

# Методика опытно-теоретической оценки прогибов монолитной плиты перекрытия

А.И. Русаков

## 1. Введение

При проектировании и возведении железобетонного каркаса многоэтажного здания необходимо решить задачу теоретической оценки прогибов перекрытия под эксплуатационной нагрузкой и задачу опытной оценки этих прогибов в ходе строительства. Сложность первой задачи определяется необходимостью расчета железобетонной плиты перекрытия в нелинейной постановке с учетом предыстории нагружения, которая не всегда известна. Сложность второй задачи определяется нерегулярной формой поверхностей плиты, когда эти поверхности даже в недеформированном виде нельзя считать плоскими, и функция прогибов есть сумма неслучайной регулярной и случайной шумоподобной функций. В настоящей статье обосновывается опытно-теоретический метод оценки прогибов в условиях эксплуатации, основанный на обработке данных измерений прогибов плиты перекрытия в процессе возведения каркаса. Опытные данные служат для оценки прочностных характеристик бетона по нелинейной конечно-элементной модели, а также для выявления составляющих прогибов, связанных с нарушением технологии замоноличивания. Установленные параметры деформации плиты и свойств бетона позволяют получать достоверные оценки прогибов в условиях эксплуатации путем моделирования. Метод доведен до расчетной методики, апробированной на реальном объекте.

## 2. Основные понятия и положения методики

Прогибы плиты перекрытия определяются для верхней или нижней грани плиты. Прогибы в заданном пролете определяются относительно базовой линии, соединяющей стыки плиты с колоннами (пилонами, диафрагмами), ограничивающими пролет. Прогиб, определенный для верхней (нижней) грани в заданной ее точке, есть длина вертикали, соединяющей эту точку с верхней (нижней) базовой линией. Верхнюю базовую линию допустимо считать расположенной на монтажном горизонте плиты, нижнюю базовую линию допустимо считать расположенной на горизонте опалубки (рис. 1).

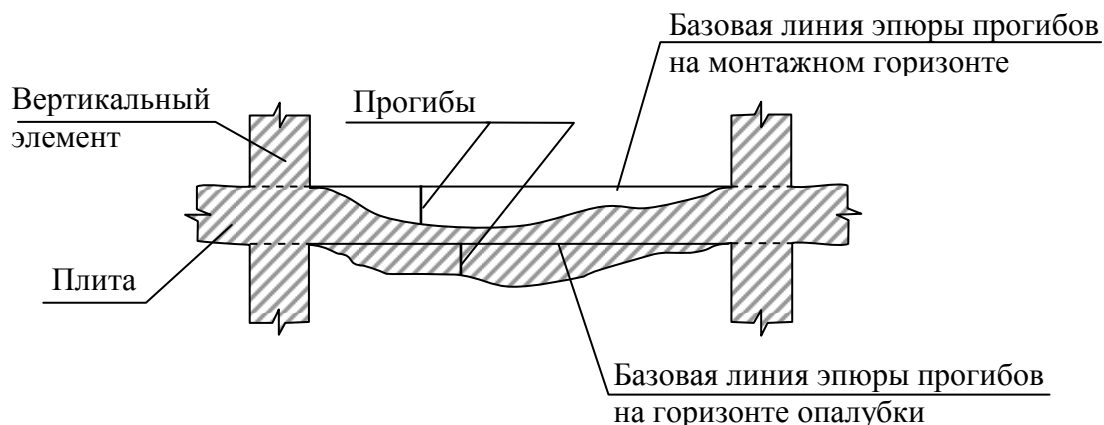


Рис. 1. Прогибы плиты перекрытия  
(к вертикальным элементам отнесены колонны,  
пилоны, диафрагмы)

Идеальной плитой перекрытия назовем плиту, грани которой непосредственно после замоноличивания строго горизонтальны и находятся на проектных отметках. Отличие прогибов реальной плиты от прогибов идеальной задается шумоподобной функцией координат. Эту функцию будем называть шумовой составляющей прогибов. По умолчанию будем рассматривать прогибы идеальной плиты. Прогибы для верхней и нижней граней плиты перекрытия в точках на одной вертикали считаем одинаковыми.

Прогиб будем задавать двумя составляющими:

составляющей ползучести, которая является результатом временного дрейфа деформаций до набора прочности плиты. Эта составляющая возникает вследствие нагрузок на плиту в течение приблизительно 50 суток с момента ее замоноличивания. Главной причиной деформаций ползучести является удаление большей части поддомкрачивающих стоек ранее положенных 28 дней основного периода набора прочности. Другой причиной может быть временное размещение на «сырой» плите различных грузов;

составляющей, вызванной нагрузками на плиту непосредственно в момент их приложения. Более точно, деформации, определяющие эту составляющую, развиваются приблизительно в течение 5 мин действия нагрузки [1]. Эта составляющая определяется моделью пластического деформирования плиты, т. е. может быть определена расчетом при известных диаграммах растяжения-сжатия основного и армирующего материалов.

В дальнейшем вторая составляющая будет определяться по модели нелинейно-упругого деформирования плиты, что допустимо в стабильном состоянии материала при нарастающих нагрузках [2]. Эту составляющую будем называть модельным прогибом или нелинейно-упругим прогибом. Составляющую ползучести будем называть начальным прогибом, поскольку эту составляющую можно считать изначально присутствующей в пролете до приложения нагрузок.

Опытно-теоретический метод определения прогибов предполагает опытное определение прогибов на плите под неполной (монтажной) нагрузкой, затем догрузку плиты в нескольких пролетах с повторным замером прогибов. По результатам измерений вычисляются разности максимальных прогибов в названных пролетах, которые служат для определения характеристик основного материала плиты. Эти характеристики подбираются такими, чтобы опытные разностные прогибы совпали с разностными модельными прогибами, вычисленными при монтажных нагрузках и при догрузке плиты. После задания характеристик материала определяются максимальные модельные прогибы при монтажной нагрузке и при эксплуатационной нагрузке во всех «ответственных» пролетах. Вычитанием из опытных максимальных прогибов при монтажной нагрузке соответствующих модельных прогибов устанавливаем начальные прогибы. Модельные прогибы под эксплуатационной нагрузкой суммируются с начальными прогибами, чем определяются максимальные прогнозируемые прогибы под эксплуатационной нагрузкой.

Прогнозируемые прогибы отличаются от реальных прогибов под эксплуатационной нагрузкой на величину шумовой составляющей (если не учитывать погрешность самого метода оценки). Прогнозируемые прогибы служат для проверки требований СНиП по деформациям плиты, а также, при необходимости, для строительного подъема архитектурных элементов этажа.

### 3. Этапность работ и математический аппарат

Предлагаемая методика реализуется в пять этапов.

1 этап: измерения прогибов. Измерения прогибов выполняются нивелиром в 3—5 точках каждого пролета как по верхней, так и по нижней граням плиты. Чтобы обеспечить некоррелированность шума измерений, шаг измерений следует брать не менее 1 м.

2 этап: определение опытных максимальных прогибов (обработка измерений этапа 1). Для определения максимального прогиба в пролете используется парамет-

ризованная функция прогибов идеальной плиты, с помощью которой строится модель регрессии. Функция прогибов получается моделированием прогибов плиты в нелинейной постановке при ориентировочных (проектных) характеристиках материалов. Предполагается, что эпюра истинных прогибов получается из модельной эпюры путем перенормировки, т. е. вводится в рассмотрение однопараметрическая модель регрессии. Основания для такого допущения следующие:

модельная эпюра имеет те же граничные условия, что эпюра прогибов идеальной плиты. Для функции прогибов  $z = z(x)$ , где аргумент  $x$  есть расстояние точки определения прогибов от начала базовой линии, эти условия имеют вид:  $z(x_i) = 0$ ;  $z'(x_i) = 0$ . Здесь  $x_i$  — координаты границ пролета (точек примыкания перекрытия к вертикальным элементам, ограничивающим пролет);

точка максимального прогиба для модельной эпюры имеет приблизительно ту же координату, что и для эпюры прогибов идеальной плиты. Близость точек максимума двух эпюр определяется совпадением действующих нагрузок на плиту в обоих случаях;

эпюры прогибов идеальной плиты и модельных прогибов имеют, как правило, одинаковую «овражную» форму, когда каждая эпюра содержит один нисходящий и один восходящий участок (рис. 5).

Следует указать, что использование модельной эпюры взамен эпюры истинных прогибов возможно, только если деформации ползучести незначительно влияют на форму последней. Поэтому необходимо исключать из обработки измерения в тех пролетах, внутри которых модельная эпюра имеет более одного экстремума, т. е. имеет волнообразную форму, несвойственную эпюре начальных прогибов.

Пусть  $Z_A$  — амплитудное значение эпюры прогибов идеальной плиты;  $z^n(x)$  — модельная эпюра прогибов, нормированная единицей, т. е.  $\max z^n(x) = 1$ . Тогда модель регрессии для оценки максимального прогиба в заданном пролете имеет вид

$$Z = HZ_A + \zeta, \quad (1)$$

где  $H$  — матрица плана, в данном случае состоящая из одного столбца:

$$H = \begin{pmatrix} z^n(x_1) \\ \vdots \\ z^n(x_n) \end{pmatrix};$$

компоненты этого вектор-столбца задаются при всевозможных координатах  $x_i$  точек измерения прогибов на базовой линии (замеры на верхней и на нижней гранях плиты объединяются в одну модель);

$Z$  —  $n$ -мерный вектор измерений прогибов, согласованный с вектором  $H$  по порядку следования компонент;  $\zeta$  — вектор шума измерений, компоненты которого определяются, главным образом, шумовой составляющей прогибов. Полагаем, что компоненты этого вектора независимы, нормально распределены и имеют постоянную дисперсию.

Для оценивания по модели (1) применим МНК, определяющий оценку

$$\hat{Z}_A = (H^T H)^{-1} H^T Z. \quad (2)$$

При оговоренных предположениях о распределении шума измерений данная оценка оптимальна на классе несмещенных оценок. Для дисперсии компонент шумового вектора имеем несмещенную оценку [3, с. 31]:

$$s^2 \equiv \hat{D}[\zeta_i] = \frac{1}{n-1} (Z - H\hat{Z}_A)^T (Z - H\hat{Z}_A). \quad (3)$$

Дисперсия амплитудного прогиба оценивается в виде

$$\hat{D}[\hat{Z}_A] = s^2 (H^T H)^{-1}.$$

3 этап: догрузка перекрытия и измерение прогибов в пролетах зоны догрузки.

4 этап: определение опытных максимальных прогибов в пролетах зоны догрузки.

Этапы 3 и 4 по технике измерений и обработке результатов не отличаются от этапов 1 и 2.

5 этап: определение характеристик материала плиты и оценка прогибов в условиях эксплуатации. Опытные оценки максимальных прогибов при монтажной нагрузке и при догрузке плиты используются для определения характеристик основного материала плиты, обеспечивающего одинаковые разностные прогибы в опыте и в модели. Будем рассматривать модель нелинейно-упругого деформирования при известных нагрузках. В виду стабильности характеристик арматуры ограничимся определением диаграмм растяжения-сжатия для бетона.

Диаграммы растяжения-сжатия бетона представлены в своде правил СП 52-101-2003, подразд. 5.1. Двух- и трехлинейные диаграммы, предложенные в этом документе, однозначно определяются классом бетона по прочности на сжатие. Харак-

теристики диаграмм для разных классов сведены в табл. 5.1—5.4 свода правил. Для промежуточных классов бетона, не стандартизованных и не вошедших в таблицы, соответствующие характеристики диаграмм можно определять линейной интерполяцией табличных данных. Этим удастся ввести непрерывно меняющийся параметр класса бетона  $B$ , однозначно определяющий диаграмму растяжения-сжатия. В предлагаемой методике рассматриваются трехлинейные диаграммы при непродолжительном действии нагрузки. Типовая диаграмма показана на рис. 2. Чтобы обеспечить некоторый наклон к оси абсцисс всех участков диаграммы, параметры  $\sigma_{b0}$ ,  $\sigma_{bt0}$  задавались соотношениями  $\sigma_{b0} = 0,95R_b$ ,  $\sigma_{bt0} = 0,95R_{bt}$ .

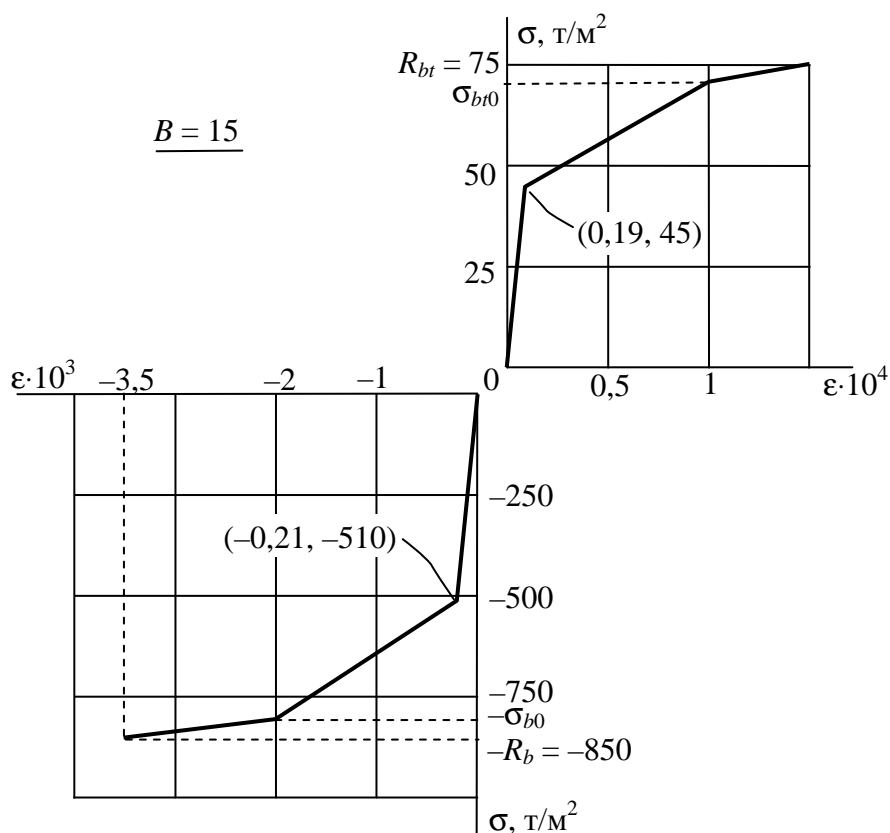


Рис. 2

Сформулируем задачу определения класса бетона  $B$  по опытным данным как задачу оценки по регрессии, определяющей максимальные прогибы в пролетах в зависимости от параметра  $B$ . В наиболее общем виде модель регрессии задается совокупностью уравнений:

$$Z_{Ai}^p = H_{pi}(B) + Z_{Ai}^0 + \eta_i^p, \quad (4)$$

где  $p = 1, 2$  — обозначение случая нагружения (действие монтажной нагрузки или случай догрузки плиты, соответственно);  $i$  — номер пролета;  $Z_{Ai}^p$  — опытный амплитудный прогиб, вычисленный по формуле (2);  $Z_{Ai}^0$  — амплитудный начальный прогиб;  $\eta_i^p$  — шум измерений;  $H_{pi}(B)$  — амплитудный прогиб, полученный по модели нелинейно-упругих деформаций. Данные уравнения содержат следующие параметры, подлежащие оценке по совокупности наблюдений:  $B$  и  $Z_{Ai}^0$  (при всевозможных  $i$ ). Эти параметры требуется оценить для последующего определения прогибов при эксплуатационной нагрузке. Соответствующие функции прогноза прогибов на условия эксплуатации представим в виде:

$$Z_{Ai}^3 = H_{3i}(B) + Z_{Ai}^0, \quad (5)$$

где  $H_{3i}(B)$  — амплитудный прогиб, полученный по модели нелинейно-упругих деформаций при эксплуатационных нагрузках.

Для упрощения алгоритма оценивания произведем преобразование системы регрессионных уравнений (4), отобрав уравнения для тех пролетов, в которых имеются измерения при монтажной и при дополнительной нагрузке. Из отобранных уравнений построим систему регрессионных уравнений для разностных прогибов, имеющих вид:

$$Z_{Ai}^2 - Z_{Ai}^1 = H_{2i}(B) - H_{1i}(B) + \eta_i^2 - \eta_i^1,$$

Данную систему уравнений перепишем в векторном виде:

$$Y = A(B) + \varepsilon, \quad (6)$$

где

$$A(B) = \begin{pmatrix} H_{2i_1}(B) - H_{1i_1}(B) \\ H_{2i_2}(B) - H_{1i_2}(B) \\ \vdots \end{pmatrix};$$

$$\varepsilon_k = \eta_{i_k}^2 - \eta_{i_k}^1. \quad (7)$$

Вектор-функция  $A(B)$  задается алгоритмом нелинейно-упругих деформаций плиты.

Модель (6) применим для оценивания по МНК характеристики бетона  $B$ . Требуемую оценку  $\hat{B}$  получим минимизацией остаточной суммы квадратов

$$Q(B) = (Y - A(B))^T (Y - A(B)). \quad (8)$$

Погрешность оценивания устанавливаем согласно [3, с. 269] в виде:

$$D[\hat{B}] = \sigma_\varepsilon^2 \left( \frac{dA^T}{dB} \frac{dA}{dB} \right)^{-1}, \quad (9)$$

где  $\sigma_\varepsilon^2$  — дисперсия ошибок наблюдения разностных прогибов (которая полагается одинаковой для всех рассматриваемых пролетов). Точное значение  $\sigma_\varepsilon$  следует заменить его оценкой, которую получаем в виде (ср. с формулой (3)):

$$\hat{\sigma}_\varepsilon^2 \equiv \hat{D}[\varepsilon_i] = \frac{1}{K-1} Q(\hat{B}),$$

где  $K$  — число пролетов, в которых вычислялись разностные прогибы.

Оценка начальных прогибов получается из уравнения регрессии (4):

$$\hat{Z}_{Ai}^0 = Z_{Ai}^1 - H_{li}(\hat{B}). \quad (10)$$

Прогнозируемые эксплуатационные прогибы получаем по формуле (5):

$$\hat{Z}_{Ai}^\vartheta = H_{\vartheta i}(\hat{B}) + \hat{Z}_{Ai}^0 = H_{\vartheta i}(\hat{B}) - H_{li}(\hat{B}) + Z_{Ai}^1. \quad (11)$$

Дисперсия этой оценки может быть приближенно вычислена по формуле:

$$D[\hat{Z}_{Ai}^\vartheta] \cong \left( \frac{d(H_{\vartheta i} - H_{li})}{dB} \Big|_{B=\hat{B}} \right)^2 D[\hat{B}] + D[\eta_i^1]. \quad (12)$$

При этом следует сделать подстановку:

$$D[\eta_i^1] \approx \hat{\sigma}_\varepsilon^2 / 2, \quad (13)$$

которая получается из выражения (7) и допущения о независимости шумовых составляющих опытных прогибов.



В предположении нормальности распределения оценки (11) с помощью дисперсии (12) можно установить меру погрешности  $w_i$  оценки эксплуатационного прогиба  $\hat{Z}_{Ai}^э$  с заданной доверительной вероятностью  $\gamma$ .<sup>1</sup> Известно [4, с. 227]:

$$w_i = u_\gamma \sqrt{D[\hat{Z}_{Ai}^э]},$$

где  $u_\gamma$  — квантиль стандартного нормального распределения порядка  $(1 + \gamma)/2$ . Доверительная вероятность при расчетах прогибов не регламентирована СНиП. При расчетах на прочность характеристики материала обычно задаются с обеспеченностью 0,95 (ГОСТ 27751-88 (2003), п. 2.1), при деформационных расчетах оснований характеристики грунтов задаются с обеспеченностью 0,85 (СНиП 2.02.01-83\* (2000), п. 2.14). В настоящей работе полагается  $\gamma = 0,85$ .

Производные по  $B$  в формулах (9), (12) на практике вычисляются через конечные приращения при  $\Delta B = 1 \div 2$ .

Оценки класса бетона  $B$  по амплитудным опытными прогибам сравнивались с классом бетона плиты, установленным ультразвуковым методом. Обнаружилось, что класс бетона, полученный по опытными прогибам, заметно ниже фактического класса бетона. Это объясняется тем, что на практике плита начинает деформироваться при сниженных характеристиках прочности, поскольку стойки убираются еще под «сырой» плитой. На рис. 3 показана часть диаграммы сжатия, по которой может происходить деформирование элемента плиты сразу после удаления большей части стоек (первый этап нагружения, плита «сырая») и под действием веса стен и перегородок (второй этап нагружения, прочность плиты в основном набрана). Можно видеть, что сама диаграмма зависит от предыстории нагружения, и, кроме того, реальная диаграмма имеет более пологий вид, чем диаграмма бетона плиты после набора прочности.

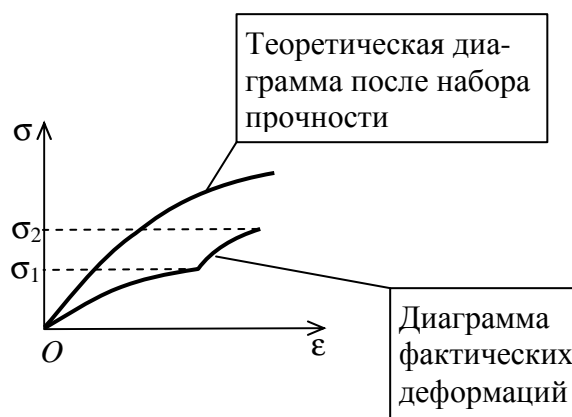


Рис. 3. Возможные диаграммы сжатия:  $\sigma_i$  — интенсивность напряжения на  $i$ -м этапе нагружения плиты

<sup>1</sup> Этим мы переходим от точечной оценки (11) к доверительному интервалу  $(\hat{Z}_{Ai}^э - w_i, \hat{Z}_{Ai}^э + w_i)$ .

#### 4. Апробация методики

По результатам технического обследования железобетонного каркаса 17-этажного жилого дома установлено, что ряд перекрытий и колонн изготовлены из бетона заниженного класса. Это повлекло увеличение прогибов на некоторых перекрытиях до значений, близких к предельным. Тех. обследование выполнено в период возведения каркаса при монтажных нагрузках, и требуется оценить величины прогибов в ряде пролетов перекрытий при эксплуатационных нагрузках.

На рис. 4 показана расчетная схема перекрытия третьего этажа объекта, построенная в программном комплексе ЛИРА 9.2. Красным цветом выделены опоры перекрытия (колонны и диафрагмы), желтыми линиями указаны пролеты, в которых экспериментально замерялись прогибы при монтажной нагрузке, черными линиями указаны пролеты, в которых экспериментально замерялись прогибы при монтажной

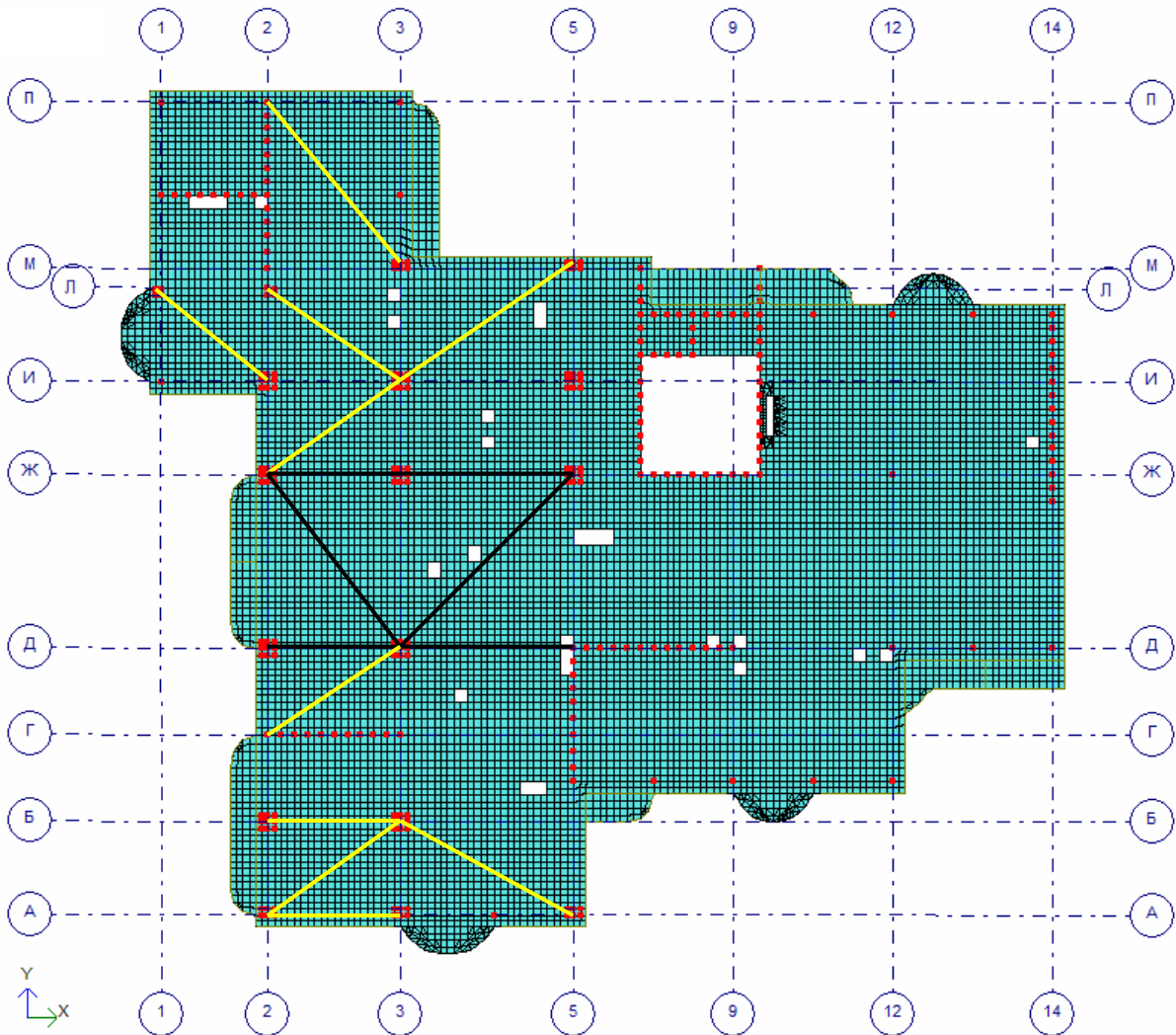


Рис. 4

нагрузке и при догрузке плиты. Толщина перекрытия 180 мм, протяженности пролетов даны в табл. 2.

На рис. 5 показан результат оценки по МНК амплитудного прогиба в пролете 3Ж–5Ж после догрузки плиты. Показана теоретическая эпюра прогибов, рассчитанная в программе ЛИРА 9.2 при классе бетона, установленном ультразвуковым методом в ходе обследования. Эпюра нормирована так, чтобы ее амплитудное значение было равным МНК-оценке амплитудного прогиба по результатам измерений. Измерительные точки нанесены на эпюру.

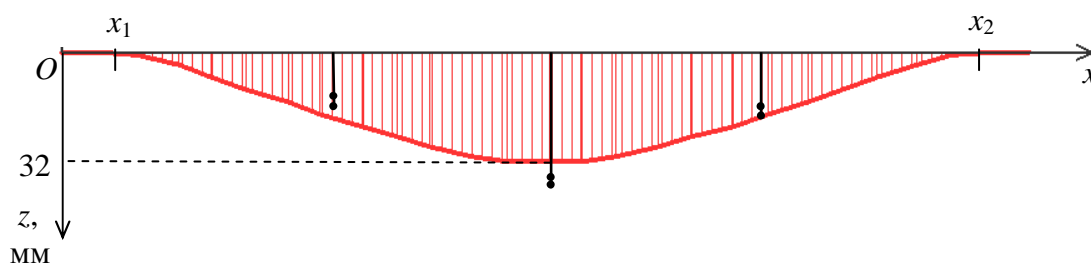


Рис. 5. Эпюра прогибов, нормированная по МНК.  
 $x_i$  — граничные точки пролета

Таблица 1 содержит данные для расчета критерия минимизации (8) при оценивании по регрессии (6) класса бетона. Показан расчет критерия при предполагаемом классе  $B = 15$  (который в данной задаче оказался оптимальным, т. е.  $\hat{B} = 15,0$ ). Эта таблица заполнялась для нескольких классов бетона, и графически отыскивался минимум функции  $Q(B)$ .

Таблица 2 содержит основные результаты применения методики к рассматриваемому перекрытию. Данные в графах 3 и 4 позволяют получить начальные прогибы согласно формуле (10), сведенные в графу 5. Суммированием данных в графах 5 и 6 получаем прогнозируемые эксплуатационные прогибы, представленные первым слагаемым в графе 7. В этой графе для каждого прогиба приведена также ошибка прогноза с вероятностью 0,85 (второе слагаемое). Для сравнения в графе 8 представлены предельно допускаемые прогибы по СНиП 2.01.07-85\*. Приведенных результатов достаточно для принятия решения о соответствии каждого прогиба требованиям СНиП, либо о необходимости строительного подъема пола и потолка, либо о величине зазора между кладкой перегородок и вышележащим перекрытием. Например, в середине пролета 3Д–5Ж величину строительного подъема стяжки пола можно задать равной нижней доверительной границе прогиба  $\hat{Z}_{Ai}^{\alpha} - w_i = 57$  мм. Тогда

Таблица 1

## Регрессионные остатки для разностных прогибов

Название пролета	Амплитудные опытные прогибы, мм			Амплитудные модельные прогибы при $B = 15$ , мм				Амп. мод. прог. при $B = \dots$
	При монтажной нагрузке	При догрузке	Разность прогибов $Y_i$	При монтажной нагрузке	При догрузке	Разность прогибов $A_i(B)$	Остаток регрессии $Y_i - A_i(B)$	
2Ж-3Ж	16	15	-1	1,0	2,4	1,4	-2,4	.....
2Ж-3Д	30	41	11	7,0	15,5	8,5	2,5	
2Д-3Д	17	20	3	1,1	2,0	0,9	2,1	
3Ж-5Ж	28	32	4	11,5	19,3	7,8	-3,8	
3Д-5Ж	41	51	10	18,5	29,6	11,1	-1,1	
3Д-5Д	28	37	9	9,2	14,3	5,1	3,9	

Примечание к табл. 1. Опытные прогибы округлены до ближайшего целого.

Таблица 2

**Амплитудные значения прогибов в пролетах**

Название пролета	Протяженность пролета, м	Опытный прогиб при монтажной нагрузке, мм	Модельный прогиб при монтажной нагрузке, мм	Начальный прогиб, мм	Модельный эксплуатационный прогиб, мм	Прогнозируемый эксплуатационный прогиб, мм	Предельно допускаемые прогибы, мм
1Л-2И	5,3	15	0,6	14,4	0,6	15,0 ± 3,2	28
2П-3М	8,0	18	0,8	17,2	1,6	18,8 ± 3,2	37
2Л-3И	6,1	20	1,1	18,9	2,1	21,0 ± 3,2	30
2Ж-3И	6,1	16	0,3	15,7	0,4	16,1 ± 3,2	30
2Ж-3Ж	5,0	16	1,0	15,0	1,9	16,9 ± 3,2	27
2Ж-3Д	8,2	30	7,0	23,0	15,0	38,0 ± 3,6	37
2Д-3Д	5,0	17	1,1	15,9	2,1	18,0 ± 3,2	27
2Г-3Д	6,0	8	0,3	7,7	0,2	7,9 ± 3,2	30
2Б-3Б	5,0	12	0,7	11,3	1,3	12,6 ± 3,2	27
2А-3Б	6,1	15	1,6	13,4	2,1	15,5 ± 3,2	30
3И-5М	7,8	29	11,1	17,9	26,4	44,3 ± 5,0	37
3Ж-5Ж	6,5	28	11,5	16,5	24,4	40,9 ± 5,0	33
3Д-5Ж	9,2	41	18,5	22,5	41,7	64,2 ± 7,2	41
3Д-5Д	6,5	28	9,2	18,8	24,0	42,8 ± 5,1	33
3Б-5А	7,4	18	2,7	15,3	4,7	20,0 ± 3,2	35

Примечание к табл. 2. Опытные и предельно допускаемые прогибы округлены до ближайшего целого.

прогиб пола в этом пролете с вероятностью 0,85 не превысит ширины доверительного интервала, равной  $2w_i = 14$  мм (рис. 6).

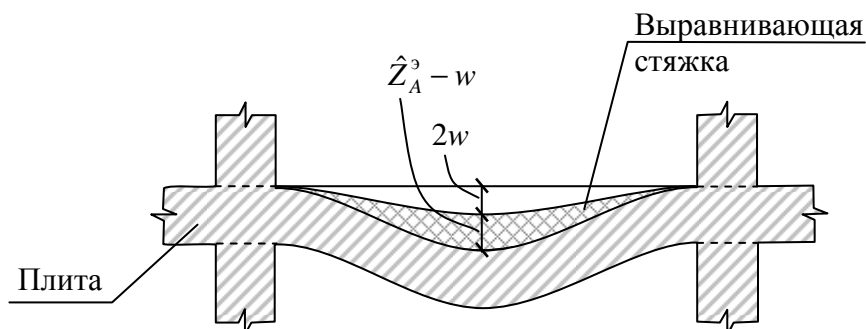


Рис. 6. Уменьшение прогиба пола с помощью стяжки переменной толщины

Анализ табл. 2 показывает, в частности, что значительные по величине эксплуатационные прогибы наблюдаются в тех пролетах, в середине которых располагается несколько перегородок (керамзитобетонная кладка) или имеются вентиляционные каналы (кирпичная кладка). В то же время протяженность пролета в диапазоне 5÷9 м сама по себе незначительно влияет на прогиб.

#### Замечания по технике расчетов

Переход от совокупности регрессионных уравнений (4) к уравнению регрессии (6) упрощает расчеты, но не обязателен: минимизацию остаточной суммы квадратов (ОСК) можно выполнить и для исходной регрессии (4).<sup>2</sup> При апробации методики такой расчет был проведен, и по величине ОСК рассчитана дисперсия шума  $\eta_i^1$ . Отклонение результата от величины (13) составило 15%, что является подтверждением допущения о независимости шумовых составляющих опытных прогибов.

При расчете железобетонных плит перекрытий в линейной постановке обычно используется конечно-элементная сеть с шагом 0,4—0,5 м, причем связь с каждой колонной предполагается в одном узле [5]. При построении конечно-элементной модели плиты на основе нелинейно-упругих элементов следует использовать преимущественно квадратные оболочечные элементы со стороной не более 0,25 м; опора на колонну моделируется совокупностью неподвижных узлов, лежащих в пределах сечения колонны.

<sup>2</sup> При этом для каждого «пробного» значения  $B$  следует определять параметры  $Z_{Ai}^0$ , минимизирующие ОСК, а затем по зависимости ОСК от  $B$  установить саму оценку  $\hat{B}$ .

### Выводы

Представленная методика позволяет прогнозировать амплитудные прогибы плиты перекрытия для условий эксплуатации по данным измерений в период возведения каркаса здания. Погрешность прогноза, как правило, по порядку величины меньше оцениваемого прогиба.

При заданной толщине перекрытия эксплуатационный прогиб определяется в меньшей мере протяженностью пролета и в большей мере величиной начального прогиба, а также нагрузками в пролете.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Боровских А.В., Назаренко В.Г. Теория силового сопротивления сжатых железобетонных конструкций. – М.: МИКХиС, 2000. 112 с.
2. Русаков А.И. Курс лекций по сопротивлению материалов. Учеб. пособие для вузов. – Ростов-на-Дону: Книга, 2004. 336 с.
3. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессии. – М.: Финансы и статистика, 1981. 302 с.
4. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке (методы обработки данных). – М.: Мир, 1980. 610 с.
5. Русаков А.И. Оценка прочности железобетонных конструкций при мембранном сдвиге. – Промышленное и гражданское строительство, № 7, 2008. С. 40–42.