

*Пимшина Т.М.,  
кандидат технических наук, доцент  
доцент кафедры «Изыскания, проектирование и строительство  
железных дорог»*

*Ростовский государственный университет путей сообщения  
Россия, г. Ростов-на-Дону*

*Мирошниченко Н.О.,  
студентка магистратуры кафедры «Геодезия»  
2 курс, факультет «Дорожно-транспортный»  
Россия, г. Ростов-на-Дону*

*Пимшин И.Ю.,  
директор ООО «НПФ «Инженерная геодезия»  
Россия, г. Ростов-на-Дону*

## **УПРОЩЕННЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПОСТРОЕННОГО КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СЪЕМКИ ЕГО НЕСУЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

***Аннотация:** Статья посвящена предложению упрощенного анализа фактических геометрических параметров каркаса здания по результатам исполнительной съемки несущих строительных конструкций во время сдачи его в эксплуатацию.*

***Ключевые слова:** фактические геометрические параметры каркаса здания, крен, эксцентриситет, плановое смещение от проектного положения, кручение, изгиб, монтажные ошибки, размерные цепи.*

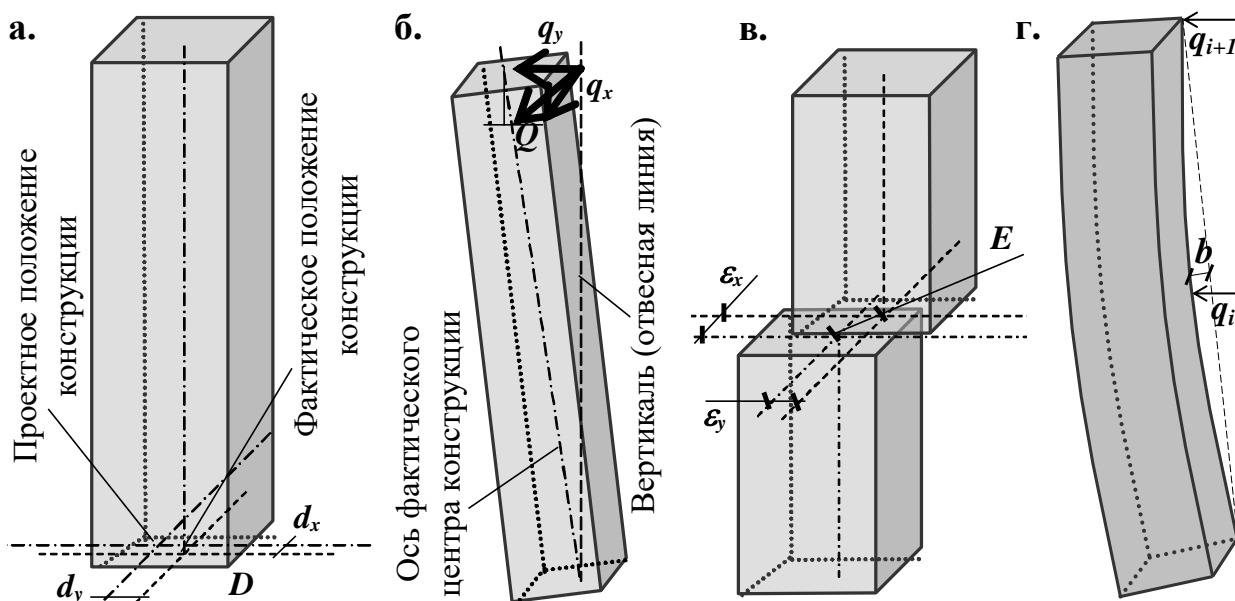
***Annotation:** The article is devoted to the proposal of a simplified analysis of the actual geometric parameters of the building frame based on the results of executive survey of load-bearing building structures during its commissioning.*

***Key words:** actual geometric parameters of the building frame, roll, eccentricity, planned offset from the design position, torsion, bending, installation errors, dimensional chains.*

Основой любого здания являются взаимосвязанные несущие строительные конструкции (плиты перекрытия, стены, колонны, пилоны, фундаменты), что образует пространственный остов, который обеспечивает передачу и восприятие на его грунт основания всех видов нагрузок. К наиболее важным качествам остова здания относятся его несущая способность (прочность) и долговечность. На данные качества влияют множество факторов, основными из которых являются плановые и высотные фактические геометрические параметры (отклонения от проекта) несущих элементов здания. Нормативный документ [1] ограничивают величины отклонений несущих элементов здания от проектного положения. Эти допуски связаны со следующей закономерностью: чем значительнее величина отклонения конструкции от проекта, тем большие напряжения могут в ней возникнуть, что ухудшает её эксплуатационные качества.

Расчет фактической несущей способности остова здания выполняют по результатам планово-высотных исполнительных геодезических съемок несущих строительных конструкций и наблюдений за деформациями во время его строительства. Обычно его производят с использованием специализированных программных комплексов [2, 3]. Однако данные программы достаточно дороги и требуют специального образования и навыков работы. Во многих случаях нет необходимости в столь сложных расчетах, поэтому рассмотрим упрощенный алгоритм расчета эксплуатационной надежности каркасного здания во время сдачи его в эксплуатацию. Для этого все здание целиком представляют как систему плоских размерных цепей. Все размерные цепи и их звенья взаимосвязаны между собой.

На основе данных плановой исполнительной съемки несущих строительных конструкций, в которой приведены частные крены  $q$  и плановые отклонения  $d$  относительно осей здания, выполняют комплексный расчет всех геометрических характеристик исследуемых строительных конструкций [4]. Основные геометрические параметры несущих элементов каркасного здания в плане приведены на рисунке 1.



**Рисунок 1. Плановые геометрические характеристики вертикальных строительных конструкций: а. крен; б. плановое смещение от осей; в. эксцентриситет; г. кручение и изгиб**

К основным геометрическим характеристикам каркасного здания относят (см. рисунок 1):

I. Плановые геометрические характеристики строительных элементов:

1. Плановые положения строительных элементов (рисунок 1, а):

- частные отклонения строительных конструкций от проектного положения (осей) в нижнем сечении  $d_{Hxi}$ ,  $d_{Hyi}$  определяют по формулам

$$d_{Hxi} = x_{Hизми} - x_{теори}, \quad d_{Hyi} = y_{Hизми} - y_{теори}, \quad (1)$$

где  $x_{измi}, y_{измi}$  – фактические (измеренные) координаты центров строительных конструкций (колонн) в нижнем сечении;

$x_{теорi}, y_{теорi}$  – теоретические (проектные) координаты центров колонн.

- полные (абсолютные) отклонения строительных конструкций от проектного положения в нижнем сечении  $D_{Hi}$  вычисляется по формуле

$$D_{Hi} = \sqrt{d_{Hxi}^2 + d_{Hyi}^2}, \quad \operatorname{tg} \varphi_i = d_{Hyi} / d_{Hxi}, \quad (2)$$

где  $\varphi_i$  – угол ориентирования полного отклонения конструкции от проекта;

$i$  – номер этажа, на котором расположена исследуемая конструкция.

- частные отклонения строительных конструкций от проектного положения в верхнем сечении  $d_{Bxi}, d_{Byi}$  определяются по формулам

$$d_{Bxi} = x_{Визмi} - x_{теорi} = d_{Hxi} + q_{xi}, \quad d_{Byi} = y_{Визмi} - y_{теорi} = d_{Hyi} + q_{yi}, \quad (3)$$

где  $q_{xi}, q_{yi}$  – частные крены строительных конструкций по осям  $X$  и  $Y$ .

- полные (абсолютные) отклонения строительных конструкций от проектного положения в верхнем сечении  $D_{Bi}$  вычисляются по формуле

$$D_{Bi} = \sqrt{d_{Bxi}^2 + d_{Byi}^2}. \quad (4)$$

2. Отклонения от вертикальности (крены) конструкций (рисунок 1, б):

- частные крены конструкции по осям  $X$  и  $Y$   $q_{xi}, q_{yi}$  находят по формуле

$$q_{xi} = x_{Визмi} - x_{Низмi}, \quad q_{yi} = y_{Визмi} - y_{Низмi}. \quad (5)$$

- полные (абсолютные) крены  $Q_i$  конструкции вычисляются по формуле

$$Q_i = \sqrt{q_{xi}^2 + q_{yi}^2}, \operatorname{tg} \eta_i = q_{yi} / q_{xi}, \quad (6)$$

где  $\eta$  – угол ориентирования полного (абсолютного) крена конструкции.

- относительные крены  $j_i$  конструкций определяют по формуле

$$j_i = Q_i / H_i, \quad (7)$$

где  $H_i$  – высота контролируемой строительной конструкции.

3. Эксцентриситеты (соосность) центров вертикально ориентированных конструкций, расположенных на разных этажах здания (рисунок 1, в):

- частные эксцентриситеты  $\varepsilon_{xi}$ ,  $\varepsilon_{yi}$  вычисляют по формулам

$$\varepsilon_{xi} = d_{H_{xi+1}} - d_{B_{xi}}, \varepsilon_{yi} = d_{H_{yi+1}} - d_{B_{yi}}. \quad (8)$$

- полные (абсолютные) эксцентриситеты  $E_i$  находят по формуле

$$E_i = \sqrt{\varepsilon_{xi}^2 + \varepsilon_{yi}^2}, \operatorname{tg} \gamma_i = \varepsilon_{yi} / \varepsilon_{xi}, \quad (9)$$

где  $\gamma$  – угол ориентирования полного (абсолютного) эксцентриситета.

4. Изгибы и скручивание строительных конструкций (рисунок 1, г):

- изгиб в середине конструкции  $b_i$  определяют по формуле

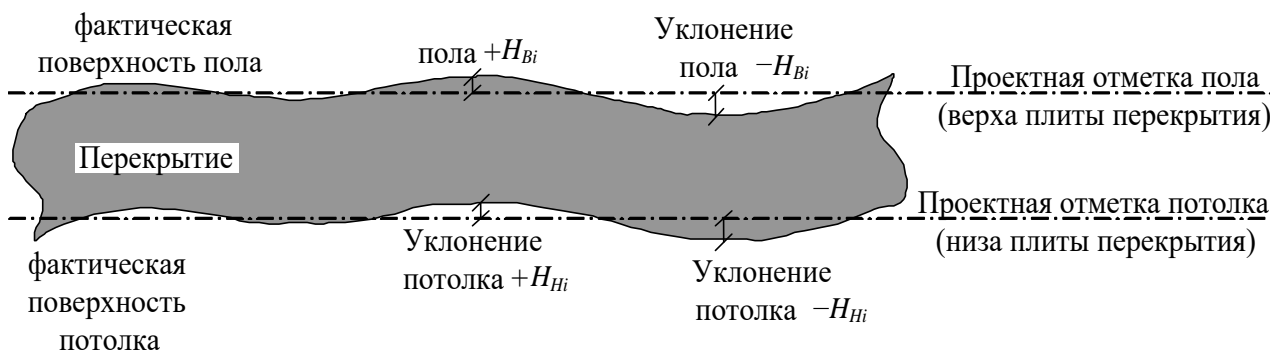
$$b_i = (Q_i / 2) - Q_{cpi}. \quad (10)$$

- скручивание строительных конструкций  $\beta_i$  вычисляют по формуле

$$\beta_i = \operatorname{arctg}(d_{B_{yi}} / d_{B_{xi}}) - \operatorname{arctg}(d_{H_{yi}} / d_{H_{xi}}). \quad (11)$$

II Высотные положения строительных элементов здания (рисунок 2):

- фактические отметки низа  $H_{Hi}$  и верха  $H_{Vi}$  горизонтально ориентированных строительных конструкций (плит перекрытий);



**Рисунок 2. Высотные геометрические характеристики перекрытий**

- отклонения от проектных отметок низа  $h_{Hi}$  и верха  $h_{Vi}$  горизонтально ориентированных конструкций (плит перекрытий) вычисляют по формулам

$$h_{Hi} = H_{Hi} - H_{НПП}, \quad h_{Vi} = H_{Vi} - H_{ВПП}, \quad (12)$$

где  $H_{НПП}$ ,  $H_{ВПП}$  – проектные отметки низа и верха плит перекрытий;

-  $i$  – номер этажа, на котором расположена конструкция.

- фактические толщины  $L_i$  плит перекрытий определяют по формуле

$$L_i = H_{Vi} - H_{Hi}, \quad (13)$$

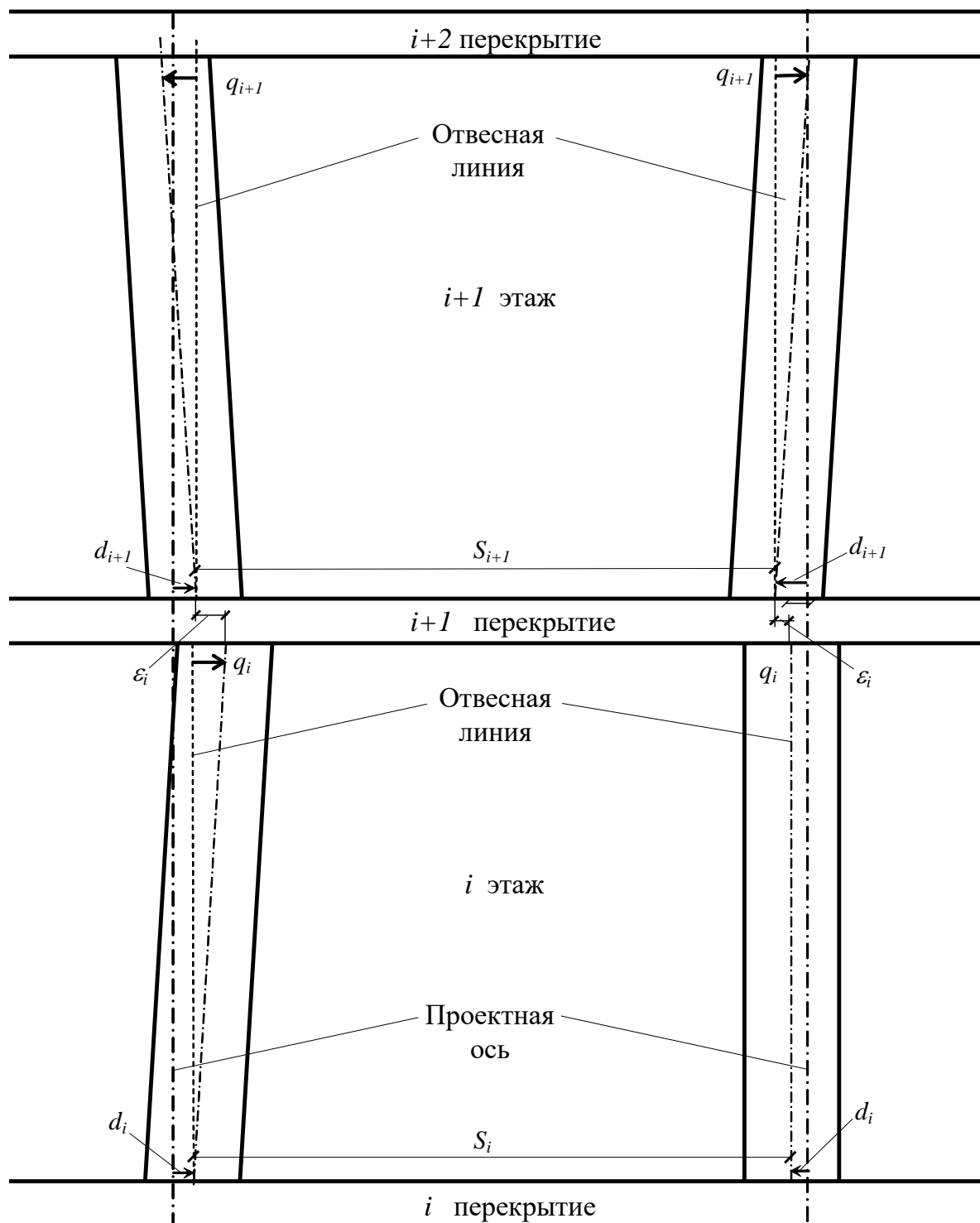
- отклонения от проекта толщин плит перекрытий находят по формуле

$$\Delta L_i = L_i - L_{ПП}, \quad (14)$$

где  $L_{ПП}$  – проектная толщина плит перекрытий.

По каждой вертикальной строительной конструкции, проходящей через все здание, выполняют комплексный расчет (рисунок 3). Для этого

просчитывают суммы всех кренов  $\Sigma q_i$ , суммы всех плановых отклонений строительной конструкции в нижних и верхних сечениях  $\Sigma d_{Hi}$ ,  $\Sigma d_{Bi}$  и суммы всех эксцентриситетов  $\Sigma \varepsilon_i$ . В итоге выполняется анализ фактических геометрических параметров конструкции, проходящей через все здание.



**Рисунок 3. Пример вертикальной размерной цепи каркасного здания**

Из рисунка 3 видно, что частный крен  $q_i$  строительной конструкции и разность плановых отклонений в нижних сечениях между ближайшими (смежными) этажами соответствует эксцентриситету  $\varepsilon_i$ , то есть несовпадению верха конструкции  $i$  этажа и её низа по  $i+1$  этажу

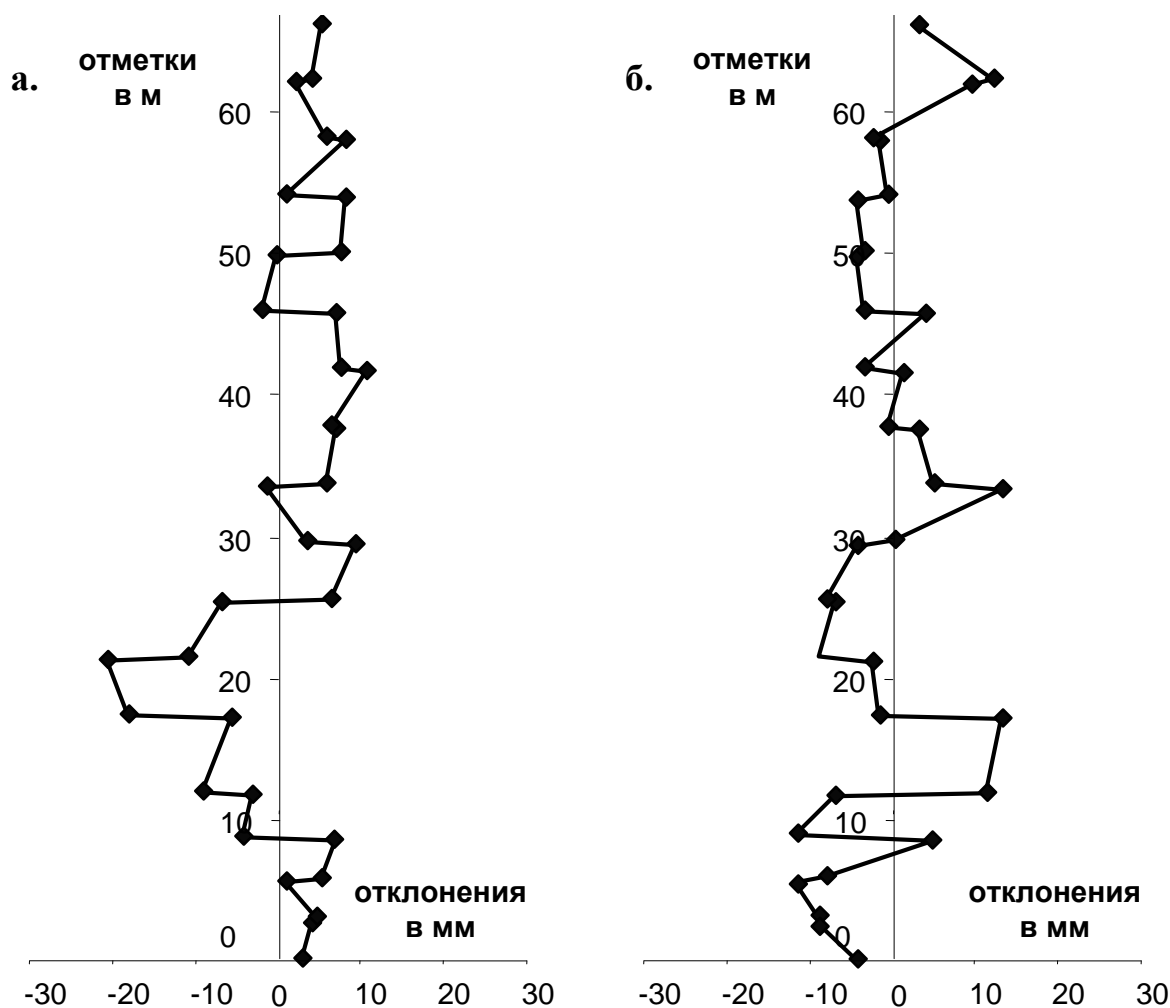
$$\varepsilon_{xi} = d_{Hxi+1} - d_{Hxi} - q_{xi}, \quad \varepsilon_{yi} = d_{Hyi+1} - d_{Hyi} - q_{yi}. \quad (15)$$

Соответственно, разность суммы плановых отклонений строительной конструкции, проходящей через все здание, и суммы кренов дает сумму её эксцентриситетов по всем этажам

$$\sum \varepsilon_{xi} = \sum d_{Hxi+1} - \sum d_{Hxi} - \sum q_{xi}. \quad (16)$$

Данные расчеты выполняются для всех несущих элементов здания. Составляются сводные ведомости отклонений строительных конструкций от проектного положения и определяются количество отклонений, превышающих допуски. Пример оформления геометрических параметров центра колонны, проходящей через все здание, представлен на рисунке 4.





**Рисунок 4. Пример вертикального разреза центра колонны, проходящей через все здание: а. по оси X; б. по оси Y**

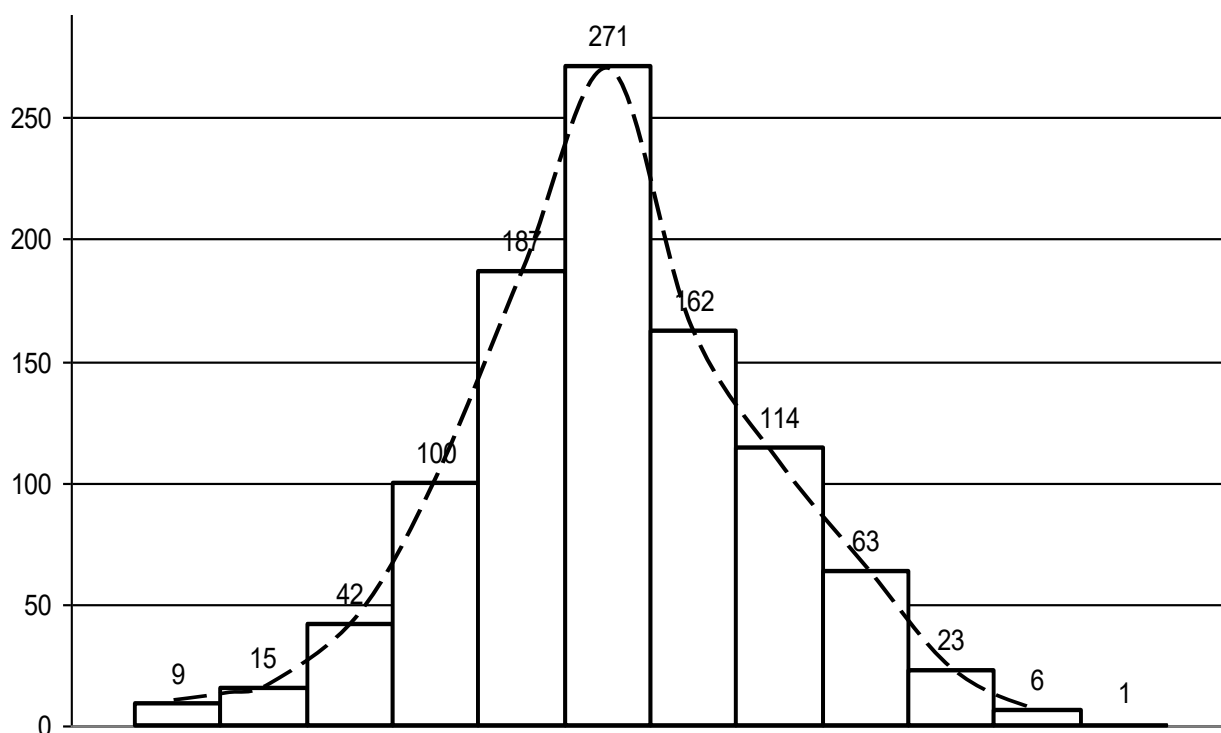
Затем выполняется статистический анализ отклонений (монтажных ошибок) строительных конструкций для определения закона распределения отклонений при выявлении случайной и систематической составляющих. Теоретическим и эмпирическим путем установлено, что случайные монтажные ошибки возведения здания обладают нормальным распределением или близким к нему [3]. Нормальная плотность распределений определяется по формуле

$$\varphi(\Delta_k) = \frac{1}{\sigma(\Delta) \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2(\Delta)} \{\Delta_k - M(\Delta)\}^2} . \quad (17)$$

Параметрами этого распределения являются числовые характеристики случайной погрешности: математическое ожидание  $M(\Delta)$  и стандарт  $\sigma(\Delta)$ . Рассеивание значений случайной погрешности относительно математического ожидания характеризуется дисперсией  $D(\Delta)$ . Получив значение параметров нормального распределения, можно вычислить эмпирическую или статистическую плотность распределения

$$\bar{\varphi}(\Delta_k) = \frac{1}{m\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2m^2}(\Delta_k - \bar{\Delta})^2} \quad (18)$$

Кривая нормального распределения имеет колоколообразный вид (рисунок 5). Она располагается симметрично относительно ординаты, соответствующей математическому ожиданию  $M(\Delta)$ . С уменьшением стандарта  $\sigma(\Delta)$  кривая распределения сужается и выгибается вдоль этой ординаты. Графическим изображением этой функции является интегральная кривая распределения. Эмпирическая и статистическая функция распределения находится по значениям  $\Delta_1, \Delta_2 \dots \Delta_n$ , записанными в возрастающий вариационный ряд. Для каждого члена этого ряда определяется частота его появления.



**Рисунок 5. Пример нормального распределения монтажных ошибок**

В итоге произведенных расчетов и анализа монтажных ошибок формируется заключение об эксплуатационной надежности каркаса здания.

#### **Использованные источники:**

1. СП 70.13330.2017. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. – М.: ГОССТРОЙ, 2013. – 198 с.
2. Байбурин, А.Х. Комплексная оценка качества возведения гражданских зданий с учетом факторов, влияющих на их безопасность: дис. на соиск. учен. степ. доктора. техн. наук: 05.23.08 / Байбурин Альберт Халитович – Санкт-Петербург: ФГАОУ ВО ЮУрГУ (НИУ), 2012. – 408 с.
3. Фомин, Н.И. Условия получения достоверной оценки эксплуатационных качеств монолитных конструкций при возведении зданий / Н.И. Фомин, А.П. Исаев // Известия КГАСУ, – №2 (20). 2012. – С. 221.
4. Сно, В.Е. Влияние геометрических погрешностей сборных каркасов на работу конструкций многоэтажных зданий: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.23.01 / Сно Владислав Евгеньевич – М: ВЗИСИ, 1981. – 164 с.