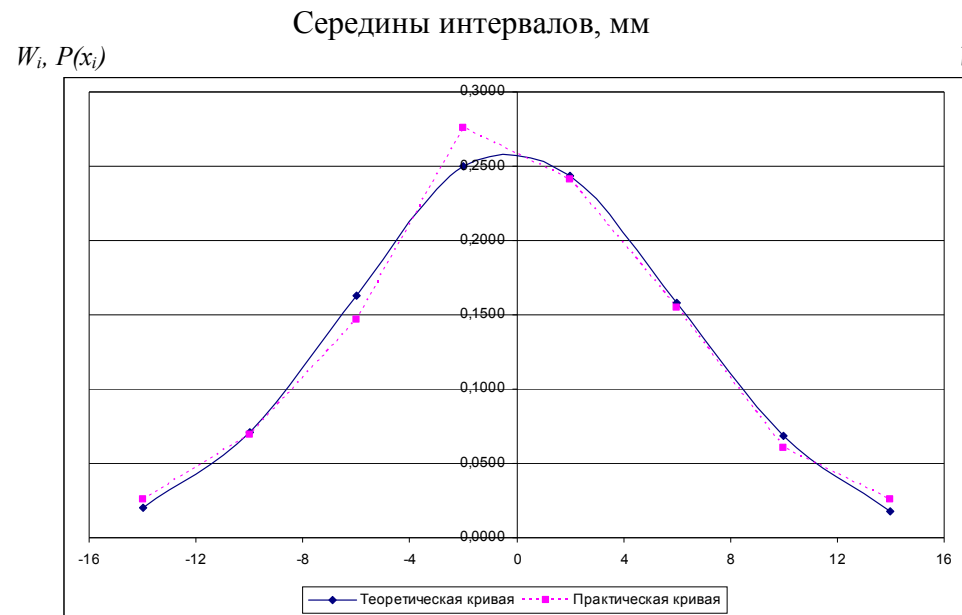


Рис. 3.7. Смещение колонн с разбивочных осей  $H=12$  м.  
Объект 1 (главный корпус дрож. завода)

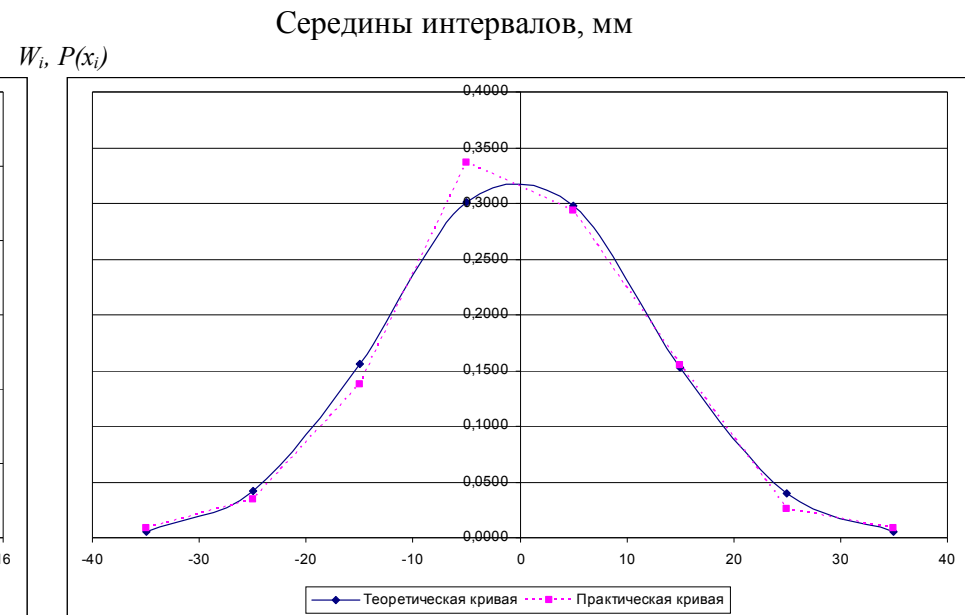


Рис. 3.8. Отклонение колонн от вертикали  $H=12$  м.  
Объект 1 (главный корпус дрож. завода)

## Отклонение колонн от вертикали.

Объект 1 (главный корпус дрож. завода).  $H=12$  м

Интервалы		Частота $n_i$	Частость $W_i$	Середина интервала $x_i$	$n_i \cdot x_i$	$x_i - \bar{x}$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2$	$t_1$	$t_2$	$\Phi(t_1)$	$\Phi(t_2)$	Вероятность $P(x_i)$
a	b												
-40	-30	1	0,009	-35	-35	-34,83	-34,83	1212,96	-3,35	-2,51	-0,4994	-0,4940	0,0054
-30	-20	4	0,034	-25	-100	-24,83	-99,31	2465,64	-2,51	-1,67	-0,4940	-0,4525	0,0415
-20	-10	16	0,138	-15	-240	-14,83	-237,24	3517,72	-1,67	-0,83	-0,4525	-0,2967	0,1558
-10	0	39	0,336	-5	-195	-4,83	-188,28	908,92	-0,83	0,01	-0,2967	0,0040	0,3007
0	10	34	0,293	5	170	5,17	175,86	909,63	0,01	0,85	0,0040	0,3023	0,2983
10	20	18	0,155	15	270	15,17	273,10	4143,64	0,85	1,69	0,3023	0,4545	0,1522
20	30	3	0,026	25	75	25,17	75,52	1900,95	1,69	2,53	0,4545	0,4943	0,0398
30	40	1	0,009	35	35	35,17	35,17	1237,10	2,53	3,37	0,4943	0,4996	0,0053
		116	1,0		-20			16296,55					0,9990

$$\bar{x} = -20/116 = -0,17 \text{ мм}$$

$$M = 11,90 / \sqrt{116} = 1,11 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{16296,55 / (116 - 1)} = 11,90 \text{ мм}$$

$$x_{cm} = \bar{x} \Phi(\bar{x}/m) + (2x \cdot m / \sqrt{2p}) \cdot e^{-\frac{(\bar{x})^2}{2(m)^2}} \Rightarrow \bar{x}_{cm} = 9,49 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для " $a_{cm}$ ":

$$\bar{x}_{cm} - t_q \cdot M < a_{cm} < \bar{x}_{cm} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 116; P = 0,95) = 1,983$$

$$9,49 - 1,983 \cdot 1,10 < a_{cm} < 9,49 + 1,983 \cdot 1,10 \Rightarrow 7,31 \text{ мм} < a_{cm} < 11,67 \text{ мм}$$

**Оценка сходимости эмпирического распределения отклонения колонн от вертикали.**

**Объект 1 (главный корпус дроз. завода).  $H=12$  м. Критерий Пирсона**

Интервалы		Частота $n_i$	$P(x_i)$	$NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-40	-30	1	0,0054	0,6264	0,374	0,140	0,223
-30	-20	4	0,0415	4,814	-0,814	0,663	0,138
-20	-10	16	0,1558	18,0728	-2,073	4,296	0,238
-10	0	39	0,3007	34,8812	4,119	16,965	0,486
0	10	34	0,2983	34,6028	-0,603	0,363	0,011
10	20	18	0,1522	17,6552	0,345	0,119	0,007
20	30	3	0,0398	4,6168	-1,617	2,614	0,566
30	40	1	0,0053	0,6148	0,385	0,148	0,241
		116					1,91

При  $K = 8$ , число степеней свободы равно 5.  $\chi^2(0,05; 5) = 11,1$ .

Таким образом,  $1,91 < 11,1$ . Нулевая гипотеза не отвергается.

## Смещение ригелей.

## Объект 1 (главный корпус дрож. завода)

Интервалы		Частота $n_i$	Частость $W_i$	Середина интервала $x_i$	$n_i \cdot x_i$	$x_i - \bar{x}$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2$	$t_1$	$t_2$	$\Phi(t_1)$	$\Phi(t_2)$	Вероятность $P(x_i)$
a	b												
-24	-18	5	0,037	-21	-105	-21,31	-106,54	2270,33	-2,50	-1,89	-0,4938	-0,4706	0,0232
-18	-12	10	0,074	-15	-150	-15,31	-153,09	2343,60	-1,89	-1,27	-0,4706	-0,3980	0,0726
-12	-6	16	0,118	-9	-144	-9,31	-148,94	1386,47	-1,27	-0,65	-0,3980	-0,2422	0,1558
-6	0	37	0,272	-3	-111	-3,31	-122,43	405,09	-0,65	-0,03	-0,2422	-0,0120	0,2302
0	6	32	0,235	3	96	2,69	86,12	231,76	-0,03	0,59	-0,0120	0,2224	0,2344
6	12	18	0,132	9	162	8,69	156,44	1359,66	0,59	1,20	0,2224	0,3849	0,1625
12	18	14	0,103	15	210	14,69	205,68	3021,63	1,20	1,82	0,3849	0,4656	0,0807
18	24	4	0,029	21	84	20,69	82,76	1712,50	1,82	2,44	0,4656	0,4927	0,0271
		136	1,0		42			12731,03					0,9865

$$\bar{x} = 42/136 = 0,31 \text{ мм}$$

$$M = 9,71/\sqrt{136} = 0,83 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{12731,03/(136-1)} = 9,71 \text{ мм}$$

$$x_{см} = \bar{x}\Phi(\bar{x}/m) + (2x \cdot m/\sqrt{2p}) \cdot e^{-\frac{(\bar{x})^2}{2(m)^2}} \Rightarrow \bar{x}_{см} = 7,77 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для " $a_{см}$ ":

$$\bar{x}_{см} - t_q \cdot M < a_{см} < \bar{x}_{см} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 136; P = 0,95) = 1,96$$

$$7,77 - 1,96 \cdot 0,83 < a_{см} < 7,77 + 1,96 \cdot 0,83 \Rightarrow 6,14 \text{ мм} < a_{см} < 9,40 \text{ мм}$$

**Оценка сходимости эмпирического распределения смещения ригелей.****Объект 1 (главный корпус дрож. завода). Критерий Пирсона**

Интервалы		Частота $n_i$	$P(x_i)$	$NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-24	-18	5	0,0232	3,1552	1,845	3,403	1,079
-18	-12	10	0,0726	9,8736	0,126	0,016	0,002
-12	-6	16	0,1558	21,1888	-5,189	26,924	1,271
-6	0	37	0,2302	31,3072	5,693	32,408	1,035
0	6	32	0,2344	31,8784	0,122	0,015	0,000
6	12	18	0,1625	22,1	-4,100	16,810	0,761
12	18	14	0,0807	10,9752	3,025	9,149	0,834
18	24	4	0,0271	3,6856	0,314	0,099	0,027
		136					5,01

При  $K = 8$ , число степеней свободы равно 5.  $\chi^2(0,05; 5) = 11,1$ .

Таким образом,  $5,01 < 11,1$ . Нулевая гипотеза не отвергается.

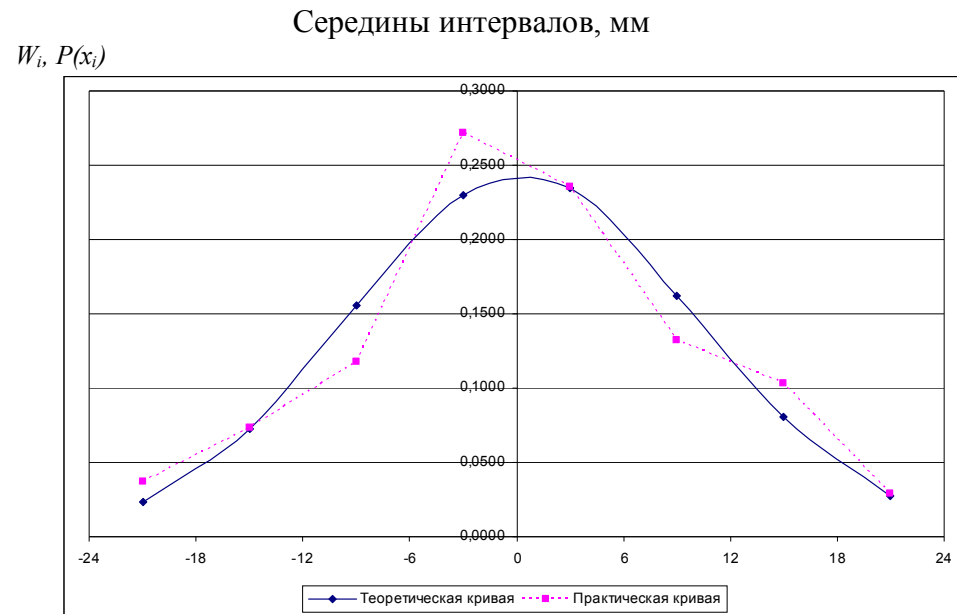


Рис. 3.9. Смещение ригелей.  
Объект 1 (главный корпус дрож. завода)

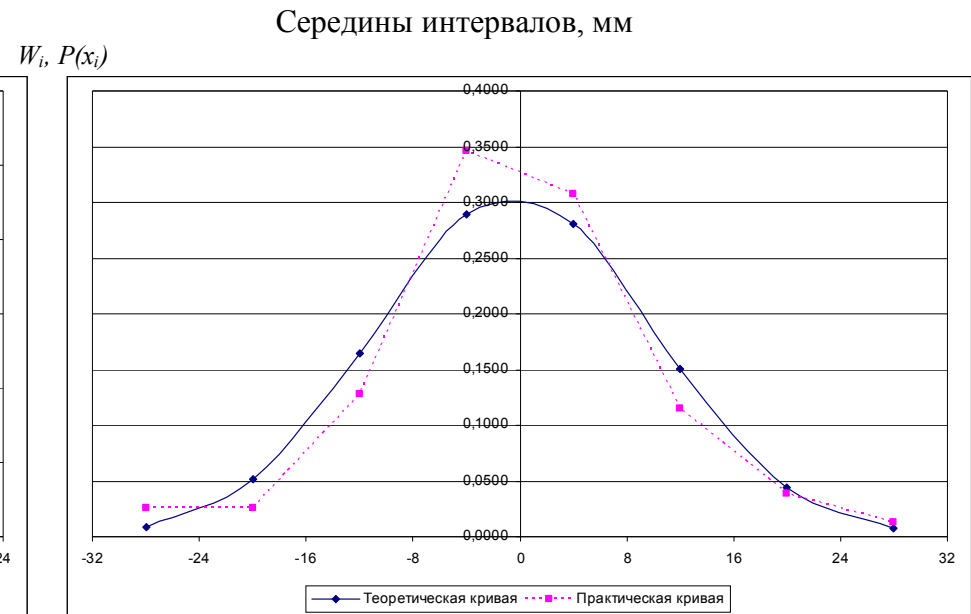


Рис. 3.10. Смещение колонн с разбивочных осей.  
Объект 2



## Смещение колонн с разбивочных осей.

## Объект 2

Интервалы		Частота $n_i$	Частость $W_i$	Середина интервала $x_i$	$n_i \cdot x_i$	$x_i - \bar{x}$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2$	$t_1$	$t_2$	$\Phi(t_1)$	$\Phi(t_2)$	Вероятность $P(x_i)$
a	b												
-32	-24	2	0,026	-28	-56	-27,59	-55,18	1522,39	-3,12	-2,33	-0,4991	-0,4901	0,0090
-24	-16	2	0,026	-20	-40	-19,59	-39,18	767,52	-2,33	-1,54	-0,4901	-0,4382	0,0519
-16	-8	10	0,128	-12	-120	-11,59	-115,90	1343,22	-1,54	-0,75	-0,4382	-0,2734	0,1648
-8	0	27	0,346	-4	-108	-3,59	-96,92	347,93	-0,75	0,04	-0,2734	0,0160	0,2894
0	8	24	0,308	4	96	4,41	105,85	466,81	0,04	0,83	0,0160	0,2967	0,2807
8	16	9	0,115	12	108	12,41	111,69	1386,13	0,83	1,62	0,2967	0,4474	0,1507
16	24	3	0,038	20	60	20,41	61,23	1249,74	1,62	2,41	0,4474	0,4920	0,0446
24	32	1	0,013	28	28	28,41	28,41	807,14	2,41	3,20	0,4920	0,4993	0,0073
		78	1,0		-32			7890,87					0,9984

$$\bar{x} = -32/78 = -0,41 \text{ мм}$$

$$M = 10,12/\sqrt{78} = 1,15 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{7890,87/(78-1)} = 10,12 \text{ мм}$$

$$x_{cm} = \bar{x}\Phi(\bar{x}/m) + (2x \cdot m/\sqrt{2p}) \cdot e^{-\frac{(\bar{x})^2}{2(m)^2}} \Rightarrow \bar{x}_{cm} = 8,11 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для " $a_{cm}$ ":

$$\bar{x}_{cm} - t_q \cdot M < a_{cm} < \bar{x}_{cm} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 78; P = 0,95) = 1,99$$

$$8,11 - 1,99 \cdot 1,15 < a_{cm} < 8,11 + 1,99 \cdot 1,15 \Rightarrow 5,82 \text{ мм} < a_{cm} < 10,40 \text{ мм}$$

**Оценка сходимости эмпирического распределения.**

**Объект 2. Критерий Пирсона**

Интервалы		Частота $n_i$	$P(x_i)$	$NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-32	-24	2	0,0090	0,702	1,298	1,685	2,400
-24	-16	2	0,0519	4,0482	-2,048	4,195	1,036
-16	-8	10	0,1648	12,8544	-2,854	8,148	0,634
-8	0	27	0,2894	22,5732	4,427	19,597	0,868
0	8	24	0,2807	21,8946	2,105	4,433	0,202
8	16	9	0,1507	11,7546	-2,755	7,588	0,646
16	24	3	0,0446	3,4788	-0,479	0,229	0,066
24	32	1	0,0073	0,5694	0,431	0,185	0,326
		78					6,18

При  $K = 8$ , число степеней свободы равно 5.  $\chi^2(0,05; 5) = 11,1$ .

Таким образом,  $6,18 < 11,1$ . Нулевая гипотеза не отвергается.

## Отклонение колонн от вертикали.

## Объект 2

Интервалы		Частота $n_i$	Частость $W_i$	Середина интервала $x_i$	$n_i \cdot x_i$	$x_i - \bar{x}$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2$	$t_1$	$t_2$	$\Phi(t_1)$	$\Phi(t_2)$	Вероятность $P(x_i)$
a	b												
-40	-30	2	0,026	-35	-70	-32,69	-65,38	2137,57	-2,43	-1,78	-0,4925	-0,4625	0,0300
-30	-20	9	0,115	-25	-225	-22,69	-204,23	4634,47	-1,78	-1,14	-0,4625	-0,3729	0,0896
-20	-10	13	0,167	-15	-195	-12,69	-165,00	2094,23	-1,14	-0,50	-0,3729	-0,1915	0,1814
-10	0	20	0,256	-5	-100	-2,69	-53,85	144,97	-0,50	0,15	-0,1915	0,0596	0,2511
0	10	18	0,231	5	90	7,31	131,54	961,24	0,15	0,79	0,0596	0,2852	0,2256
10	20	9	0,115	15	135	17,31	155,77	2696,01	0,79	1,44	0,2852	0,4251	0,1399
20	30	6	0,077	25	150	27,31	163,85	4474,26	1,44	2,08	0,4251	0,4812	0,0561
30	40	1	0,013	35	35	37,31	37,31	1391,86	2,08	2,73	0,4812	0,4968	0,0156
		78	1,0		-180			18534,62					0,9893

$$\bar{x} = -180/78 = -2,31 \text{ мм}$$

$$M = 15,51/\sqrt{78} = 1,76 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{18534,62/(78-1)} = 15,51 \text{ мм}$$

$$x_{cm} = \bar{x}\Phi(\bar{x}/m) + (2x \cdot m/\sqrt{2p}) \cdot e^{-\frac{(\bar{x})^2}{2(m)^2}} \Rightarrow \bar{x}_{cm} = 11,49 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "a<sub>см</sub>":

$$\bar{x}_{cm} - t_q \cdot M < a_{cm} < \bar{x}_{cm} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 78; P = 0,95) = 1,99$$

$$11,49 - 1,99 \cdot 1,76 < a_{cm} < 11,49 + 1,99 \cdot 1,76 \Rightarrow 8,0 \text{ мм} < a_{cm} < 15,0 \text{ мм}$$

**Оценка сходимости эмпирического распределения.**

**Объект 2. Критерий Пирсона**

Интервалы		Частота $n_i$	$P(x_i)$	$NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-40	-30	2	0,0300	2,34	-0,340	0,116	0,049
-30	-20	9	0,0896	6,9888	2,011	4,045	0,579
-20	-10	13	0,1814	14,1492	-1,149	1,321	0,093
-10	0	20	0,2511	19,5858	0,414	0,172	0,009
0	10	18	0,2256	17,5968	0,403	0,163	0,009
10	20	9	0,1399	10,9122	-1,912	3,657	0,335
20	30	6	0,0561	4,3758	1,624	2,638	0,603
30	40	1	0,0156	1,2168	-0,217	0,047	0,039
		78					1,72

При  $K = 8$ , число степеней свободы равно 5.  $\chi^2(0,05; 5) = 11,1$ .

Таким образом,  $1,72 < 11,1$ . Нулевая гипотеза не отвергается.

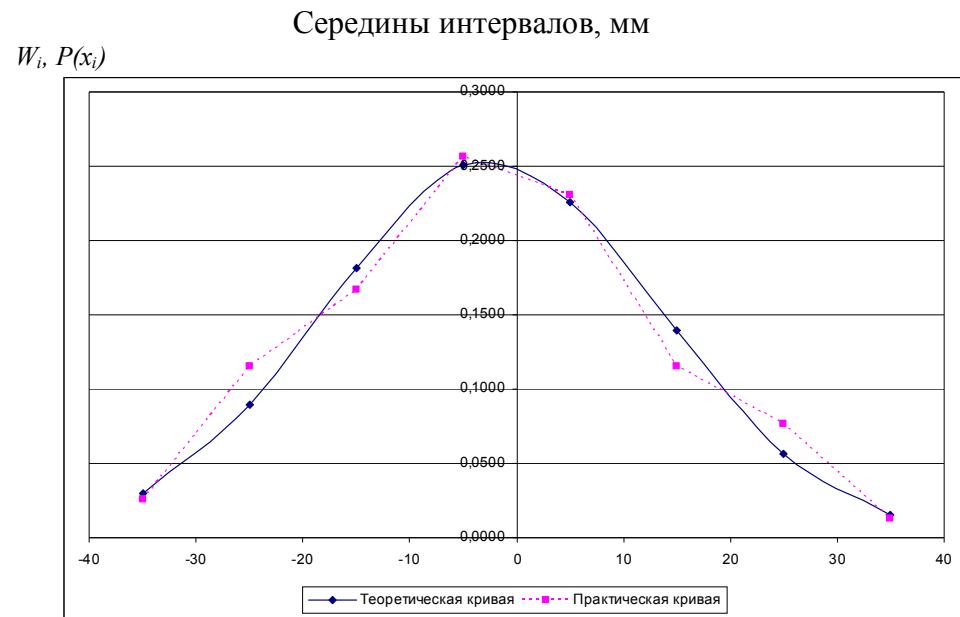


Рис. 3.11. Отклонение от вертикали.  
Объект 2

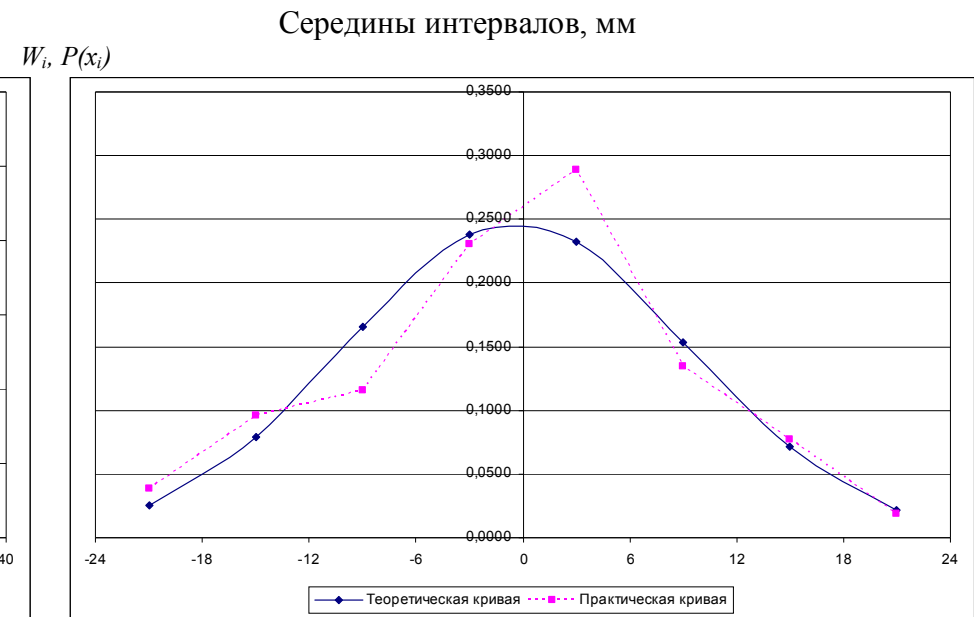


Рис. 3.12. Смещение ферм с разбивочных осей.  
Объект 2

## Смещение ферм с разбивочных осей.

## Объект 2

Интервалы		Частота $n_i$	Частость $W_i$	Середина интервала $x_i$	$n_i \cdot x_i$	$x_i - \bar{x}$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})$	$n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2$	$t_1$	$t_2$	$\Phi(t_1)$	$\Phi(t_2)$	Вероятность $P(x_i)$
a	b												
-24	-18	2	0,038	-21	-42	-20,65	-41,31	853,16	-2,48	-1,85	-0,4934	-0,4678	0,0256
-18	-12	5	0,096	-15	-75	-14,65	-73,27	1073,68	-1,85	-1,22	-0,4678	-0,3883	0,0795
-12	-6	6	0,115	-9	-54	-8,65	-51,92	449,33	-1,22	-0,59	-0,3883	-0,2224	0,1659
-6	0	12	0,231	-3	-36	-2,65	-31,85	84,51	-0,59	0,04	-0,2224	0,0160	0,2384
0	6	15	0,288	3	45	3,35	50,19	167,95	0,04	0,67	0,0160	0,2486	0,2326
6	12	7	0,135	9	63	9,35	65,42	611,45	0,67	1,29	0,2486	0,4015	0,1529
12	18	4	0,077	15	60	15,35	61,38	942,02	1,29	1,92	0,4015	0,4726	0,0711
18	24	1	0,019	21	21	21,35	21,35	455,66	1,92	2,55	0,4726	0,4947	0,0221
		52	1,0		-18			4637,77					0,9881

$$\bar{x} = -18/52 = -0,35 \text{ мм}$$

$$M = 9,54/\sqrt{52} = 1,32 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{4637,77/(52-1)} = 9,54 \text{ мм}$$

$$x_{см} = \bar{x}\Phi(\bar{x}/m) + (2x \cdot m/\sqrt{2p}) \cdot e^{-\frac{(\bar{x})^2}{2(m)^2}} \Rightarrow \bar{x}_{см} = 7,22 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "a<sub>см</sub>":

$$\bar{x}_{см} - t_q \cdot M < a_{см} < \bar{x}_{см} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 52; P = 0,95) = 2,007$$

$$7,22 - 2,007 \cdot 1,32 < a_{см} < 7,22 + 2,007 \cdot 1,32 \Rightarrow 4,57 \text{ мм} < a_{см} < 9,87 \text{ мм}$$

**Оценка сходимости эмпирического распределения.**

**Объект 2. Критерий Пирсона**

Интервалы		Частота $n_i$	$P(x_i)$	$NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-24	-18	2	0,0256	1,3312	0,669	0,447	0,336
-18	-12	5	0,0795	4,134	0,866	0,750	0,181
-12	-6	6	0,1659	8,6268	-2,627	6,900	0,800
-6	0	12	0,2384	12,3968	-0,397	0,157	0,013
0	6	15	0,2326	12,0952	2,905	8,438	0,698
6	12	7	0,1529	7,9508	-0,951	0,904	0,114
12	18	4	0,0711	3,6972	0,303	0,092	0,025
18	24	1	0,0221	1,1492	-0,149	0,022	0,019
		52					2,19

При  $K = 8$ , число степеней свободы равно 5.  $\chi^2(0,05; 5) = 11,1$ .

Таким образом,  $2,19 < 11,1$ . Нулевая гипотеза не отвергается.

### 3.3. Исследование точности монтажа железобетонных конструкций зданий.

На точность монтажа сопряжения железобетонных элементов в узлах будут оказывать погрешности установки колонн относительно разбивочных осей, монтажа ригелей, балок или ферм и отклонение колонн от вертикали. Поэтому для определения точности монтажа строительных конструкций исследуемых зданий была проведена исполнительная съемка.

Смещение низа колонн и смещение ригелей и ферм в плановом положении, относительно разбивочных осей, определялось предварительно прокомпарированным стальным метром с миллиметровыми делениями. Точность (средняя квадратическая погрешность) определения смещений штриховым стальным метром, согласно [66], равна  $m = \pm 0,7$  мм. Погрешности установки колонн по вертикали определялись методом бокового нивелирования теодолитами Т-15 и 2Т5К при двух положениях вертикального круга. Точность (средняя квадратическая погрешность) определения отклонений колонн от вертикали, согласно [66, 67, 76] будет: при высоте колонн до 10 м  $m_r = \pm 0,6$  мм, а при высоте до 20 м  $m_z = \pm 1,0$  мм. Статистическая обработка результатов измерений погрешностей монтажа имеет свои особенности в связи с тем, что они являются истинными и их можно считать существенно положительными величинами, как отмечалось выше в разделе 3.1. Здесь кроме основных параметров распределения, дополнительно определялись значения смещения центров группирования  $\bar{x}_{см}$  по формуле (3.27) и доверительные интервалы для генеральных средних  $a_{см}$  по выражению (3.28). Математическая обработка зафиксированных смещений колонн с разбивочных осей приведена в табл. 3.10, 3.14 и 3.20, а оценка сходимости эмпирических распределений исследуемых совокупностей с теоретическими рассмотрена в табл. 3.11, 3.15 и 3.21. Гистограммы распределений изображены на рис. 3.5, 3.7 и 3.10.

При оценке сходимости в соответствии с критерием  $\chi^2$  смещений колонн высотой  $H=6,5$  м и высотой  $H=12$  м (объект 1) получено соответственно  $\chi^2_{набл.} = 0,32 < \chi^2_{кр.} = 11,1$ ;  $\chi^2_{набл.} = 1,17 < \chi^2_{кр.} = 11,1$ , а колонн высотой  $H=7,2$  м (объект 2)  $\chi^2_{набл.} = 6,21 < \chi^2_{кр.} = 11,1$ . Это показывает, что расхождение не существенное и гипотеза о нормальном законе распределения погрешностей в выборках сомнений не вызывает.

Математическая обработка отклонений колонн от вертикали приведена в табл. 3.12, 3.16 и 3.22., а оценка сходимости эмпирических с теоретическими распределениями рассмотрена в табл. 3.13, 3.17, и 3.23. Гистограммы эмпирических и кривые теоретических распределений изображены на рис. 3.6, 3.8 и 3.11.

При оценке сходимости по критерию  $\chi^2$  К.Пирсона для отклонений колонн высотой  $H=6,5$  м и высотой  $H=12$  м (объект 1) получено соответственно  $\chi^2_{набл.} = 1,68 < \chi^2_{кр.} = 11,1$ , а для колонн высотой  $H=7,2$  м (объект 2)



$\chi^2_{набл.}=1,78 < \chi^2_{кр.}=11,1$ . Гипотеза о нормальном законе распределения погрешностей в выборках не отвергается.

Математическая обработка смещений ригелей и ферм с разбивочных осей приведена в табл. 3.18 и 3.24, а оценка сходимости эмпирических распределений с теоретическими рассмотрена в табл. 3.19, и 3.25. Гистограммы эмпирических и кривые теоретических распределений представлены на рис. 3.9 и 3.12.

При оценке сходимости по критерию  $\chi^2$  К.Пирсона для смещений ригелей (объект 1) и ферм (объект 2) получено соответственно:

$$\chi^2_{набл.}=4,87 < \chi^2_{кр.}=11,1, \quad \chi^2_{набл.}=4,75 < \chi^2_{кр.}=11,1.$$

Нулевая гипотеза о нормальном законе распределения погрешностей в выборках не отвергается. На основании выполненных автором исследований, была установлена действительная точность монтажа строительных конструкций на объектах 1 и 2.

Объект 1:

- допуск на смещение низа колонн первого этажа ( $H=6,5$  м),  $\Delta^k_{н1}=11,60$  мм;
- допуск на смещение низа колонн ( $H=12$  м),  $\Delta^k_{н2}=11,84$  мм;
- допуск отклонения колонн от вертикали первого этажа ( $H=6,5$  м),  $\Delta^k_{в1}=18,04$  мм;
- допуск отклонения колонн от вертикали ( $H=12$  м),  $\Delta^k_{в3}=23,34$  мм;
- допуск на монтаж ригеля  $\Delta^p_m = 18,80$  мм.

Объект 2:

- допуск на смещение низа колонн  $\Delta^k_n=20,80$  мм;
- допуск отклонения колонн от вертикали  $\Delta^k_v=29,98$  мм;
- допуск на монтаж фермы  $\Delta^{\phi}_m=19,50$  мм.

Исследования показали, что погрешности монтажа строительных конструкций и на этих объектах во всех выборках соответствуют закону нормального распределения. Точность (допуски) монтажа строительных конструкций по объектам 3, 4, 5 и 6 приведены [73, 74], а также в прил. 6 и 7.

Анализируя результаты исследований можно констатировать, что точность установки колонн по вертикали практически на всех объектах соответствует требованиям СНиП 3.03.01-87. Смещение колонн в нижнем сечении относительно разбивочных осей на отдельных объектах превышают в полтора-два раза предельные нормы, регламентируемые СНиП. Это наблюдается особенно при возведении одноэтажных производственных зданий (объекты 2, 4, 5 и 6). Точность монтажа ригелей, балок или ферм на объектах 1, 2, 5 и 6 близка к требуемой, а на объектах 3 и 4 соответствует нормативной.

## 4. Рекомендации по расчету технологических допусков и назначению точности монтажа строительных конструкций

### 4.1. Расчет технологических допусков и обоснование точности монтажа строительных конструкций зданий.

В разделе 2 приведен анализ расчетов точности возведения строительных конструкций с применением методов "максимума-минимума" и теоретико-вероятностного и предложен усовершенствованный метод расчета технологических допусков на стадии возведения зданий и разработана методика назначения точности возведения строительных конструкций с учетом показателей ответственности зданий.

В разделе 3 выполнены исследования точности изготовления и монтажа строительных конструкций на конкретных объектах. Для экспериментальной проверки предложенного метода и разработанной методики, выполним расчеты технологических допусков на монтаж конструкций исследуемых объектов. Расчеты допусков на геометрические параметры проводятся на основе выявления размерных связей в конструктивно-технологических схемах зданий и их элементов, составления размерных цепей и решения уравнения точности.

В соответствии с проектируемой технологией монтажа строительных конструкций и геодезических работ, за базу накопления погрешностей приняты разбивочные оси ряда средних колонн в поперечном направлении зданий.

#### 4.1.1. Расчет точности методом «максимума–минимума»

##### Объект 1

Плоская размерная цепь производственного здания представляет собой раму шириной в один пролет и высотой в четыре этажа (отметка 22,65 м) и изображена на рис. 4.1.

Уравнение размерной цепи имеет вид:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{Г} + 2\Delta_{И}^K + \Delta_{И}^P + 2\Delta_{H1}^K + 2\Delta_{H2}^K + 2\Delta_{H4}^K + 2\Delta_{B1}^K + 2\Delta_{B3}^K + 2\Delta_{B4}^B + 2\Delta_{Г1}^B + 2\Delta_{Г3}^B + 2\Delta_{М}^P, \quad (4.1)$$

где  $\Delta_{Г}$ ,  $\Delta_{И}^K$ ,  $\Delta_{И}^P$ ,  $\Delta_{H1}^K$ ,  $\Delta_{H2}^K$ ,  $\Delta_{H4}^K$ ,  $\Delta_{B1}^K$ ,  $\Delta_{B3}^K$ ,  $\Delta_{B4}^B$ ,  $\Delta_{Г1}^B$ ,  $\Delta_{Г3}^B$ ,  $\Delta_{М}^P$  – соответственно допуски на разбивку осей на исходном горизонте, изготовления граней колонн, изготовления длин ригелей, смещения низа колонн с разбивочных осей первого, второго и четвертого этажей, отклонение колонн от вертикали первого, третьего и четвертого этажей, передачу осей на верх колонн первого и третьего этажей, монтаж ригелей.

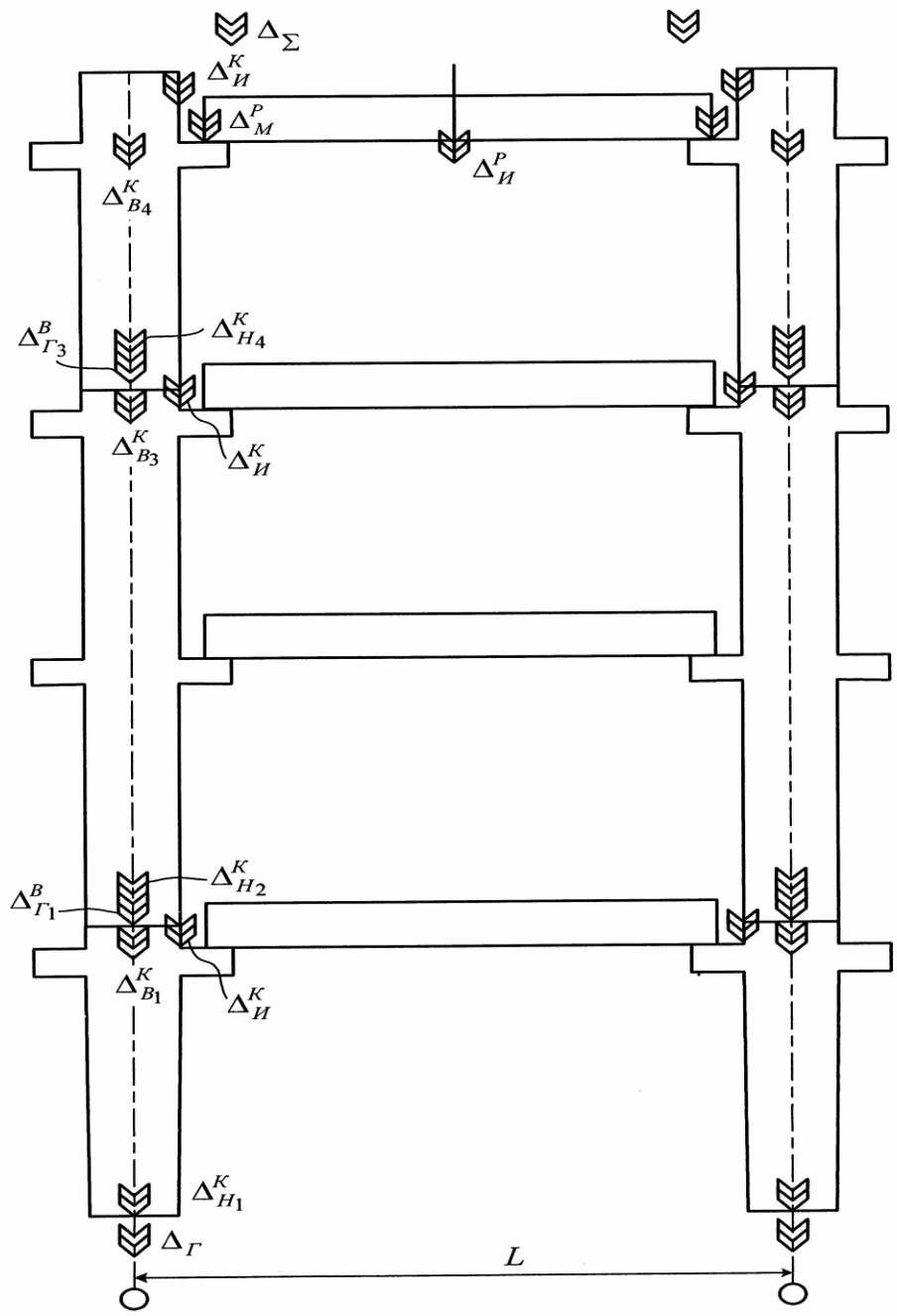


Рис. 4.1. Размерная цепь. Объект 1

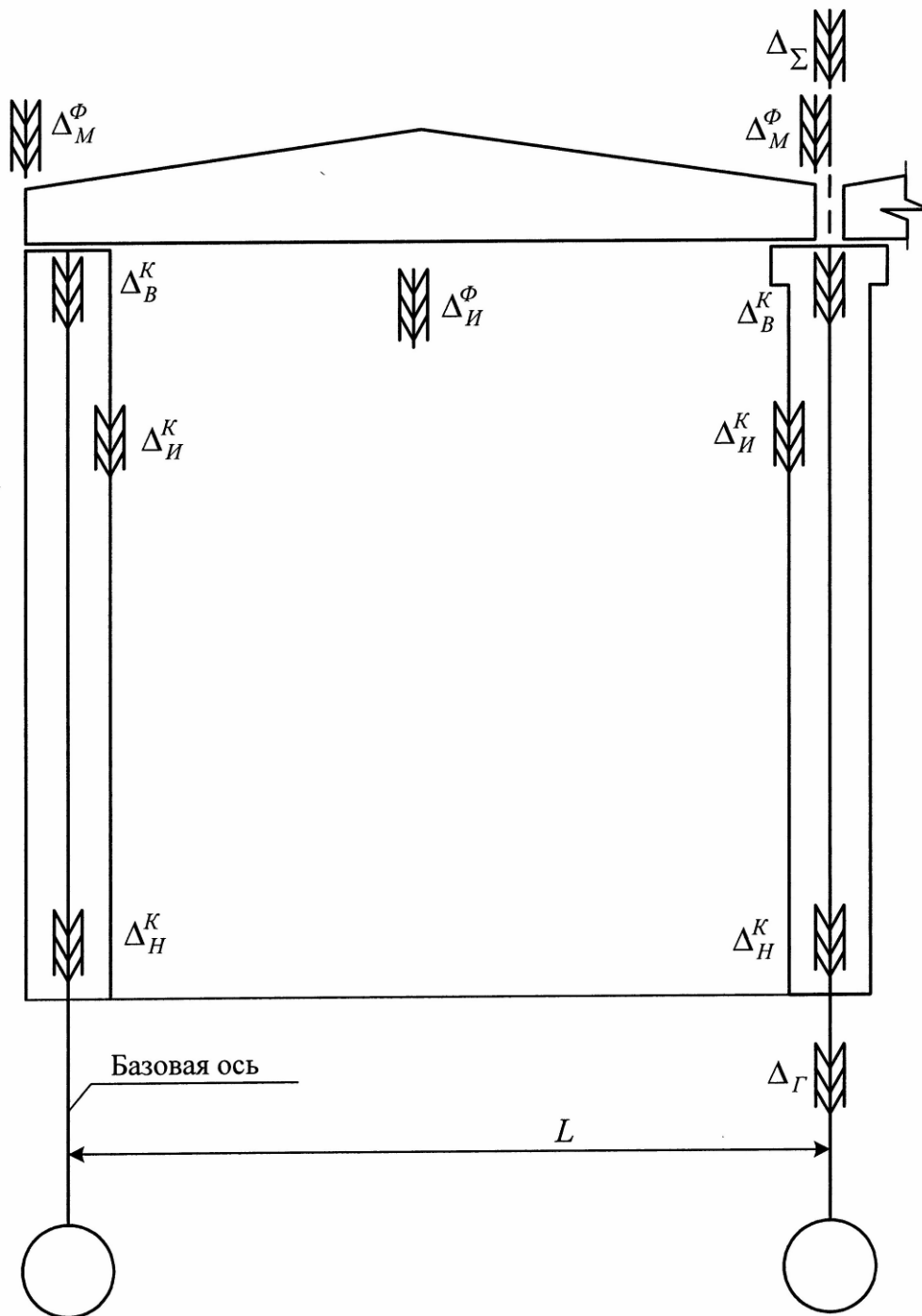


Рис. 4.2. Размерная цепь. Объект 2

### Объект 2

Плоская размерная цепь одноэтажного производственного здания с шифром унифицированной габаритной схемы Б-18-72, представляет раму в один пролет и изображена на рис. 4.2.

Уравнение размерной цепи имеет вид:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\Gamma} + 2\Delta_{И}^K + \Delta_{И}^{\Phi} + 2\Delta_{H}^K + 2\Delta_{B}^K + 2\Delta_{M}^{\Phi}, \quad (4.2)$$

где  $\Delta_{\Gamma}$ ,  $\Delta_{И}^K$ ,  $\Delta_{И}^{\Phi}$ ,  $\Delta_{H}^K$ ,  $\Delta_{B}^K$ ,  $\Delta_{M}^{\Phi}$  - допуски соответственно на разбивку осей на исходном горизонте, изготовления граней колонн, изготовление длин ферм,

смещение низа колонн с разбивочных осей, отклонение колонн от вертикали, монтаж ферм.

Расчет технологических допусков методом «максимума-минимума» можно выполнить двумя способами: равных допусков и равной точности.

*а) способ равных допусков.*

#### Объект 1

Суммарный и функциональный допуски  $\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\Phi} = 80$  мм.

Все допуски на составляющие звенья в размерной цепи принимаются равными:  $\Delta_{\Gamma} = \Delta_{II}^K = \Delta_{II}^P = \Delta_{H1}^K = \Delta_{H2}^K = \Delta_{H4}^K = \Delta_{B1}^K + \Delta_{B3}^K + \Delta_{B4}^K = \Delta_{\Gamma1}^B = \Delta_{\Gamma3}^B = \Delta_M^P = \Delta_i$ , тогда выражение (4.1.) примет вид:  $\Delta_{\Sigma} = 22\Delta_i$ , отсюда  $\Delta_i = \Delta_{\Sigma} / 22 = 80 / 22 = 3,63$  мм.

#### Объект 2

Суммарный и функциональный допуск  $\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\Phi} = 100$  мм. Принимаем технологические допуски равными:  $\Delta_{\Gamma} = \Delta_{II}^K = \Delta_{II}^{\Phi} = \Delta_{H1}^K = \Delta_{B1}^K = \Delta_M^{\Phi} = \Delta_i$ , тогда выражение (4.2.) примет вид  $\Delta_{\Sigma} = 10\Delta_i$ , отсюда  $\Delta_i = \Delta_{\Sigma} / 10 = 10$  мм.

*б) способ равной точности.*

#### Объект 1

При расчете этим способом основная расчетная формула имеет вид:

$$\Delta_{\Sigma} = K_{cp} \left[ I_{\Gamma} + 2I_{II}^K + I_{II}^P + 2I_{H1}^K + 2I_{H2}^K + 2I_{H4}^K + \right. \\ \left. + 2I_{B1}^K + 2I_{B3}^K + 2I_{B4}^K + 2I_{\Gamma1}^B + 2I_{\Gamma3}^B + 2I_M^P \right], \quad (4.3)$$

где  $K_{cp}$  – число единиц допуска или коэффициент точности, принимаемый одинаковым для всех технологических операций;  $I$  – единицы допуска, мм.

Единицы допусков на изготовление деталей и монтаж конструкций определяют по формуле (1.11).

Расчитанные значения единиц допуска на составляющие звенья размерной цепи для объекта 1 приведены в прил.4. Они имеют следующие значения, мм:  $I_{\Gamma} = 9,00$ ;  $I_{II}^K = 6,61$ ;  $I_{II}^P = 21,95$ ;  $I_{H1}^K = I_{H2}^K = I_{H4}^K = 3,97$ ;  $I_{B1}^K = 31,17$ ;  $I_{B1}^K = 40,96$ ;  $I_{B4}^K = 25,71$ ;  $I_{\Gamma1}^B = 2,6$ ;  $I_{\Gamma3}^B = 4,8$ ;  $I_M^P = 13,17$ .

Коэффициент точности определяем по выражению:

$$K_{cp} = \Delta_{\Sigma} / \left( I_{\Gamma} + 2I_{II}^K + I_{II}^P + 2I_{H1}^K + 2I_{H2}^K + 2I_{H4}^K + \right. \\ \left. + 2I_{B1}^K + 2I_{B3}^K + 2I_{B4}^K + 2I_{\Gamma1}^B + 2I_{\Gamma3}^B + 2I_M^P \right), \quad (4.4)$$

$$K_{cp} = 80 / 304,78 = 0,26.$$

Технологические допуски, определяемые по выражению  $\Delta_i = K_{cp} \cdot I_i$ , будут иметь следующие значения, мм:  $\Delta_{\Gamma} = 2,34$ ;  $\Delta_{II}^K = 1,72$ ;  $\Delta_{II}^P = 5,71$ ;  $\Delta_{H1}^K + \Delta_{H2}^K + \Delta_{H4}^K = 1,03$ ;  $\Delta_{B1}^K = 8,10$ ;  $\Delta_{B3}^K = 10,65$ ;  $\Delta_{B4}^K = 6,68$ ;  $\Delta_{\Gamma1}^B = 0,68$ ;  $\Delta_{\Gamma3}^B = 1,25$ ;  $\Delta_M^P = 3,42$ .

#### Объект 2

Расчетная формула имеет вид:

$$\Delta_{\Sigma} = K_{cp} \left[ I_{\Gamma} + 2I_{II}^K + I_M^{\Phi} + 2I_{H1}^K + 2I_{B1}^K + 2I_M^{\Phi} \right]. \quad (4.5)$$

Рассчитанные значения единиц допуска на составляющие звенья размерной цепи для объекта 2 приведены в прил.5. Они имеют следующие значения, мм:  $I_{\Gamma} = 18,00$ ;  $I_{II}^K = 6,61$ ;  $I_{II}^{\Phi} = 30,77$ ;  $I_{H}^K = 3,97$ ;  $I_{B}^K = 32,84$ ;  $I_{M}^{\Phi} = 18,46$ .

Коэффициент точности определяем по выражению:

$$K_{cp} = \Delta_{\Sigma} / (I_{\Gamma} + 2I_{II}^K + I_{II}^{\Phi} + 2I_{H}^K + 2I_{B}^K + 2I_{M}^{\Phi}). \quad (4.6)$$

$$K_{cp} = 100 / 172,53 = 0,58.$$

Технологические допуски будут равны, мм:

$$\Delta_{\Gamma} = 10,44; \Delta_{II}^K = 3,84; \Delta_{II}^{\Phi} = 17,85; \Delta_{H}^K = 2,30; \Delta_{B}^K = 19,04; \Delta_{M}^{\Phi} = 10,71.$$

#### 4.1.2. Расчет точности теоретико-вероятностным методом

Расчет величин технологических допусков теоретико-вероятностным методом можно выполнить тремя способами: попыток; равных допусков; равной точности.

а) *способ попыток* (проверочный расчет).

Объект 1

Основное уравнение размерной цепи имеет вид:

$$\Delta_{\Sigma} = (\Delta_{\Gamma})^2 + 2(\Delta_{II}^K)^2 + (\Delta_{II}^P)^2 + 2(\Delta_{H1}^K)^2 + 2(\Delta_{H2}^K)^2 + 2(\Delta_{H4}^K)^2 + 2(\Delta_{B1}^K)^2 + \quad (4.7)$$

$$+ 2(\Delta_{B3}^K)^2 + 2(\Delta_{B4}^K)^2 + 2(\Delta_{\Gamma1}^B)^2 + 2(\Delta_{\Gamma3}^B)^2 + 2(\Delta_{M}^P)^2$$

где  $\Delta_{\Gamma}$ ,  $\Delta_{II}^K$ ,  $\Delta_{II}^P$ ,  $\Delta_{H1}^K$ ,  $\Delta_{H2}^K$ ,  $\Delta_{H4}^K$ ,  $\Delta_{B1}^K$ ,  $\Delta_{B3}^K$ ,  $\Delta_{B4}^K$ ,  $\Delta_{\Gamma1}^B$ ,  $\Delta_{\Gamma3}^B$ ,  $\Delta_{M}^P$  – соответственно допуски на разбивку осей на исходном горизонте, изготовления граней колонн, изготовления длин ригелей, смещения низа колонн с разбивочных осей первого, второго и четвертого этажей, отклонение колонн от вертикали первого, третьего и четвертого этажей, передачу осей на верх колонн первого и третьего этажей, монтаж ригелей.

При использовании этого способа технологические допуски на строительно-монтажные работы (допуски на составляющие звенья размерной цепи) принимается по СНиП 3.03.01-87, мм:  $\Delta_{II}^K = 6,00$ ;  $\Delta_{II}^P = 20,00$ ;  $\Delta_{H1}^K = \Delta_{H2}^K = \Delta_{H4}^K = 16,00$ ;  $\Delta_{B1}^K = 30,00$ ;  $\Delta_{B3}^K = 40,00$ ;  $\Delta_{B4}^K = 30,00$ ;  $\Delta_{M}^P = 16,00$ .

Согласно СНиП 3.01.03-84 [61], для зданий до 5 этажей средняя квадратическая погрешность при разбивке осей  $m_{\Gamma}/L = 1/3000$ . При пролете длиной 9 м ( $L = 9$  м)  $m_{\Gamma} = 3$  мм.

Показатель ответственности здания  $\gamma_n = 0,95$ , а тогда допуск на разбивку осей будет:  $\Delta = 2t \cdot m = 4 \cdot m = 4 \cdot 3 = 12$  мм.

Если выполнять передачу осей на вышележащие горизонты теодолитом Т-30 при двух положениях вертикального круга, то средние квадратические погрешности передачи осей на верх колонны 1 этажа и 3 этажа, согласно [67], соответственно будут:  $m_{\Gamma1}^B = 0,6$  мм,  $m_{\Gamma3}^B = 1,0$  мм. Тогда допуски будут иметь значения  $\Delta_{\Gamma1}^B = 2,4$  мм,  $\Delta_{\Gamma3}^B = 4,0$  мм. Подставив значения технологических допусков

в выражение (4.7), получим  $\Delta_{\Sigma}=97,31$  мм. По проекту функциональный допуск  $\Delta_{\phi}$  равен 80 мм, т.е.  $\Delta_{\Sigma}>\Delta_{\phi}$ .

Следовательно, собираемость строительных конструкций при соблюдении технологических допусков, заданных в СНиП, не будет обеспечена.

#### Объект 2

Основное уравнение размерной цепи имеет вид:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{(\Delta_{\Gamma})^2 + 2(\Delta_{H1}^K)^2 + (\Delta_{H2}^{\phi})^2 + 2(\Delta_{H3}^K)^2 + 2(\Delta_{B4}^K)^2 + 2(\Delta_{M}^{\phi})^2}. \quad (4.8)$$

Суммарный допуск  $\Delta_{\Sigma}$  принимаем равный функциональному  $\Delta_{\phi}$ , заданному в проекте,  $\Delta_{\Sigma}=\Delta_{\phi}=100$  мм. Технологические допуски на строительномонтажные работы принимаем согласно СНиП 3.03.01-87 [62],  $\Delta_{H1}^K = 10,00$  мм;  $\Delta_{H2}^{\phi} = 30,00$  мм;  $\Delta_{H3}^K = 16,00$  мм;  $\Delta_{B4}^K = 60,00$  мм;  $\Delta_{M}^{\phi} = 16,00$  мм.

Согласно СНиП 3.01.03-84, табл. 2 [61], средняя квадратическая погрешность разбивки осей для зданий до 5 этажей  $m_{\Gamma}/L=1/3000$ , то тогда при пролете  $L=18$  м,  $m_{\Gamma} = 6$  мм. При показателе ответственности здания  $\gamma_n=0,95$  допуск на разбивку осей будет равен  $\Delta_{\Gamma} = 2t \cdot m = 4 \cdot m = 4 \cdot 6 = 24$  мм. Подставив значение технологических допусков в выражение (4.8), получим:  $\Delta_{\Sigma}=99,5$  мм;  $\Delta_{\Sigma}=99,5\text{мм}<\Delta_{\phi}=100$  мм.

Следовательно, собираемость строительных конструкций, при соблюдении принятых (заданных) технологических допусков, будет обеспечена.

#### б) способ равных допусков.

При расчете этим способом все технологические допуски принимаются равными.

#### Объект 1

$$\Delta_{\Gamma} = \Delta_{H1}^K = \Delta_{H2}^{\phi} = \Delta_{H3}^K = \Delta_{H4}^K = \Delta_{B1}^K + \Delta_{B3}^K + \Delta_{B4}^K = \Delta_{\Gamma1}^B = \Delta_{\Gamma3}^B = \Delta_{M}^P = \Delta_i$$

Тогда выражение (4.7) примет вид:  $\Delta_{\Sigma}^2 = 22(\Delta_i)^2$ , а  $\Delta_i^2 = (\Delta_{\Sigma}^2)/22$ . Суммарный допуск  $\Delta_{\Sigma} = 80$  мм, то  $\Delta_i = 17,06$  мм.

#### Объект 2

$$\text{Тогда выражение (4.8) примет вид: } \Delta_{\Sigma} = \sqrt{10(\Delta_i)^2}$$

$$\text{Суммарный допуск } \Delta_{\Sigma}=100 \text{ мм, } \Delta_i = \sqrt{\Delta_{\Sigma}^2/10} = 31,62 \text{ мм.}$$

#### в) способ равной точности (стадия проектирования).

При расчете технологических допусков этим способом для всех составляющих звеньев размерной цепи принимается один класс точности, а технологические допуски определяются, как указывалось в разделе 2, по выражению:  $\Delta_i = K \cdot I_i$ .

#### Объект 1

Тогда основное уравнение размерной цепи (4.7) примет вид:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{K_{cp} \left[ (I_{\Gamma})^2 + 2(I_{H1}^K)^2 + (I_{H2}^P)^2 + 2(I_{H3}^K)^2 + 2(I_{H4}^K)^2 + 2(I_{B1}^K)^2 + 2(I_{B3}^K)^2 + 2(I_{B4}^K)^2 + 2(I_{\Gamma1}^B)^2 + 2(I_{\Gamma3}^B)^2 + 2(I_{M}^P)^2 \right]}. \quad (4.9)$$

Коэффициент точности будет равен:

$$K_{cp} = \Delta_{\Sigma} / \sqrt{\left[ (I_{\Gamma})^2 + 2(I_{H1}^K)^2 + (I_{H2}^P)^2 + 2(I_{H3}^K)^2 + 2(I_{H4}^K)^2 + 2(I_{H4}^K)^2 + \right.} \\ \left. + 2(I_{B1}^K)^2 + 2(I_{B3}^K)^2 + 2(I_{B4}^K)^2 + 2(I_{\Gamma1}^B)^2 + 2(I_{\Gamma3}^B)^2 + 2(I_M^P)^2 \right]}. \quad (4.10)$$

Подставив значение единиц допусков в выражение (4.10), получим  $K_{cp}=0,91$ . По коэффициенту точности  $K_{cp}$  и единицам допусков определяем значения технологических допусков:  $\Delta_{\Gamma} = 8,15$  мм;  $\Delta_{H1}^K = 3,61$  мм;  $\Delta_{B1}^K = 28,36$  мм;  $\Delta_{B3}^K = 37,27$  мм;  $\Delta_{B4}^K = 23,39$  мм;  $\Delta_{\Gamma1}^K = 2,37$  мм;  $\Delta_{\Gamma3}^K = 4,37$  мм;  $\Delta_M^P = 11,97$  мм;  $\Delta_{H1}^K = 6,02$  мм;  $\Delta_{H2}^P = 19,93$  мм.

#### Объект 2

Основное уравнение размерной цепи (4.8) примет вид:

$$\Delta_{\Sigma}^2 = K_{cp}^2 \cdot \left[ (I_{\Gamma})^2 + 2(I_{H1}^K)^2 + (I_{H2}^P)^2 + 2(I_{H3}^K)^2 + 2(I_{H4}^K)^2 + 2(I_M^P)^2 \right]. \quad (4.11)$$

При подстановке значений единиц допусков в выражение (4.11), получим  $K_{cp}=1,51$ . Технологические допуски определяем по коэффициентам точности и единицам допуска ( $\Delta_i = K \cdot I_i$ ). Они будут равны, мм:  $\Delta_{\Gamma} = 27,18$ ;  $\Delta_{H1}^K = 9,98$ ;  $\Delta_{H2}^P = 46,46$ ;  $\Delta_{H3}^K = 5,99$ ;  $\Delta_{H4}^K = 49,59$ ;  $\Delta_M^P = 27,87$ .

### 4.1.3. Расчет точности вероятностно-статистическим методом

а) с учетом уровней производственной базы стройиндустрии.

#### Объект 1

На основании выполненных исследований в разделе 3, установлена точность изготовления конструкций  $\Delta_{H1}^K = 16,12$  мм;  $\Delta_{H2}^P = 39,04$  мм. Суммарный допуск принимаем равным функциональному  $\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\Phi} = 80$  мм.

Коэффициент точности на разбивочные работы и монтаж конструкций определим по выражению:

$$K_{cp}^2 = \frac{\left[ (\Delta_{\Sigma})^2 - \left[ 2(\Delta_{H1}^K)^2 + (\Delta_{H2}^P)^2 \right] \right]}{\left[ (I_{\Gamma})^2 + 2(I_{H1}^K)^2 + 2(I_{B1}^K)^2 + 2(I_{\Gamma1}^B)^2 + 2(I_{H3}^K)^2 + \right.} \\ \left. + 2(I_{B3}^K)^2 + 2(I_{\Gamma3}^B)^2 + 2(I_{H4}^K)^2 + 2(I_{B4}^K)^2 + 2(I_M^P)^2 \right]}. \quad (4.12)$$

Подставив в это выражение значения известных допусков на изготовление деталей и единиц допусков, получим:

$$K_{cp} = 66,00/84,86 = 0,78.$$

Величины технологических допусков вычисляем по формуле  $\Delta_i = K_{cp} \cdot I_i$ , они будут:  $\Delta_{\Gamma} = 7,02$  мм;  $\Delta_{\Gamma1}^B = 2,03$  мм;  $\Delta_{\Gamma3}^B = 3,74$  мм;  $\Delta_{H1}^K = \Delta_{H2}^P = \Delta_{H4}^K = 3,10$  мм;  $\Delta_{B1}^K = 24,31$  мм;  $\Delta_{B3}^K = 31,95$  мм;  $\Delta_{B4}^K = 20,05$  мм;  $\Delta_M^P = 10,26$  мм.

#### Объект 2

На основании выполненных исследований в разделе 3, точность изготовления конструкций  $\Delta_{H1}^K = 28,52$  мм;  $\Delta_{H2}^P = 46,64$  мм.



Суммарный допуск принимаем равный функциональному  $\Delta_{\Sigma}=\Delta_{\phi}=100$ мм. Коэффициент точности на разбивочные работы и монтаж конструкций определим по выражению:

$$K_{cp}^2 = \frac{[(\Delta_{\Sigma})^2 - \{2(\Delta_{II}^K)^2 + (\Delta_{II}^{\phi})^2\}]}{[(I_{\Gamma})^2 + 2(I_{H}^K)^2 + 2(I_{B}^K)^2 + 2(I_{M}^{\phi})^2]} \quad (4.13)$$

Подставив значения известных допусков на изготовление деталей и единиц допусков на разбивочные работы и монтаж конструкций из прил. 5, получим  $K_{cp}=78,73/56,52=1,39$ .

Технологические допуски будут иметь значения  $\Delta_{\Gamma} = 25,02$  мм;  $\Delta_{H}^K = 5,52$  мм;  $\Delta_{B}^K = 45,65$  мм;  $\Delta_{M}^{\phi} = 25,66$  мм.

*б) с учетом уровня производственной базы стройиндустрии и геодезического обеспечения строительства.*

#### Объект 1

При расчете теоретико-вероятностным методом с использованием способа попыток отмечалось, что по СНиП 3.01.03-84 [61] для зданий до 5 этажей рекомендуется разбивку осей выполнять со средней квадратической погрешностью  $m_{\Gamma}/L=1/3000$ , а тогда для зданий с показателем ответственности  $\gamma_n=0,95$  допуск будет  $\Delta = 2t \cdot m = 4 \cdot m = 4 \cdot 3 = 12$  мм. Средняя квадратическая погрешность передачи осей на вышележащие горизонты теодолитом Т-30 при двух положениях вертикального круга при высоте до 10 м  $m_{\Gamma} = \pm 0,6$  мм, а при высоте до 20 м  $m_{\Gamma} = \pm 1,0$  мм.

Тогда для здания с показателем ответственности  $\gamma_n=0,95$  допуски передачи разбивочной оси на верх колонны 1 этажа и 3 этажа будут соответственно равны:  $\Delta_{\Gamma 1}^B = 0,6 \cdot 4 = 2,4$  мм;  $\Delta_{\Gamma 3}^B = 1,0 \cdot 4 = 4,0$  мм.

При расчете технологических допусков с учетом уровня производственной базы было определено, что допуск на разбивку осей равен  $\Delta_{\Gamma} = 7,02$  мм, т.е. значительно меньше, чем требует СНиП 3.01.03-84.

Учитывая, что современные средства измерения и технология производства геодезических разбивочных работ позволяет повысить точность разбивки осей без значительных дополнительных затрат, зададимся средней квадратической погрешностью  $m_{\Gamma}/L=1/5000$ . В этом случае  $m_{\Gamma} = 9000/5000 = 1,8$  мм, а допуск при показателе ответственности здания  $\gamma_n=0,95$  будет  $\Delta_{\Gamma} = 4 \cdot m_{\Gamma} = 7,2$  мм.

Имеем  $\Delta_{\Sigma}=80$  мм;  $\Delta_{II}^K = 16,12$  мм;  $\Delta_{II}^P = 39,04$  мм.

Определим коэффициент точности на монтаж конструкций по выражению:

$$K_{cp} = \frac{(\Delta_{\Sigma})^2 - \{2(\Delta_{II}^K)^2 + (\Delta_{II}^P)^2 + (\Delta_{\Gamma})^2 + 2(\Delta_{\Gamma 1}^B)^2 + 2(\Delta_{\Gamma 3}^B)^2\}}{2(I_{H1}^K)^2 + 2(I_{H2}^K)^2 + 2(I_{H4}^K)^2 + 2(I_{B1}^K)^2 + 2(I_{B3}^K)^2 + 2(I_{B4}^K)^2 + 2(I_M^P)^2} \quad (4.14)$$

Подставив значения известных допусков на изготовление деталей, геодезические разбивочные работы и единиц допусков на монтажные операции, получим значения коэффициента точности  $K_{cp}=0,77$ .

Допуски будут иметь значения:  $\Delta_{H1}^K = \Delta_{H2}^K = \Delta_{H4}^K = 3,06$  мм;  $\Delta_{B1}^K = 24,00$  мм;  $\Delta_{B3}^K = 31,54$  мм;  $\Delta_{B4}^K = 19,80$  мм;  $\Delta_M^P = 10,13$  мм.

#### Объект 2

Для одноэтажного здания, согласно СНиП 3.01.03-84 [61], средняя квадратическая погрешность разбивки осей  $m_r/L=1/3000$ . При пролете  $L=18$  м,  $m_r=6$  мм, а допуск для здания с показателем ответственности  $\gamma_n=0,95$  будет  $\Delta_r = 4 \cdot m_r = 24$  мм.

Учитывая, что современные средства измерения и технология производства геодезических разбивочных работ позволяют повысить точность разбивки осей при возведении зданий без значительных дополнительных затрат, зададимся  $m_r/L=1/4000$ .

В этом случае  $m_r = 18000/4000 = 4,5$  мм, а допуск при показателе ответственности здания  $\gamma_n=0,95$  будет  $\Delta_r = 4 \cdot m_r = 18$  мм. Имеем  $\Delta_\Sigma=100$  мм;  $\Delta_H^K = 28,52$  мм;  $\Delta_H^\Phi = 46,64$  мм.

Определим коэффициент точности на монтаж конструкций по выражению:

$$K_{cp}^2 = \frac{\left[ (\Delta_\Sigma)^2 - \left[ (\Delta_r)^2 + 2(\Delta_H^K)^2 + (\Delta_H^\Phi)^2 \right] \right]}{\left[ 2(I_H^K)^2 + 2(I_B^K)^2 + 2(I_M^K)^2 \right]}. \quad (4.15)$$

Подставив значения известных допусков на изготовление деталей, геодезическую разбивку осей и единиц допусков на монтажные операции, получим значения коэффициента точности  $K_{cp}=76,63/53,57=1,43$ .

Допуски на монтаж конструкций будут иметь значения  $\Delta_H^K = 5,68$  мм;  $\Delta_B^K = 46,96$  мм;  $\Delta_M^\Phi = 26,40$  мм.

*в) с учетом уровня производственной базы стройиндустрии, геодезического обеспечения и технологии строительства.*

Опыт строительства каркасных зданий показывает, что допуски на установку колонн относительно разбивочных осей являются жесткими и на практике при свободном методе монтажа конструкций трудно выполнимы. На точность взаимного положения верха двух колонн оказывают влияние погрешности разбивочных работ, установки колонн относительно разбивочных осей в нижнем сечении и отклонение колонн от вертикали.

Как показывает анализ литературных источников [43, 47] и наши исследования [63, 67, 71, 73, 74], допуски по установке колонн по вертикали практически выполняются даже с некоторым запасом, точность же установки колонн в нижнем сечении относительно разбивочных осей при свободном методе монтажа конструкций не всегда соответствует нормативным требованиям и ниже на отдельных объектах в 1,5-2 раза.

Поэтому, предусматривая это обстоятельство, на стадии разработки проектов работ (ППР) необходимо учитывать также уровни технологии строительства, т.е. обеспечиваемую точность выполнения технологических операций при возведении зданий заданным методом монтажа конструкций.

#### Объект 1

Имеем  $\Delta_{\Sigma}=\Delta_{\phi}=80$  мм;  $\Delta_{H}^K=16,12$  мм;  $\Delta_{H}^P=39,04$  мм;  $\Delta_{\Gamma}=7,2$  мм;  $\Delta_{\Gamma_1}^B=2,4$  мм;  $\Delta_{\Gamma_3}^B=4,0$  мм.

Зададимся значениями допусков на установку колонн в нижнем сечении относительно разбивочных осей равными  $\Delta_{H_1}^K=\Delta_{H_2}^K=\Delta_{H_4}^K=12,0$  мм.

Определим коэффициент точности  $K_{cp}$  на установку колонн по вертикали и монтаж ригелей по выражению:

$$K_{cp}^2 = \frac{\left[ (\Delta_{\Sigma})^2 - \left[ (\Delta_{\Gamma})^2 + 6(\Delta_{H_{1,2,4}}^K)^2 + 2(\Delta_{\Gamma_1}^B)^2 + 2(\Delta_{\Gamma_3}^B)^2 \right] \right]}{\left[ 2(I_{B_1}^K)^2 + 2(I_{B_3}^K)^2 + 2(I_{B_4}^K)^2 + 2(I_M^P)^2 \right]}. \quad (4.16)$$

Подставив величины известных допусков и единиц допусков на установку колонн по вертикали и монтаж ригелей, получим значение коэффициента точности  $K_{cp}=53,82/83,46=0,64$ .

Допуски будут иметь значения:  $\Delta_{B_1}^K=20,10$  мм;  $\Delta_{B_3}^K=26,41$  мм;  $\Delta_{B_4}^K=16,58$  мм;  $\Delta_M^P=8,43$  мм.

#### Объект 2

Имеем  $\Delta_{\Sigma}=\Delta_{\phi}=100$  мм;  $\Delta_{H}^K=28,52$  мм;  $\Delta_{H}^{\phi}=46,64$  мм;  $\Delta_{\Gamma}=18,00$  мм

Зададимся значением допуска на установку колонн относительно разбивочных осей  $\Delta_{H}^K=20,00$  мм. Определим коэффициент точности  $K_{cp}$  на установку колонн по вертикали и монтаж ферм по выражению:

$$K_{cp}^2 = \frac{\left[ (\Delta_{\Sigma})^2 - \left[ (\Delta_{\Gamma})^2 + 2(\Delta_{H}^K)^2 + 2(\Delta_{H}^{\phi})^2 + 2(\Delta_{H}^K)^2 \right] \right]}{\left[ 2(I_B^K)^2 + 2(I_M^K)^2 \right]}. \quad (4.17)$$

Подставив значения известных допусков и единиц допусков на установку колонн по вертикали и монтаж ферм, получим значение коэффициента точности  $K_{cp}=71,22/53,28=1,34$ . Допуск на установку колонн по вертикали будет  $\Delta_B^K=44,01$  мм, а на монтаж ферм  $\Delta_M^{\phi}=24,74$  мм.



окончание таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3. Вероятностно-статистический метод												
а) С учетом уровня произв. базы:												
- допуски, мм	16,12	39,04	7,02	2,03	3,74	3,1	24,31	3,1	31,95	3,1	20,05	10,26
- коэффициенты точности	2,44	1,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
- классы точности	8	7	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3
б) С учетом уровня произв. базы и геодезического обеспеч. стр-ва												
- допуски, мм	16,12	39,04	7,2	2,4	4,0	3,06	24	3,06	31,54	3,06	19,8	10,13
- коэффициенты точности	2,44	1,78	0,8	0,92	0,83	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
- классы точности	8	7	>3	4	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3
в) С учетом уровня произв. базы, геодез. обеспеч. и технологии стр-ва:												
- допуски, мм	16,12	39,04	7,2	2,4	4,0	12,0	20,1	12,0	26,41	12,0	16,6	8,48
- коэффициенты точности	2,44	1,78	0,8	0,92	0,83	3,02	0,64	3,02	0,64	3,02	0,64	0,64
- классы точности	8	7	>3	4	>3	>6	3	>6	3	>6	3	3
4. По экспериментальным данным												
- допуски, мм	16,12	39,04	7,2	2,4	4,0	11,6	18,04	11,84	23,34	11,06	14,91	18,8
- коэффициенты точности	2,44	1,78	0,8	0,92	0,83	2,97	0,58	2,98	0,57	2,97	0,58	1,43
- классы точности	8	7	>3	4	>3	>6	3	>6	3	>6	3	5

Таблица 4.2

**Допуски, коэффициенты и классы точности изготовления элементов,  
разбивочных работ и монтажа конструкций. Объект 2**

Способ расчета	Изготовление		Разбивки	Монтаж		
	$\Delta_H^K$	$\Delta_H^\Phi$		$\Delta_G$	$\Delta_H^K$	$\Delta_B^K$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
1. Метод максимума-минимума						
а) Способ равных допусков:						
- допуски, мм	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
- коэффициенты точности	0,66	0,33	0,56	2,5	0,3	0,54
- классы точности	5	3	3	6	1	3
б) Способ равной точности:						
- допуски, мм	3,84	17,85	10,44	2,3	19,04	10,71
- коэффициенты точности	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
- классы точности	5	5	3	3	3	3
2. Теоретико-вероятностный						
а) Способ попыток:						
- допуски, мм	10,0	30,0	24,0	16,0	60,0	16,0
- коэффициенты точности	0,66	0,98	1,33	4,03	1,72	0,87
- классы точности	5	6	>4	>6	>5	>3
б) Способ равных допусков:						
- допуски, мм	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62	31,62
- коэффициенты точности	4,78	1,07	1,76	7,96	0,91	1,71
- классы точности	9	6	>5	>6	4	>5
в) Способ равной точности:						
- допуски, мм	9,98	46,46	27,18	5,99	49,59	27,87
- коэффициенты точности	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51
- классы точности	7	7	5	5	5	5

1	2	3	4	5	6	7
3. Вероятностно-статистический метод						
а) С учетом уровня произв. базы:						
- допуски, мм	28,52	46,64	25,02	5,52	45,65	24,66
- коэффициенты точности	4,3	1,51	1,39	1,39	1,39	1,39
- классы точности	9	7	>4	>4	>4	>4
б) С учетом уровня произв. базы и геодезического обеспеч. стр-ва						
- допуски, мм	28,52	46,64	18,0	5,68	46,96	26,4
- коэффициенты точности	4,3	1,51	1	5,04	1,34	1,34
- классы точности	9	7	4	>6	>4	>4
в) С учетом уровня произв. базы, геодез. обеспеч. и технологии стр-ва:						
- допуски, мм	28,52	46,64	18,0	20,0	44,01	24,74
- коэффициенты точности	4,3	1,51	1,0	5,04	1,34	1,34
- классы точности	9	7	4	>6	>4	>4
4. По экспериментальным данным						
- допуски, мм	28,52	46,64	18,0	20,0	29,98	19,50
- коэффициенты точности	4,3	1,51	1,0	5,04	0,86	1,06
- классы точности	9	7	4	>6	>3	>4

Таким образом, перераспределив значения технологических допусков на отдельные операции с учетом уровней производственной базы стройиндустрии, геодезического обеспечения и технологии строительства, может быть обеспечена собираемость конструкций с соблюдением функционального допуска на возведение зданий. Рассчитанные технологические допуски разными методами для объекта 1 приведены в табл. 4.1., а для объекта 2 в табл. 4.2.

Аналогичные расчеты технологических допусков по известным и предложенным методам выполнены для многоэтажного здания учебного корпуса медицинского института (объект 3), одноэтажных производственных зданий-корпусов дрожжевого завода в г. Омске (объекты 4, 5 и 6).

Результаты расчетов технологических допусков и экспериментальных исследований точности изготовления деталей и монтажа конструкций приведены в прил. 6 и в прил. 7.

Сравнивая рассчитанную точность технологических операций строительно-монтажного процесса можно установить, что при расчетах с применением метода максимума-минимума получены неоправданно жесткие допуски. Поэтому использование его нецелесообразно при расчетах допусков на монтаж строительных конструкций.

Вероятностный метод расчета с применением способа равных допусков, хотя и позволяет распределить функциональный (суммарный) допуск (замыкающего звена цепи), но это распределение носит приближенный характер и вопросы о рациональном назначении норм точности на отдельные операции остаются нерешенным.

При расчете размерных цепей вероятностным методом с применением способа попыток, допуски на строительно-монтажные работы принимаются по проекту или назначаются по СНиП. Но в производственной практике нормы точности на строительно-монтажные работы при возведении зданий не всегда соблюдаются, а поэтому рассчитанные допуски на возведение строительных конструкций зданий в этом случае не будут отвечать действительному положению.

Расчет размерных цепей вероятностным методом с применением способа равной точности предусматривает назначение допусков на все технологические операции по среднему коэффициенту точности и одному классу точности. Этот способ позволяет более рационально распределить функциональный (суммарный) допуск между технологическими операциями строительно-монтажного процесса на стадии проектирования зданий.

Вероятностно-статистический метод расчета технологических допусков с учетом уровня производственной базы стройиндустрии (с точки зрения обеспечения геометрической точности изготовления деталей) позволяет определять более рациональные нормы точности на строительно-монтажные и геодезические разбивочные работы на стадии возведения зданий (при разработке ППР).

Когда же известен уровень геодезического обеспечения и технологии строительства допуски на монтаж конструкций лучшим образом соответствуют действительной точности по экспериментальным данным на все операции,



кроме установки колонн в нижнем сечении относительно разбивочных осей. Рассчитанная норма на эту операцию по всем объектам очень жесткая.

Автором предложено при расчете единицы допуска на эту операцию в выражении (1.11) вместо коэффициента  $\alpha = 0,6$  ввести значение этого коэффициента  $\alpha=1,6$ , т.е. увеличить его в 2,5 раза. В этом случае значение допусков  $\Delta_H^K$  будут лучшим образом соответствовать реальным значениям при монтаже строительных конструкций.

#### **4.2. Рекомендации по расчету и назначению точности монтажа строительных конструкций на стадиях проектирования и возведения зданий.**

Методы расчета технологических допусков в п.4.1. показали, что выполняемые на стадии проектирования зданий точностные расчеты осуществляются с учетом обеспечения нормативных допусков на изготовление и монтаж строительных конструкций. А это не всегда имеет место в практике строительства.

Для повышения качества строительства необходимо при расчетах технологических допусков на монтаж конструкций на стадии проектирования зданий применять вероятностный метод с использованием способа равной точности, который позволяет рассчитывать более обоснованные нормы точности на геометрические параметры конструкций.

На стадии возведения зданий, при разработке проектов производства работ (ППР), технологические допуски необходимо рассчитывать усовершенствованным (вероятностно-статистическим) методом с учетом уровней производственной базы стройиндустрии, геодезического обеспечения и технологии строительства, а назначение норм точности (средних квадратических погрешностей) осуществлять с учетом показателей ответственности зданий.

В практике строительства при нормировании точности монтажа конструкций могут быть использованы 4 варианта [72].

I вариант. В проекте указана величина функционального допуска. Строительная организация не имеет опыта возведения зданий и сооружений подобного типа. Технологические допуски можно рассчитать вероятностным методом с применением способа равной точности. В этом случае допуски на все технологические операции следует назначать по среднему коэффициенту точности  $K_1$ , определяемому по выражению (2.13).

II вариант. Функциональный допуск приведен в проекте. Строительная организация не имеет опыта строительства подобных зданий и сооружений, но установлен уровень производственной базы стройиндустрии (с точки зрения обеспечения геометрических параметров конструкций) на основании статистических исследований точности поступающих деталей на строительную площадку. Технологические допуски на строительные-монтажные и разбивочные работы следует рассчитывать вероятностно-статистическим методом с использованием способа равной точности с учетом уровня производственной базы

стройиндустрии и назначать по коэффициенту точности  $K_2$ , определяемому по выражению (2.18).

III вариант. Функциональный допуск задан в проекте. Строительная организация имеет опыт строительства. Известны уровни производственной базы стройиндустрии и геодезического обеспечения строительства. Технологические допуски на монтаж конструкций следует рассчитывать вероятностно-статистическим методом с применением способа равной точности с учетом уровней производственной базы стройиндустрии, геодезического обеспечения строительства и назначать по коэффициенту точности  $K_3$ , определяемому по выражению (2.19).

IV вариант. Функциональный допуск известен. Строительная организация имеет опыт строительства, известны уровни производственной базы стройиндустрии, геодезического обеспечения и технологии строительства при выполнении отдельных монтажных операций. Технологические допуски на неизвестные монтажные операции следует рассчитывать вероятностно-статистическим методом с применением способа равной точности с учетом уровней производственной базы стройиндустрии, геодезического обеспечения и технологии строительства и назначать по коэффициенту  $K_4$ , определяемому по выражению (2.20).

В СНиП 3.03.01-87 [62] на строительные-монтажные работы, как отмечалось выше, приведены допускаемые предельные отклонения или предельные погрешности, а в СНиП 3.01.03-84 [61] на геодезические работы в строительстве средние квадратические погрешности.

Технологические допуски  $\Delta_i$  и допускаемые предельные отклонения  $\delta_i$  следует обеспечивать с необходимой доверительной вероятностью  $P$ . Значение доверительной вероятности  $P$ , как показано п. 2.3, рекомендуется принимать в зависимости от показателей ответственности  $\gamma_n$  возводимых зданий. Точность технологических операций по возведению строительных конструкций целесообразно нормировать средними квадратическими отклонениями  $\sigma$  или средними квадратическими погрешностями  $m$ , подобно как в СНиП 3.01.03-84 [61].

При возведении строительных конструкций зданий соответственно I, II и III уровней ответственности следует назначать нормы точности (средние квадратические отклонения  $\sigma$ ), рассчитываемые по выражениям (2.36), (2.37) и (2.38), то есть при:

$$\begin{aligned} 0,95 < \gamma_n \leq 1,2, \quad t = 3, \quad P = 0,997 \quad \sigma = \Delta/6 = \pm \delta/3; \\ \gamma_n = 0,95, \quad t = 2, \quad P = 0,95 \quad \sigma = \Delta/4 = \pm \delta/2; \\ 0,8 \leq \gamma_n \leq 1,2, \quad t = 1,65, \quad P = 0,9 \quad \sigma = \Delta/3,3 = \pm 1,65. \end{aligned}$$

Предложенные рекомендации позволяют рассчитывать и назначать наиболее обоснованные нормы точности на монтаж конструкций при возведении зданий.

## **Заключение**

Анализ публикаций и нормативных документов, регламентирующих точность возведения строительных конструкций, показал, что величины допусков назначаются без учета уровней производственной базы стройиндустрии, геодезического обеспечения и технологии строительства, показателей ответственности зданий и сооружений. Поэтому вопросы обоснования точности возведения сборных зданий и сооружений являются актуальными в настоящее время.

Технологические допуски, рассчитанные на стадии проектирования зданий и сооружений без учета вышеотмеченных факторов, не всегда выполняются на производстве, что отражается на качестве строительства. Настоящая работа посвящена совершенствованию метода расчета технологических допусков и обоснованию точности монтажа строительных конструкций зданий.

Проведенные исследования на конкретных объектах позволили установить действительную точность изготовления и монтажа строительных конструкций, а затем обосновать допуски и классы точности на возведение сборных зданий с учетом показателей их ответственности, уровней производственной базы стройиндустрии, геодезического обеспечения и технологии строительства.

Все это способствует назначению обоснованных норм точности и снижению трудоемкости монтажа конструкций, повышению их собираемости, надежности и качества строительства объектов в целом.

## Библиографический список

1. Авиром Л.С. Допуски размеров бетонных и железобетонных элементов сборных зданий. Труды IV сессии АСиА СССР по вопросам сборного и предварительно напряженного железобетона. Госстройиздат, 1959.
2. Авиром Л.С. Допуски в крупноэлементном жилищном строительстве.- Л.:Госстройиздат, 1963.-164с.
3. Авиром Л.С. Надежность конструкций сборных зданий и сооружений.- Л.:Стройиздат, 1971.-216с.
4. Баранов Г.Г. О выборе допусков, обеспечивающих заданную точность механизма и наименьшую себестоимость его изготовления. /Тр.ин-та машиноведения.-М.:АН СССР, 1956.-Вып. II.-с.40-47.
5. Баранов Г.Г. Зависимость стоимости от изменения допуска / Тр.ин-та машиноведения. -М.:АН СССР, 1957.-Вып. II.-с.62-65.
6. Башлай К.И. О допусках в сборных железобетонных элементах зданий. Труды IV сессии АСиА СССР по вопросам сборного и предварительно напряженного железобетона. Госстройиздат, 1959.
7. Беляев Б.И. Улучшение качества строительства путем внедрения единой научно обоснованной системы допусков на размеры строительных изделий. Труды V сессии АСиА СССР. Госстройиздат, 1960.
8. Беляев Б.И. О точности изготовления и монтажа стальных конструкций "Промышленное строительство", 1961, №4.
9. Бородачев Н.А. Основные вопросы теории точности производства.-М.:АН СССР, 1950.
10. Видуев Н.Г. Теория размерных цепей и ее применение для расчета точности разбивочных работ //Инженерная геодезия. Респ. межвед. науч. техн. сб.- Киев. 1966.-Вып. III.- с.3-7.
11. Видуев Н.Г., Кондра Г.С. Вероятностно-статистический анализ погрешностей измерений.-М.:Наука, 1969, -320с.
12. Войтенко С.П. Расчет точности пространственного положения узлов сборных инженерных сооружений. -М.: Инженерная геодезия. Респ. межвед. науч.-техн. сб.-Киев, 1972,-Вып. 10. –с.10-17.
13. Временные технические условия на монтаж стальных конструкций многоэтажных зданий в г.Москве. ВТУ-04-49.- М., 1949.
14. Выпшис А.П., Парасонис И.И., Клевцов В.А. Обеспечение точности геометрических параметров монтажа конструкций одноэтажных каркасов промышленных зданий. //Промышленное строительство.-1988.-№6.с.37-38.
15. Гаевой А.Ф., Ключко В.С. Исследование точности основных геометрических параметров 24- этажного каркасно-панельного здания. // Изв. вузов "Строительство и архитектура".-1981. -№6. –с.87-90.
16. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. - М.: Высшая школа, 1977.-479с.

17. Гончаренко Д.Ф. Исследование влияния точности изготовления и монтажа сборных железобетонных конструкций на эффективность возведения многоэтажных каркасных зданий. Автореф. дис. .... к.т.н.. Харьков, 1982.
18. ГОСТ 21778-76. Система обеспечения геометрической точности в строительстве. Основные положения. Госстрой СССР.-М.: Изд-во стандартов, 1976.-9с.
19. ГОСТ 21779-76. Система обеспечения геометрической точности в строительстве. Технологические допуски геометрических параметров. Госстрой СССР.-М.:Изд-во стандартов, 1976,-11с.
20. ГОСТ 21780-76. Система обеспечения геометрической точности в строительстве. Госстрой СССР.-М.:Изд-во стандартов, 1976.-9с.
21. ГОСТ 23615-79. Система обеспечения геометрической точности в строительстве. Статистический анализ. Госстрой СССР.-М.:Изд-во стандартов, 1979,-19с.
22. ГОСТ 23616-79. Система обеспечения геометрической точности в строительстве. Общие правила контроля точности.-М.:Изд-во стандартов, 1979.-10с.
23. ГОСТ 21778-81(СТ СЭВ 2045-79). Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения. Госстрой СССР.-М.:Изд-во стандартов, 1981.-9с.
24. ГОСТ 21779-82(СТ СЭВ). Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски. Госстрой СССР.-М.:Изд-во стандартов, 1982.-22с.
25. ГОСТ 21780-83 (СТ СЭВ 3740-82). Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности. Госстрой СССР.-М.:Изд-во стандартов, 1984.-13с.
26. ГОСТ 26607-85 (СТ СЭВ 4416-83). Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Функциональные допуски. Госстрой СССР.-М.:Изд-во стандартов, 1985.-14с.
27. Дзяман Г.Д. О точности возведения сборных зданий повышенной этажности двумя методами и установки колонн в проектное положение.//Исслед. по геодезии, аэрофотосъемке, картографии.-М., 1976,-Вып.1-с.107-112.
28. Длин А.М. Математическая статистика в технике.-М.:Советская наука, 1958.-466с.
29. Дунаев П.Ф. Размерные цепи. -М.:Машгиз, 1963.-308с.
30. Егнус М.Я., Каграманов Р.А., Левинзон, Каковкина З.А. Возведение каркасных жилых и общественных зданий.- М.:Стройиздат, 1972.-296с.
31. Егнус М.Я., Каграманов Р.А., Левинзон А.Л. Технологическое обеспечение сборки зданий. М.:Стройиздат, 1979.-344с.
32. Жван В.Д., Совершенствование технологии временного крепления и выверки строительных конструкций одноэтажных промышленных зданий. Автореф. дисс. .... к.т.н.. Харьков, 1981.
33. Иванушкин И.С. Разбивка осей жилых и промышленных зданий и допуски при их монтаже. М.:Госстройиздат, 1963.
34. Инструкция по топографо-геодезическим работам для городского, промышленного и поселкового строительства. СН 212-62. М.:Госстройиздат, 1962.

35. Калугин В.А. Технологическое обеспечение точности монтажа базовых элементов в строительстве. Автореф. дисс. .... к.т.н..М.,1986.
36. Каратаев А.Л. Совершенствование методов установки сборных железобетонных конструкций промышленных зданий с целью повышения точности и надежности монтажа. Автореф. дисс. .... к.т.н..Днепропетровск,1977.
37. Крамер Г. Математические методы статистики. -М.:Мир,1975.-648с.
38. Котлов А.Ф. Исследование некоторых вопросов точности монтажа крупнопанельных зданий повышенной этажности."Изв.вузов.Строительство и архитектура",1977,№11 с.114-117.
39. Лаковский Д.М., Колечицкая И.В., Эглит В.И. Расчет точности несущих конструкций каркасных зданий.М.:Стройиздат,1972.-142с.
40. Лукьянов В.Ф. Расчеты точности инженерно-геодезических работ.- М.:Недра,1981, -285с.
41. Мазин М.Р. О точности монтажа железобетонных колонн промышленных зданий."Промышленное строительство",1966, №2.
42. Мисковец В.К. Разбивка и выверка конструкций сборных зданий. М. : Стройиздат, 1969.
43. Мкртчян С.Ц. Технологическое обеспечение точности сборки железобетонных конструкций одноэтажных производственных зданий. Автореф. дисс. ...к.т.н..М.,1987.
44. Нагнибеда П.М. Анализ точности монтажа многоэтажных полносборных зданий //Жилищное строительство.-1974.-№10.-с.9-11.
45. Небылов Н.А.,Серебряков Б.И. Допуски на изготовление и монтаж строительных конструкций. Л.:Стройиздат,1967.-127с.
46. Отставнов В.А.,Смирнов А.Ф.,Райзер В.Д., Сухов Ю.Д. Учет ответственности зданий и сооружений в нормах проектирования строительных конструкций.// Строительная механика и расчет сооружений. -1981. -№1.
47. Парасонис И.И. Обеспечение точности геометрических параметров монтажа сборных железобетонных конструкций.-Вильнюс,Литовская академия управления,1991,188 с.
48. Попов Н.Н., Забегаев А.В. Проектирование и расчет железобетонных конструкций. Уч. пособие. – М.Высш.шк.,1985.- 389 с.
49. Правила учета степени ответственности зданий и сооружений при проектировании конструкций// Бюлл. строительной техники.-1981. -№7.
50. Рекомендации по расчету точности сборки конструкций зданий. //ЦНИИОМТП Госстроя СССР.-М.:Стройиздат,1983.-134с.
51. Руководство по расчету геометрической точности каркасных общественных зданий //ЦНИИЭП учебных зданий.-М.:Стройиздат,1987,-112с.
52. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений.-М.:Наука,1969.-511с.
53. СНиП I-A.4-62. Система допусков. Основные положения. Госстройиздат,1962.
54. СНиП I-B.5.1-62. Железобетонные изделия для зданий. Госстройиздат,1962.

55. СНиП III-B/3-62. Бетонные и железобетонные конструкции сборные. Правила производства и приемки монтажных работ. Госстройиздат, 1962. –18 с.
56. СНиП III-B.5-62. Металлические конструкции. Правила производства и приемки монтажных работ. Госстройиздат, М.: Стройиздат, 1962.
57. СНиП III-16-73. Бетонные и железобетонные конструкции сборные. Правила производства и приемки работ. Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1973. –32с.
58. СНиП III-2-75. Геодезические работы в строительстве. Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1976. –23с. Основные положения
59. СНиП III–16-80. Бетонные и железобетонные конструкции сборные. Правила производства и приемки работ. Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1981. –32 с. сборные
60. Система допусков в строительстве./ЦННИЭП учебных зданий.- М.: Стройиздат, 1981. –62с.
61. СНиП 3.01.03-84. Геодезические работы в строительстве. Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. –28с.
62. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции. Госстрой СССР. – М. :ЦИТП Госстроя СССР, 1988.
63. Синютина Т.П., Кокуленко С.Ю. Исследование точности монтажа железобетонных конструкций многоэтажных каркасных зданий. //Матер.международ. науч.-практ. конференции "Город и транспорт". Ч.II. СибАДИ.-Омск, 1996. – с.56-57.
64. Сокольский Я.А. О точности геодезической разбивки осей каркасно-панельных зданий. Автореф. дис. .... к.т.н. М.: МИСИ, 1971, -18с.
65. Столбов Ю.В., Столбов В.В. Предложения по созданию единой взаимосвязанной системы допусков СНиП. //Стр-во в Зап. Сибири: Сб. науч. тр./СибАДИ, -Омск. 1975. -Вып.45. –с.67-71.
66. Столбов Ю.В. Основы расчета и анализа точности возведения сборных зданий и сооружений. //Учебное пособие.-Омск :СибАДИ, 1981. –63с.
67. Столбов Ю.В. Статистические методы контроля качества строительномонтажных работ. –М.: Стройиздат, 1982. –87с.
68. Столбов Ю.В., Воловник Н.С. Точность монтажа и трудоемкость геодезической выверки железобетонных конструкций.- М., 1990.-Деп. В ВНИИТПИ Госстроя СССР, 02.07.90., №10732.
69. Столбов Ю.В., Воловник Н.С. О назначении оптимальных допусков на разбивочные и строительномонтажные работы при возведении сооружений. //Геодез. обесп. строительства, монтажа и эксплуатации инж. сооруж.: Межвед. темат. сб. науч. тр./НИИПГ. –М.: ЦНИИГАИК, 1991.- с.42-46.
70. Столбов Ю.В., Кокуленко С.Ю., Синютина Т.П. Нормирование точности разбивочных работ при возведении зданий и сооружений из унифицированных железобетонных элементов. //Сб. науч. тр. ОмСХИ.-Омск, 1993.- с.39-41.
71. Столбов Ю.В., Синютина Т.П., Кокуленко С.Ю. Вероятностно-статистический метод расчета точности строительномонтажных и разбивочных работ при строительстве многоэтажных каркасных зда-

- ний.//Матер.межд.науч.-практ-конф."Город и транспорт ".Ч.II СибАДИ. – Омск,1996, -с. 53-55.
72. Столбов Ю.В., Синютина Т.П., Кокуленко С.Ю. Рекомендации по расчету и назначению технологических допусков при возведении сооружений.//Тез.докл.международ.науч.техн.конф."Атомобильные дороги Сибири".-Омск,СибАДИ,1998.
73. Столбов Ю.В., Кокуленко С.Ю., Ляшко С.В. Обоснование точности детальной разбивки осей и монтажа конструкций при возведении одноэтажных зданий дрожжзавода в городе Омске.//Строительство в новых хозяйственных условиях:Сб.науч.тр.-Омск.Изд-во СибАДИ,1999. –с.22-31.
74. Столбов Ю.В., Синютина Т.П., Кокуленко С.Ю. Расчет точности монтажа железобетонных конструкций многоэтажных зданий с учетом уровней производственной базы и геодезического обеспечения строительства. //Строительство в новых хозяйственных условиях:Сб.науч.тр. –Омск.Изд-во СибАДИ,1999. –с.31-38.
75. Столбов Ю.В., Кокуленко С.Ю., Ляшко С.В. Разработка методики расчета и контроля точности строительно-монтажных и разбивочных работ при возведении зданий и сооружений с учетом показателей их ответственности.//Науч.техн.отчет(промеж.ч.1)межвуз.науч.-техн.програм."Архитектура и строительство " 4 напр. тема 4.2.1.г, гос.рег.01950004915.Омск : СибАДИ, 1995 г.,19 с.
76. Сытник В.С. Основы расчета и анализа точности геодезических измерений в строительстве.- М.:Стройиздат,1974. –192с.
77. Технические условия на изготовление и приемку сборных железобетонных и бетонных конструкций и деталей.СН-I-57,-М.:Стройиздат,1958. –22с.
78. Технические условия на изготовление и приемку железобетонных и бетонных изделий.СН-I-61.-М.:Стройиздат,1961. –24с.
79. Технология строительного производства : Учебник для вузов/под ред. Г.М.Бадьина и А.В.Мещаниного. – Л.:Стройиздат,1987. – 606 с.
80. Технология строительных процессов :Учебник для вузов /А.А.Афанасьев, Н.Н.Данилов,В.Д.Копылов и др.Под ред. Н.Н.Данилова,О.М.Терентьева.- М.:Высш.шк.,1997.-464 с.
81. Торкатюк В.И. О точности монтажа каркасных зданий."Жилищное строительство ",1972, №1. –с.14-17.
82. Указания по монтажу сборных железобетонных конструкций.СН-180-61.- М.:Стройиздат,1961.28с.
83. Указания по применению сборных железобетонных конструкций и деталей в строительстве.У-107-56. –М.:Госстройиздат,1956. –29с.
84. Федосеев Д.Н. Качество сборочных операций.-Л.:Машиностроение,1971. – 248с.
85. Чернышев С.Ф. Монтаж крупнопанельных и крупноблочных зданий."Висца школа".Киев.-1975. –120с.
86. Чмчян Т.Т. Расчеты точности геодезических работ в строительстве.-М.: Недра,1988. –150с.



- 87.Эглит В.И. Допуски в конструкциях из сборного железобетона.- М.:Госстройиздат,1963. –95с.
- 88.ГОСТ 27751-88. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету.Госстрой СССР М.:Изд-во стандартов,1988. - 9с.(изм.№ 1 1999 г.)
- 89.Borkowy K. Wyszkodokfadne pomiary deformacji liniowych zelbetowych elementow prefabrykowanych."Prz.geod.",1987. №5,p.8-9.
- 90.Goretzki W. Statistische Untersuchungen des Auflagers von horizontalen Bauelementen//Bauzeitung. –1977. -№8. –P.411-413.
- 91.Heinicke G. Wirtschaftlichkeit und wertigkeit von passungen. –Montage problem in Industrie –bau,Berlin,1966, s.59-63.
- 92.Herda M. Checking accuracy design of prefabricated elements and structures in building industry."Sb/ Vyzk.pr VUGTK", 1974, №8, 141-154.
- 93.Priehl H.,Runkiewez L.,Szkwarek J. Sympozja szczecioskie na temat przyczyn i zapobiegania awariom konstrukcji budowlanych //Prezeglad Budowlany.-1990. - №5. –P.299-301.

## Приложение 1

### Пределные допускаемые отклонения от размеров сборных железобетонных и бетонных изделий, мм (СН-180-61)

Наименование изделий	Допускаемые отклонения в мм, не более		
	по длине	по ширине сечения	по толщине или высоте сечения
Панели, настилы и плиты перекрытий	±10	±5	±5
Плиты и панели перекрытий	±10	±5	±5
Стеновые панели	±10	±5	±5
Фундаментные блоки жилых, общественных и промышленных зданий	±15	±15	±10
Внутренние размеры стаканов фундаментных блоков	±15	±15	±20
Колонны	±10	±5	±5
То же, на высоту колонн от основания до верха консоли	-5	-	-
Подкрановые балки	±10	±5	±5
Балки и фермы покрытий пролетом до 18 м	±10	±5	±5
То же, более 18 м	±20	±5	±5
Ригели и прогоны	±10	±5	±5
Лестничные марши	±5	±5	±5
Лестничные площадки	-5	-	-3

**Допускаемые отклонения при монтаже сборных железобетонных конструкций, мм (СН-180-61)**

Наименования отклонений	Жилые и гражданские здания	Промышленные здания	
		одноэтажные	многоэтажные
<u>Смещение относительно разбивочных осей:</u>			
а) осей фундаментных блоков нижнего ряда	-	±20	-
б) верхнего ряда	-	±10	-
в) осей стаканов фундаментов	±5	±5	±5
<u>Отклонение в отметках верхних опорных поверхностей фундаментов от проектных</u>	±3	±5	±3
<u>Смещение осей колонн в нижнем сечении относительно разбивочных осей</u>	±5	±5	±5
<u>Отклонение осей колонны от вертикали в верхнем сечении при высоте колонн в м:</u>			
до 5.....	±5	-	±5
от 5 до 10.....	-	±5	±10
от 10 до 20.....	-	±20	-
<u>Отклонения в отметках опорных площадок и консолей колонн</u>	±5	±5	-
<u>Смещение осей балок, ферм, ригелей и прогонов относительно разбивочных осей</u>	±5	±5	±5
<u>Разница в отметках верхней поверхности элементов перекрытий в пределах выверяемого участка</u>	±5	±5	±5
<u>Смещение продольной оси подкрановой балки от проектной</u>	-	±5	-
<u>Отклонения в отметках верхних полок подкрановых балок</u>	-	±5	-

Вид допусков и формулы для вычисления значения единицы допуска

ГОСТ 21779-82

Характеристика технологического процесса или операции	Вид допуска геометрического параметра	Формула для вычисления	Значение $\alpha$
Изготовление	Допуск линейного размера	$I = \alpha_i (0,8 + 0,001\sqrt{L}) \times$ $\times (\sqrt[3]{L + 25} + 0,01\sqrt[3]{L^2}),$ где L, мм	1,0
	Допуск прямолинейности		1,0
	Допуск плоскостности		1,0
	Допуск перпендикулярности		0,6
	Допуск равенства диагоналей		1,0
Разбивка	Допуск разбивки точек и осей в плане	$I = \alpha_i \cdot L,$ где L, мм	1,0
	Допуск передачи точек и осей по вертикали		0,4
	Допуск створности точек		0,25
	Допуск разбивки высотных отметок		0,6
	Допуск передачи высотных отметок		0,25
	Допуск перпендикулярности осей		0,4
Установка (монтаж)	Допуск совмещения ориентиров	$I = \alpha_i (0,8 + 0,001\sqrt{L}) \times$ $\times (\sqrt[3]{L + 25} + 0,01\sqrt[3]{L^2}),$ где L, мм	1,6
	Допуск симметричности установки		0,6

**Расчет единиц допусков на изготовление деталей, геодезические разбивочные и строительно-монтажные работы. Объект 1**

Расчетные значения	$\sqrt{L}$	$0,8+0,001\sqrt{L}$	$\sqrt[3]{L+25}$	$0,01\sqrt[3]{L^2}$	$\sqrt[3]{L+25} + 0,01 \cdot \sqrt[3]{L^2}$	$\alpha$	$I_i = \alpha(0,8+0,001\sqrt{L}) \times$ $\times (\sqrt[3]{L+25} + 0,01 \cdot \sqrt[3]{L^2});$ $I_{\Gamma} = \alpha_i \cdot L$
400	20,00	0,82	7,52	0,54	8,06	1,0	$I_{И}^K = 6,61$
400	20,00	0,82	7,52	0,54	8,06	0,6	$I_{И1}^K = 3,97$
6500	80,623	0,88	18,66	3,48	22,14	1,6	$I_{Б1}^K = 31,17$
12000	109,544	0,91	22,895	5,24	28,135	1,6	$I_{Б3}^K = 40,96$
4120	64,187	0,864	16,03	2,57	18,6	1,6	$I_{Б4}^K = 25,71$
8560	95,52	0,89	20,476	4,185	24,661	0,6	$I_{М}^P = 13,17$
9000	-	-	-	-	-	1,0	$I_{\Gamma} = 9,0$
8560	92,52	0,89	20,76	4,18	24,66	1,0	$I_{И}^P = 21,95$
6500	-	-	-	-	-	0,4	$I_{\Gamma1}^B = 2,6$
12000	-	-	-	-	-	0,4	$I_{\Gamma3}^B = 4,8$

**Расчет единиц допусков на изготовление деталей, геодезические разбивочные и строительно-монтажные работы. Объект 2**

Расчетные значения	$\sqrt{L}$	$0,8+0,001\sqrt{L}$	$\sqrt[3]{L+25}$	$0,01\sqrt[3]{L^2}$	$\sqrt[3]{L+25} + 0,01 \cdot \sqrt[3]{L^2}$	$\alpha$	$I_i = \alpha(0,8 + 0,001\sqrt{L}) \times$ $\times (\sqrt[3]{L+25} + 0,01 \cdot \sqrt[3]{L^2});$ $I_r = \alpha_i \cdot L$
18000	-	-	-	-	-	1,0	$I_r = 18 \text{ мм}$
400	20,00	0,82	7,52	0,54	8,06	1,0	$I_H^K = 6,61 \text{ мм}$
7200	84,85	0,89	19,33	3,73	23,06	1,6	$I_B^K = 32,84 \text{ мм}$
400	20	0,82	7,52	0,54	8,06	0,6	$I_H^K = 3,97 \text{ мм}$
18000	134,16	0,93	26,22	6,87	33,09	1,0	$I_H^\Phi = 30,77 \text{ мм}$
18000	134,16	0,93	26,22	6,87	33,09	0,6	$I_M^\Phi = 18,46 \text{ мм}$

Допуски на разбивочные и строительно-монтажные работы, мм.

Объект 3 (корпус медицинского института)

Методы расчета	Изготовление элементов		Монтаж									Геодезические работы					
	$\Delta_{И}^K$	$\Delta_{И}^P$	$\Delta_{Н0}^K$	$\Delta_{Н3}^K$	$\Delta_{Н6}^K$	$\Delta_{Н7}^K$	$\Delta_{В3}^K$	$\Delta_{В6}^K$	$\Delta_{В7}^K$	$\Delta_{В8}^K$	$\Delta_{М}^P$	Передача разб. осей		Детальная разбивка осей			
												$\Delta_{3Г}^B$	$\Delta_{6Г}^B$	$\Delta_{Г}$	$\delta_{Г}$	$P=0,997 m$	
<u>Максимум-минимума:</u>																	
- способ равных допусков	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	1,8	3,1	3,1	1,5	0,5	
- способ равной точности	1,5	4,0	0,9	0,9	0,9	0,9	8,4	8,4	5,2	5,2	2,4	0,9	1,8	1,3	0,7	0,2	
<u>Теоретико-вероятностный:</u>																	
- способ попыток	6,0	20,0	14,0	14,0	14,0	14,0	26,0	26,0	16,0	16,0	16,0	4,0	4,0	7,5	3,7	1,2	
- способ равных допусков	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	1,0	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	7,8	2,6	
- способ равной точности (стадия проектирования)	5,6	15,4	3,4	3,4	3,4	3,4	32,0	15,7	20,1	20,1	9,3	3,4	6,7	5,1	2,6	0,8	
<u>Вероятностно-статистический:</u>																	
- с учетом уровня производственной базы	16,9	35,6	2,9	2,9	2,9	2,9	27,8	27,8	17,5	17,5	8,1	2,9	5,9	4,4	2,2	0,7	
- с учетом уровней производственной базы и технологии строительства	16,9	35,6	5,6	5,4	8,3	8,3	23,0	23,0	18,8	18,8	16,0	3,2	6,4	4,8	2,4	0,8	

Допуски на разбивочные и строительно-монтажные работы, мм.

Объекты 4, 5 и 6

Методы расчета	Изготовление		Монтаж			Геодезические работы		
	$\Delta_{II}^K$	$\Delta_{II}^P$	$\Delta_H^K$	$\Delta_B^K$	$\Delta_M^\Phi$	$\Delta_\Gamma$	$\delta_\Gamma$	$M_\Gamma$ при $\gamma = 0,95$
<u>1. Вероятностный:</u>								
а) способ попыток	10,0	30,0	10,0	30,0	20,0	78,1	39,0	19,5
б) равных допусков	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6
в) равной точности (стадия проектирования)								
объекты 1, 3, $K=1,52$	10,0	50,2	6,0	48,2	30,1	27,3	13,7	6,8
объект 2, $K=1,51$	10,8	50,0	7,9	48,0	30,0	27,2	13,6	6,8
<u>2. Вероятностно-статистический</u>								
а) равной точности (с учетом уровня производственной базы)								
объект 1, $K=1,15$	43,0	45,7	4,8	36,5	22,8	20,7	10,4	5,2
объект 2, $K=1,26$	38,2	45,7	8,8	40,0	25,0	22,7	11,3	5,7
объект 3, $K=1,22$	40,0	45,7	4,8	38,8	24,2	22,0	11,0	5,5
б) равной точности (с учетом производственной базы и технологии строительно- монтажных работ)								
объект 1, $K=1,06$	43,0	45,7	22,4	32,0	20,0	19,0	9,5	4,8
объект 2, $K=1,12$	38,2	45,7	26,9	33,8	20,6	20,1	10,1	5,0
объект 3, $K=1,1$	40,0	45,7	23,1	34,7	20,6	19,9	9,9	5,0



**Допуски, коэффициенты и классы точности изготовления элементов, разбивочных работ и монтажа**

**конструкций (при  $I_{Hi}^K = \alpha(0,8 + 0,001\sqrt{L}) \cdot (\sqrt[3]{L+25} + 0,01\sqrt[3]{L^2}) = 10,57$  мм, где  $\alpha = 1,6$ . Объект 1**

Способ расчета	Изготовление		Разбивочные работы			Монтаж конструкций						
	$\Delta_{II}^K$	$\Delta_{II}^P$	$\Delta_{\Gamma}$	$\Delta_{\Gamma1}^B$	$\Delta_{\Gamma3}^B$	$\Delta_{H1}^K$	$\Delta_{B1}^K$	$\Delta_{H2}^K$	$\Delta_{H3}^K$	$\Delta_{H4}^K$	$\Delta_{B4}^K$	$\Delta_M^P$
Теоретико-вероятностный метод												
а) Способ попыток:												
- допуски, мм	6,0	20,0	12,0	2,4	4,0	16,0	30,0	16,0	40,0	16,0	30,0	16,0
- коэффициенты точности	0,91	0,91	1,33	0,92	0,83	1,51	0,96	1,51	0,98	1,51	1,17	1,22
- классы точности	6	6	>4	4	>3	5	4	5	4	5	>4	>4
б) Способ равной точности:												
- допуски, мм	5,75	19,11	7,83	2,26	4,18	9,20	27,12	9,20	35,64	9,20	22,37	11,44
- коэффициенты точности	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
- классы точности	6	6	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3
Вероятностно-статистический метод												
а) С учетом уровня произв. базы:												
- допуски, мм	16,12	39,04	6,75	1,95	3,60	7,93	23,38	7,93	30,72	7,93	19,28	9,86
- коэффициенты точности	2,44	1,78	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
- классы точности	8	7	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3
б) С учетом уровня произв. базы и геодезического обесп. стр-ва												
- допуски, мм	16,12	39,04	7,2	2,4	4,0	7,91	23,32	7,91	30,64	7,91	19,80	9,84
- коэффициенты точности	2,44	1,78	0,8	0,92	0,83	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748
- классы точности	8	7	>3	4	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3
в) С учетом уровня произв. базы, геодез. обесп. и технологии стр-ва:												
- допуски, мм	16,12	39,04	7,2	2,4	4,0	12,0	21,82	12,0	28,67	12,0	18,0	9,20
- коэффициенты точности	2,44	1,78	0,8	0,92	0,83	1,14	0,7	1,14	0,7	1,14	0,7	0,7
- классы точности	8	7	>3	4	>3	>4	3	>4	3	>4	3	3

**Допуски, коэффициенты и классы точности изготовления элементов, разбивочных работ и монтажа**

**конструкций (при  $I_{Hi}^K = \alpha(0,8 + 0,001\sqrt{L}) \cdot (\sqrt[3]{L + 25} + 0,01\sqrt[3]{L^2}) = 10,57$  мм, где  $\alpha = 1,6$ . Объект 2**

Способ расчета	Изготовление		Разбивки $\Delta_{\Gamma}$	Монтаж		
	$\Delta_{H}^K$	$\Delta_{H}^{\Phi}$		$\Delta_{H}^K$	$\Delta_{B}^K$	$\Delta_{M}^{\Phi}$
Теоретико-вероятностный						
а) Способ попыток:						
- допуски, мм	10,0	30,0	24,0	16,0	60,0	16,0
- коэффициенты точности	0,66	0,98	1,33	1,51	1,72	0,87
- классы точности	5	6	>4	5	>5	>3
б) Способ равной точности:						
- допуски, мм	9,65	44,92	26,28	15,43	50,88	26,95
- коэффициенты точности	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
- классы точности	7	7	5	5	5	5
Вероятностно-статистический метод						
а) С учетом уровня произв. базы:						
- допуски, мм	28,52	46,64	23,40	13,74	45,30	24,00
- коэффициенты точности	4,3	1,51	1,30	1,30	1,30	1,30
- классы точности	9	7	>4	>4	>4	>4
б) С учетом уровня произв. базы и геодезического обеспеч. стр-ва						
- допуски, мм	28,52	46,64	18,0	14,06	46,35	24,55
- коэффициенты точности	4,3	1,51	1	1,33	1,33	1,33
- классы точности	9	7	4	>4	>4	>4
в) С учетом уровня произв. базы, геодез. обеспеч. и технологии стр-ва:						
- допуски, мм	28,52	46,64	18,0	20,0	44,60	23,63
- коэффициенты точности	4,3	1,51	1,0	1,89	1,28	1,28
- классы точности	9	7	4	>5	>4	>4