

СССР—МП С
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Аспирант П. А. ГАГАРИН

ФУНДАМЕНТНЫЕ БАЛКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель — профессор МАЛЫШЕВ М. И.

ДНЕПРОПЕТРОВСК
1959

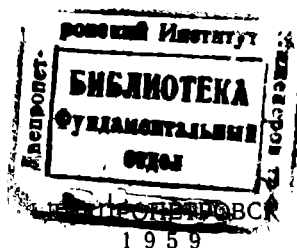
НТБ
ДНУЖТ

Аспирант П. А. ГАГАРИН

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ БАЛКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель — профессор МАЛЫШЕВ М. И.



НТБ
ДНУЖТ

ВВЕДЕНИЕ

Постановление ЦК КПСС и Совета Министров Союза ССР о развитии производства сборных железобетонных конструкций и деталей для строительства является одним из важнейших мероприятий, обеспечивающих дальнейший подъем индустриализации строительства.

В свете этих решений в настоящее время широко осуществляется переход к сборному железобетону во всех областях строительства. Достигнуты огромные успехи в проектировании сборных конструкций в промышленном и гражданском строительстве. Решен целый ряд вопросов, возникших при массовом переходе на сборный железобетон в строительстве.

Однако имеется еще немало таких вопросов, которые требуют дальнейшего развития и исследования. К таким вопросам, в частности, следует отнести вопросы исследования и расчета сборных фундаментных балок под стены промышленных зданий и сооружений, приближенная методика расчета которых далеко отстает от поставленных задач.

В литературе этот вопрос почти не освещался. Имеющиеся работы Б. Н. Жемочкина, Л. И. Онищика, М. Я. Пильдыша и С. В. Полякова по расчету многопролетных рандбалок невозможно использовать без существенных погрешностей для расчета сборных фундаментных балок.

Отсутствие точных методов привело к тому, что большинство проектных организаций вынуждены применять грубо приближенные методы расчета этих конструкций, рассматривая сборную фундаментную балку как простую балку на двух опорах, несущую равномерную или треугольную нагрузку от веса кладки.

Как показал опыт и теоретические исследования, приближенные методы при всей их простоте нельзя признать удовлетворительными. В отдельных случаях они приводят к

перерасходу материалов, в других, наоборот, вызывают опасность перенапряжения в балке.

Теперь, когда сборные фундаментные балки получили широкое применение в промышленном строительстве, возникает необходимость в критическом пересмотре приближенных методов и в разработке более надежных и простых приемов расчета этих конструкций при наименьшем расходе материалов и особенно арматуры.

Поэтому в настоящей работе, наряду с кратким освещением вопросов конструирования, излагается простой и надежный способ расчета сборных фундаментных балок под стены промышленных зданий и сооружений.

Предлагаемый в диссертации метод расчета балок основан на теории упругой полуплоскости. Метод достаточно подробно освещен в работах автора: **«Расчет балок конечной длины, лежащих на упругой полуплоскости»** и **«Расчет и проектирование сборных фундаментных балок под стены промышленных зданий»** в выпусках научных трудов Днепрпетровского инженерно-строительного института за 1958—1959 гг.

ГЛАВА I

В первой главе рассматриваются общие вопросы применения и назначения сборных фундаментных балок в зависимости от нагрузок и конструкций стен одноэтажных промышленных зданий. Кратко изложены вопросы конструирования типовых и других решений сборных фундаментных балок в соответствии с действующими нормативными указаниями по проектированию изгибаемых элементов железобетонных конструкций. Отмечены также возможные случаи опирания концов балок и возникающие при этом эпюры давления на опорах, что позволяет находить точки приложения равнодействующих опорных реакций.

Даны некоторые соображения относительно работы балок на изгиб совместно со стеной и возникающем при этом давлении по линии контакта, которое является внешней нагрузкой по отношению к балке.

Однако вопросы, связанные с определением такого рода нагрузок, выходят за пределы теории элементарного изгиба. Те или другие предположения о распределении веса кладки по длине балки, не отражающие действительных условий ее работы, не могут служить предпосылкой для расчета сборных фундаментных балок и являются грубым приближением.

Очевидно, для определения этих давлений должны использоваться такие методы, которые более близко отражали бы действительные условия работы балки.

Наиболее приемлемой, в этом смысле, расчетной схемой, которая способна учесть особенности работы фундаментной балки, является схема, предложенная Б. Н. Жемочкиным, где фундаментная балка рассматривается как балка на упругой полуплоскости.¹⁾

В главе затронуты некоторые вопросы, связанные с определением опорных реакций, возникающих на концах балок. До сих пор расчет фундаментных балок строился в предположении, что опоры являются неподвижными или дают совершенно одинаковые осадки по всей длине зданий. При этом предполагалось, что опорные реакции распределяются равномерно по всем опорам. Однако такое предположение могло быть только условным, так как в действительности создать неподвижные опоры или равномерную осадку всех опор практически почти невозможно. В зависимости от жесткости стены, ее размеров, а также деформативных свойств основания, распределение реакций по опорам может оказаться весьма различным.

Пренебрежение пространственной работой стены на изгиб приводит, как правило, к приближенной оценке величины опорных реакций и, следовательно, к приближенному определению реактивного давления по длине контакта балки со стеной.

Однако, не имея в достаточном количестве опытных данных по исследованию пространственной работы стен, опирающихся на упругое основание, и данных по определению жесткости стен в вертикальной плоскости, в диссертации даны только некоторые предварительные соображения по этому вопросу.

В последнем параграфе главы приведены некоторые сведения, характеризующие упругую работу кладки как в свежем, так и в отвердевшем ее состоянии.

Результаты многочисленных опытов, проведенных лабораторией каменных конструкций по исследованию работы каменной кладки, а также упругих свойств кладки ранних возрастов показали, что общая закономерность деформации для всех видов кладки применима и для кладки ранних возрастов. Как показали опыты И. Т. Котова, это объясняется тем,

¹⁾ Б. Н. Жемочкин и А. П. Синицын. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании без гипотезы Винклера, 1947 г.

что свежая кладка обладает определенной прочностью, которая со временем быстро нарастает.

На основании многочисленных исследований И. Т. Котов приходит к выводу, что кирпичная кладка с трехдневного возраста уже обнаруживает упругие свойства и модуль упругости кладки ранних возрастов равен, примерно, 40—50 % начального модуля упругости отвердевшей кладки. Коэффициент 0,5, входящий в формулу по определению модуля упругости кладки, позволяет учитывать пластические свойства кладки ранних возрастов и уменьшить концентрацию напряжений на концах балки.

ГЛАВА II

Во второй главе рассмотрены существующие методы расчета сборных фундаментных балок и многопролетных рандбалок.

Как уже отмечалось выше, расчет сборных фундаментных балок в настоящее время ведется приближенно. Методика их расчета, разработанная проектными организациями, основана на тех или других предположениях о величине и распределении нагрузок от веса кладки по длине балки.

Одним из старых способов расчета является так называемый метод треугольной нагрузки. Однако многочисленные исследования, проведенные С. А. Семенцовым, М. Я. Пильдышем и С. В. Поляковым, а также теоретический анализ Б. Н. Жемочкина и Л. И. Онищика показали полную несостоятельность метода расчета, основанного на выделении треугольной призмы разрушения. Как показали опыты, до начала отделения треугольной призмы кладка разрушается в зоне действия опорных реакций, т. е. в зоне действия максимальных сжимающих напряжений.

Другая схема по расчету этих конструкций учитывает только часть веса свежеложенной кладки сплошной стены, эквивалентной весу пояса кладки, высотой равной $1/3$ пролета. Эта методика является ничем иным, как видоизменением расчетной схемы предыдущего метода и приводит к тем же результатам.

Для расчета балок под стены с проемами существует еще больше различных схем нагружения. Однако все они страдают серьезными недостатками.

Пренебрегая упругими свойствами материалов, все приближенные схемы строятся в отрыве от действительных условий работы балки. В расчетах не учитывается способность

стены сопротивляться изгибу в вертикальной плоскости, не принимается во внимание различная высота стен, а следовательно, и величина нагрузок от веса кладки, не говоря уже о какой-либо возможности учета нагрузок, приложенных к верхней грани стены. Поэтому при расчете балок на прочность серьезное опасение вызывает тот факт, что величина изгибающего момента остается неизменной и одинаковой как для балок под стены высотой 4 м, так и под стены высотой 15 м.

Следует отметить, что расчет сборных фундаментных балок, кроме указанных выше приближенных методов, можно было вести и методом «стерженьков» Б. Н. Жемочкина, который достаточно близко отражает действительные условия работы балки и позволяет учесть влияние соседних балок на рассчитываемую. Однако с практической точки зрения здесь возникают расчетные трудности, связанные с решением большого числа линейных уравнений. Поэтому метод «стерженьков» не нашел применения в проектировании этих конструкций.

В главе кратко рассматриваются вопросы расчета многопролетных рандбалок. Это наиболее устаревший вид конструкций монолитных балок и в строительстве применяется как редкое исключение. Расчет таких балок производится по схеме, разработанной также Б. Н. Жемочкиным, которая в настоящее время является основной схемой. Дальнейшее развитие расчетная схема Б. Н. Жемочкина получила в работах Л. И. Онищика, М. Я. Пильдыша и С. В. Полякова и с успехом используется в проектировании.

Достоинства схемы Жемочкина состоят и в том, что она позволяет перейти к более совершенным методам расчета сборных фундаментных балок как балок на упругом основании, находящихся в условиях плоской задачи теории упругости.

Расчету балок на упругом основании в условиях плоской задачи за последние 20—30 лет посвящено много работ. Наиболее известные из них работы Н. М. Герсегованова, Я. А. Мачерета, М. И. Горбунова-Посадова, В. А. Флорина, Б. Н. Жемочкина, И. Я. Штаермана, В. И. Кузнецова, Б. Г. Коренева, Л. А. Галина и целого ряда других ученых. Как отмечает Б. Н. Жемочкин, авторы этих работ при решении контактной задачи обычно исходят из одних и тех же интегро-дифференциальных уравнений, но различно их интегрируют.

В работе отмечены те методы интегрирования, которые позволяют в той или другой степени использовать результаты

решения для расчета сборных фундаментных балок и могут оказаться полезными для дальнейшего решения плоских контактных задач.

Одним из таких решений следует отметить решение М. Я. Леонова, а также А. С. Сорокина. Развивая дальше решение М. Я. Леонова, Сорокину удалось свести задачу к интегральному уравнению Фредгольма II рода и получить некоторые частные решения задачи, имеющие практическую ценность.

В главе отмечены и другие методы расчета балок на упругом основании в условиях плоской задачи, представляющие практический интерес. Например, метод П. И. Клубина, в котором особо выделяется решение для абсолютно жесткого штампа, а остальные члены ряда искомой функции являются поправкой на конечную жесткость балки и др. методы. Как отмечает М. И. Горбунов-Посадов, аналогичный прием решения мог бы служить для дальнейшего усовершенствования методов расчета балок и плит на упругом основании в условиях плоской задачи.¹⁾

Принимая за основу схему Б. Н. Жемочкина и интегральное уравнение Фредгольма II рода, решение задачи по расчету сборных фундаментных балок предлагается в следующем плане:

1. Путем решения интегрального уравнения методом подобной итерации находится закон изменения реактивного давления по длине контакта балки и стены.

2. Используя эту реакцию в качестве внешней «упругой нагрузки» на сборную фундаментную балку, задача сводится к расчету простой балки на двух опорах.

3. Применяя общий метод интегрирования упругой линии балки при соответствующих краевых условиях, находятся формулы расчетных усилий в балке от переменной «упругой нагрузки».²⁾

4. Производится расчет балки на прочность.

Предлагаемый план решения наиболее полно удовлетворяет требованиям поставленной задачи, более близко отражает реальные условия работы балки, позволяет найти простые и надежные формулы по определению усилий и проверить решение задачи экспериментально.

1) И. М. Горбунов-Посадов «Расчет конструкций на упругом основании», изд. 1953 г.

2) Под названием «упругая нагрузка» имеется в виду реактивное давление, возникающее на границе контакта балки со стеной. Это давление в дальнейшем будет рассматриваться как внешняя нагрузка на балку.

В начале главы приводятся основные зависимости и уравнения контактной задачи, а именно: известное уравнение упругой линии балки, уравнение Фламана для полуплоскости и контактное условие, а также интегральное уравнение Фредгольма II рода.

Вывод формулы контактного давления начинается с решения интегрального уравнения, приведенного к виду:

$$p(x) = f(x) - \lambda Kp(t). \quad (1)$$

Решая уравнение (1) методом подобной итерации и принимая в качестве нулевого приближения функцию

$$p_0(x) \equiv 0, \quad (2)$$

получим первое приближение в виде:

$$p_1(x) = mp^0 + \lambda Kq(t). \quad (3)$$

Определив интегральный оператор $Kq(t)$, первое приближение (3) примет следующий вид:

$$p_1(x, k) = mp^0 + \beta \cdot m\bar{p}_1(x, k), \quad (3')$$

где:

$$\beta = \frac{E_k \cdot b_1 \cdot l^3}{4E_6 J_6} \quad (4)$$

$$\bar{p}_1(x, k) = \left[\frac{C_1^0}{\sqrt{1-x^2}} - C_3^0 \sqrt{1-x^2} - F^0 \right] \quad (5)$$

Выражение (5) является поправкой на конечную жесткость балки.

Задача сводится к тому, чтобы „улучшить“ поправку $\bar{p}_1(x, k)$ путем умножения её на некоторый коэффициент α_1 , т. е. в качестве исходного уравнения принять:

$$p_1^*(x, k) = mp^0 + \alpha_1 \beta m\bar{p}_1(x, k); \quad (6)$$

тогда второе приближение определится равенством:

$$p_2(x, k) = f(x, k) - \alpha_1 \beta m \lambda K\bar{p}_1(t, k), \quad (7)$$

где:

$$f(x, k) = mp^0 + \lambda K[q - mp^0]. \quad (8)$$

После подстановки q , p^0 и $\bar{p}_1$ в выражения (7) и (8) и эле-

ментарного интегрирования, второе приближение (7) примет следующий вид:

$$p_2(x, k) = mp^0 + \beta m \varphi(x, k) - \alpha_1 \beta^2 m f_2(x, k), \quad (7^1)$$

где:

$$\left. \begin{aligned} \varphi(x, k) &= \left[\frac{D_1^0}{\sqrt{1-x^2}} - D_3^0 \sqrt{1-x^2} - F_1^0 \right], \\ f_2(x, k) &= \left[\frac{E_1^0}{\sqrt{1-x^2}} - E_3^0 \sqrt{1-x^2} - F_2^0 \right]. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Для определения коэффициентов, входящих в формулы (9), в диссертации имеются соответствующие таблицы.

Совершенно аналогично можно было получить и третье приближение, но, как показали вычисления, уже второе приближение дает вполне удовлетворительную сходимость. Поэтому, прекращая процесс итерации на втором приближении, найдем коэффициент α_1 . Коэффициент α_1 , как известно, можно определить различными способами.

Наиболее простой и эффективный способ определения коэффициента α_1 был предложен А. С. Тумаркиным по равенству функций.¹⁾

Предположим, что исходное и второе приближение совпадает в точках x_1 , где $(-1 \leq x_1 \leq +1)$, тогда получим

$$p_1^*(x_1) = p_2(x_1), \quad (10)$$

откуда:

$$\alpha_1 = \frac{\varphi(x, k)}{p_1(x, k) + \beta f_2(x, k)} \bigg|_{x=x_1} \quad (11)$$

Внося коэффициент α_1 в одно из приближений, после элементарных преобразований получим формулу контактного давления

$$p = (p^0 + \delta \varphi) m, \quad (12)$$

где:

$$p^0 \quad m = \frac{2P}{\pi \sqrt{1-x^2}} \quad \text{— решение для абсолютно жесткой балки,}$$

¹⁾ И. А. Биргер. Некоторые математические методы решения инженерных задач, изд. 1956 г.

$\delta = \frac{\beta}{1 + 0,25\beta}$ — коэффициент, зависящий от показателя гибкости балки β ,

φ — функция, определяемая по формуле (9) или таблице 1 приложения.

В работе указаны некоторые особенности решения интегрального уравнения методом подобной итерации. И главное, на что следует обратить внимание, этот метод позволяет выделить решение для абсолютно жесткой балки и получить второе слагаемое в виде поправки на конечную жесткость ее с коэффициентом δ , характеризующим упругую работу всей системы.

Путем последовательного интегрирования формулы контактного давления (12) получим выражения для Q_x и M_x

Поперечная сила:

$$Q_x = \pm [Q_0 + \delta Q_1 - 1] \cdot P \quad (13)$$

Изгибающий момент:

$$M_x = [M_0 + \delta M_1 - x] P l \quad (14)$$

Однако, несмотря на простоту формул для Q_x и M_x , практическое решение задач по ним вызывает некоторые трудности, поэтому в V главе дан несколько упрощенный прием определения усилий в балке.

Дальше в работе приводится исследование формулы контактного давления (12), которая отражает основной закон распределения реактивного давления на балку со стороны основания как результат взаимодействия двух упругих тел. Физическая сторона задачи выражается коэффициентом β (формула 4).

Из условий предельного контакта $p_x = 0$, найдены предельные значения показателя гибкости β^0 в зависимости от точки приложения внешних сил, а также из формулы (4) получена полудлина контакта.

$$S_0 = \sqrt[3]{\frac{\beta}{3} \cdot \frac{n}{b_1} J_6}, \quad (15)$$

где: $n = \frac{E_6}{E_k}$ — отношение модуля упругости материала балки к модулю упругости материала полуплоскости,
 J_6 — момент инерции поперечного сечения балки.

Для прямоугольного сечения балки формула (15) принимает более простой вид:

$$S_0 = \alpha_0 h \sqrt[3]{n}, \quad (16)$$

где: h — высота сечения балки, коэффициент α_0 зависит от точки приложения внешних сил. Для силы, приложенной в середине, $\alpha_0 = 1,15$.

Для сил, приложенных по концам балки, $\alpha_0 = 1,07$.

Исследование формулы контактного давления (12) позволило установить пределы применимости этой формулы. И, действительно, при $\beta \leq \beta^0$ — формула отражает закон изменения реактивного давления для коротких балок и при $\beta > \beta^0$ — для длинных и полубесконечных балок.

В работе приводится также относительное значение $\frac{S_0}{l_0}$, выражаемое формулой:

$$r_0 = \alpha_0 \frac{h}{l_0} \cdot \sqrt[3]{n}, \quad (17)$$

где l_0 — расчетная длина балки.

Для определения упругой характеристики r_0 составлены таблицы и графики.

Таким образом, анализ формулы контактного давления (12) позволяет сделать практические выводы относительно понятия гибкости балки β и упругой характеристики r_0 .

Исследования показывают, что основными параметрами, определяющими расчетную схему, вернее, расчетную категорию балки, работающей на упругом основании, являются показатель гибкости β и упругая характеристика r_0 , которые характеризуют относительную гибкость балки, т. е. способность ее деформироваться по отношению к упругой плоскости.

В последнем параграфе главы дан учет влияния смежных балок на рассчитываемую. Вопросы расчета, связанные с учетом влияния смежных балок, сами по себе являются очень важными. Для их разрешения в литературе имеется ряд предложений. Для практических расчетов интерес представляют предложения В. А. Флорина, Б. Г. Коренева, Б. Н. Жемочкина и др. авторов.

Однако при расчетах, например, по методу Б. Н. Жемочкина возникают трудности, связанные с решением дополнительных уравнений.

В диссертации дается только приближенное решение этого вопроса, основанное на предложении В. А. Флорина, и дается формула, учитывающая влияние смежных балок,

ГЛАВА IV

Эта глава содержит результаты экспериментальных исследований. Для более полного изучения работы однопролетных балок, несущих «упругую нагрузку», было поставлено две серии опытов.

К первой группе относятся опыты, поставленные в лабораторных условиях при кафедре оснований и фундаментов Днепропетровского инженерно-строительного института.

Цель постановки опытов первой группы заключалась в том, чтобы выявить характер взаимодействия балки с упругой полуплоскостью и установить влияние различных параметров на характер явлений, протекающих в упругой стадии работы балки. Задача состояла не столько в получении количественных величин реактивного давления, сколько в выявлении характера распределения этих давлений по длине балки и в установлении зависимости закона давления от гибкости балки и других параметров.

Ко второй группе относятся опыты, поставленные как в лаборатории кафедры оснований и фундаментов, так и в полевых условиях.

Цель постановки опытов второй группы в основном сводилась к выявлению деформации изгиба балки под действием «упругой нагрузки».

Таким образом, если на первом этапе исследований ставилась задача опытного подтверждения закона распределения реактивного давления, полученного выше теоретическим путем, то на втором этапе исследовались прогибы балки, как результат воздействия этого давления.

Экспериментальное изучение упругой стадии работы балки, характер взаимодействия ее с полуплоскостью под действием сосредоточенных нагрузок осуществлялся на специальной модельной установке, где в качестве упругой полуплоскости была принята стенка из пенопласта размерами $120 \times 100 \times 5,6$ см.

Балки испытывались разной жесткости; загрузка осуществлялась по двум схемам: по середине и по концам балки.

В результате проведенных исследований было установлено, что с изменением жесткости балки кривая прогибов (осадок) полуплоскости также меняется. Для жестких балок при

обеих схемах загрузки кривая осадок в пределах длины балки стремится занять прямую линию и, наоборот, для гибких балок кривизна резко возрастает.

Кроме того, по результатам опыта построен график, который позволяет устанавливать предельное значение показателя гибкости балки, близко совпадающее с теоретическим предельным значением β^0 .

В результате испытаний найдены в первом приближении кривые распределения реактивных давлений по подошве балки. Установлена зависимость изменения давления от показателя гибкости балки β и точки приложения внешних сил.

В результате постановки опытов второй группы были получены максимальные прогибы балки как от «упругой нагрузки», так и других видов загрузки балки. Результаты опытов сведены в таблицы и графики.

Графическая зависимость прогибов от нагрузки, полученная в результате испытания, дает наглядное представление о характере загрузки балки. Прогибы, полученные от «упругой нагрузки» указывают на неравномерное распределение ее по длине балки.

Дальнейшее исследование деформации изгиба балки под действием «упругой нагрузки» было проведено в полевых условиях. Основное назначение полевых опытов состояло в том, чтобы установить влияние меняющейся жесткости стены в период строительства на величину прогиба и изгибающего момента в пролете балки и произвести сравнение опытных данных с теоретическими.

С этой целью замеры прогибов балки производились в момент возведения кладки стен, т. е. в период, когда кладка из свежей постепенно переходила в отвердевшую, одновременно увеличивая свой вес.

Те данные, которые удалось получить в результате испытаний, позволяют сделать некоторые выводы, а именно: свежая кладка дает сравнительно большие приращения прогибов, чем отвердевшая, то же можно сказать и относительно приращения изгибающих моментов в пролете балки, т. е. в период нарастания жесткости стены пропорциональность между прогибом и нагрузкой нарушается. Эти выводы не являются неожиданными. Они лишь подтверждают тот факт, что изменение жесткости кладки оказывает существенное влияние на величину изгибающего момента в балке.

Однако в результате наблюдений было установлено и другое, что время, в течение которого кладка ведет себя как свежая, сравнительно невелико. В наших опытах оно продолжалось два—три дня. Резкое нарастание жесткости кладки уже

можно было наблюдать после двухдневного перерыва в работе по возведению стены.

Последнее обстоятельство указывает на то, что жесткость стены нарастает быстро, и при расчете балок на проектную нагрузку кладку к этому периоду можно рассматривать как отвердевшую, что наглядно видно из приведенной ниже таблицы 1, в которой даны величины изгибающих моментов, полученные по данным опытов и теоретическим формулам.

Таблица 1.

Метод определения изгибающего момента	Нагрузка в тоннах					
	2,48	4,96	7,42	10,2	12,95	14,0
По данным опыта	0,765	1,22	1,43	1,48	1,76	1,90
То же	0,575	0,95	1,15	1,20	1,44	1,56
По формулам автора при марке раствора 2	0,494	0,99	1,48	2,03	2,58	2,79
То же, при отвердевшей кладке	0,344	0,685	1,025	1,410	1,79	1,93
По схеме ГПИ без учета упругих свойств кладки.	1,67	3,35	5,01	6,9	8,71	9,45

По данным таблицы 1 в работе автора имеется график.

Ниже в сводной таблице 2 помещены средние результаты, полученные по данным полевых испытаний, а также результаты, полученные путем подсчетов по теоретическим формулам для балок, имеющих одинаковую жесткость.

Нагрузка принята максимальной, которая имела место при испытании балок в полевых условиях.

При этом как в первой, так и во второй таблицах в расчет включены нормативные нагрузки только от веса кладки. Собственный вес балки не учитывался.

Таблица 2

Метод определения изги- бающего момента	Максимальный изгибающий момент М тм.
По данным опыта (среднее значение)	1,73
По формулам автора	1,93
По методу Жемочкина	1,98
По методу Горбунова-Посадова	1,75
По методу ГПИ (без учета упругих свойств кладки)	9,45

НТБ
ДНУЖТ

Как видно из таблицы 2, средние значения максимального момента, полученного по данным опыта, достаточно хорошо согласуются с данными теоретических расчетов.

В то время, как балка рассчитанная по методу ГПИ без учета упругих свойств кладки, т. е. на нагрузку от веса кладки как сыпучего тела, будет иметь примерно пятикратный запас прочности (см. таблицу 2).

ГЛАВА V

На основании результатов теоретического и опытного исследования в настоящей главе разработан метод расчета сборных фундаментных балок под стены промышленных зданий и сооружений.

Получены простые расчетные формулы по определению усилий в балке и дан расчет балки на прочность по изгибающему моменту. Для вывода расчетных формул принят общий метод интегрирования упругой линии балки.

Как известно, этот метод обладает определенными преимуществами, а именно: при расчете однопролетных балок, независимо от их статической неопределимости, этот метод одинаково пригоден, и общее решение дифференциального уравнения, независимо от сложности нагрузки, содержит лишь четыре произвольных постоянных, которые определяются из граничных условий.

Приведены формулы изгибающих моментов в любом сечении балки, а также формулы по определению максимальных прогибов в пролете балки. Формулы получены для двух основных схем загрузки балки при показателе гибкости $\beta \leq \beta^0$ и при $\beta \geq \beta^0$. При этом для случая широких опор имеется возможность учета упругого защемления концов балки.

Формулы максимальных изгибающих моментов без учета упругого защемления концов балки для случая, когда $\beta \leq \beta^0$ имеют вид:

$$\max M_p = \frac{q_0 l_0^2}{6} \bar{M}_p, \quad (18)$$

где

$$\bar{M}_p = \left[\frac{l_0}{8S_0} + \frac{3}{2} \left(\frac{S_0}{l_0} - \frac{1}{2} \right) \right] \quad (19)$$

Для случая, когда $\beta \geq \beta^0$,

$$\max M_p = \frac{q_0 S_0^2}{6}. \quad (20)$$

Аналогичные формулы получены и для балок с учетом упругого защемления концов.

В указанной выше работе автора приведены более общие и простые формулы по определению изгибающих моментов, полученных в результате упрощения предыдущих формул:

$$\max M_p = P \cdot l_0 \cdot \bar{M}_p, \quad (21)$$

где значение безразмерного коэффициента $\bar{M}_p$ будет зависеть только от r_0 , причем при $r_0 \geq 0,5$:

$$\bar{M}_p = \frac{1}{6 r_0} \left[\frac{1}{8 r_0} + \frac{3}{2} (r_0 - 0,5) \right], \quad (22)$$

а при $r_0 \leq 0,5$:

$$\bar{M}_p = \frac{r_0}{6}, \quad (23)$$

где r_0 — определяется по формуле (17).

Что касается определения максимальной поперечной силы в точке приложения опорной реакции, то ее можно определить по формуле:

$$\max Q_0 = 0,5P, \quad (24)$$

где P — величина опорной реакции.

Таким же образом упрощаются и формулы для случая широких опор.¹⁾

Расчеты показали, что указанные выше формулы дают близкие и даже совпадающие результаты с теми, которые могут быть получены по методам более совершенным (например, методом «стерженьков» проф. Б. Н. Жемочкина), но более трудоемким, чем предлагаемый. В диссертации дана графическая зависимость изгибающих моментов от соотношения упругих характеристик.

Для проверки теоретических формул опытным путем приводится выражение, связывающее максимальный изгибающий момент с максимальным прогибом в пролете балки.

1) Понятие узкие и широкие опоры принято в соответствии с указаниями НигТУ-120-55

В общем виде для обеих схем нагружения балки на узких опорах оно может быть представлено в следующем виде:

$$M_p = f_0 \frac{4D}{l_0^3} \cdot \frac{\bar{M}_p}{\omega_0}. \quad (25)$$

Результаты проведенных испытаний балок показали вполне удовлетворительную сходимость экспериментальных данных с теоретическими. В диссертации приведены таблицы и графики этих испытаний. Приводится большое количество примеров по расчету сборной фундаментной балки с различным модулем упругости кладки. Показано влияние жесткости кладки на величину изгибающего момента в пролете балки. Приводится решение этой же задачи приближенными методами. С помощью таблиц и графиков проведен полный анализ всех возможных вариантов решения задачи. Анализ наглядно показывает, что предлагаемый здесь метод, наряду с простой решенной, достаточно близко отражает действительные условия работы балки, позволяет решать задачи при большом разнообразии материалов стены, дает возможность учитывать нагрузку, приложенную к верхней грани стены, обеспечивает надежность решения, чего нельзя сказать ни об одном из приближенных методов.

Из графиков и таблиц видно, что по мере уменьшения модуля упругости кладки при прочих равных условиях изгибающий момент в пролете возрастает. Влияние других параметров на величину изгибающего момента можно было также проследить на конкретных примерах и графиках, однако расчеты показали, что нет необходимости решать примеры для всех возможных вариантов задачи. Для этого достаточно установить зависимость между безразмерным коэффициентом $\bar{M}_p$ и упругой характеристикой балки g_0 , которая содержит все указанные выше параметры. Для фундаментной балки на узких опорах, т. е. когда можно пренебречь упругим защемлением концов балки, указанная зависимость между $\bar{M}_p$ и g_0 приведена в виде таблицы (см. П. А. Гагарин, «Расчет и проектирование сборных фундаментных балок под стены промышленных зданий»).

В конце главы приводится расчет сборных фундаментных балок на прочность. При этом имеется в виду, что усилия в балке зависят не только от величины и характера нагрузок или длины пролета, что характерно для простых балок, но и от соотношения упругих характеристик материалов балки и кладки. Изменение этого соотношения, как уже отмечалось выше, приводит, прежде всего, к изменению показателя гибко-

сти β или упругой характеристики r_0 , которые и оказывают влияние на величину расчетного момента в пролете балки.

Эти замечания имеют очень важное значение, поскольку речь идет о подборе сечения балки и ее прочности по изгибающему моменту.

В тех случаях, когда сечением сборных фундаментных балок задаются, исходя из конструктивных соображений, расчет балки по первому предельному состоянию можно свести к установлению необходимого процента армирования и подбору площади сечения арматуры.

Пользуясь в предельном состоянии равенством моментов внешних и внутренних сил, для прямоугольного сечения балки находят коэффициент A_0 по формуле

$$A_0 = \frac{M_p}{mb \cdot h_0^2 \cdot R_u} \quad (26)$$

Или подставляем сюда значение M_p из формулы (21), получим новое выражение коэффициента A_0 в виде:

$$A_0 = \frac{Pl_0}{mbR_u} \cdot \frac{\bar{M}_p}{h_0} \quad (27)$$

Табличный коэффициент A_0 позволяет находить целый ряд других коэффициентов μ^0 , α и γ , входящих в формулы по определению площади сечения арматуры.

$$F_a = \mu \frac{b \cdot h_0}{100} \quad (28)$$

В случае необходимости производят проверку сечения балки на перерезывающие силы, удовлетворяя неравенству:

$$Q_0 \leq mR_p \cdot b h_0 \quad (29)$$

Если условие (29) удовлетворяется, то хомуты ставятся конструктивно.

* * *

Объем диссертации составляет 147 страниц текста, 61 рисунок, 26 таблиц с приложением. Перечень использованной литературы содержит 59 наименований.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Существующие приближенные методы расчета сборных фундаментных балок не отражают реальных условий работы

1460/a

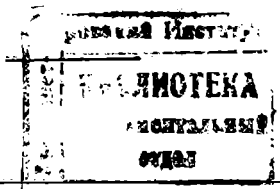
этих балок и не обеспечивают надежность и экономичность конструкций. Точные же методы слишком сложны и трудоемки для инженерных расчетов и не нашли применения в проектировании этих конструкций.

2. Метод расчета, основанный на теории упругой полуплоскости, наиболее близко отражает реальные условия балки и наряду с простотой решения обеспечивает надежность конструкции при наименьшем расходе материалов и, в первую очередь, арматуры. Метод позволяет учитывать нагрузки, приложенные к верхней грани стены, чего невозможно сделать ни одним из приближенных методов.

3. Для решения интегрального уравнения использован метод подобной итерации, позволивший получить простую и достаточно точную формулу контактного давления. Метод позволил выделить решение для абсолютно жесткой балки и найти второе слагаемое в виде поправки на конечную жесткость ее. В результате решения получен коэффициент δ , характеризующий упругую работу всей системы, установлены пределы применимости этой формулы, найдены предельные значения показателя гибкости балки β и длина контакта балки с полуплоскостью $2S_0$.

4. Применение общего метода интегрирования упругой линии при соответствующих краевых условиях позволило получить простейшие формулы расчетных усилий в балке, которые крайне необходимы как для инженера-проектировщика, так и для проверки расчета экспериментальным путем. При этом следует отметить, что элементарные приемы строительной механики, положенные в основу вывода расчетных формул по определению усилий в балке, несколько не ухудшили результатов решения задачи. Формулы одинаково пригодны для расчета жестких и гибких балок, позволяют учитывать влияние смежных балок на рассчитываемую.

5. При расчете сборных фундаментных балок на прочность различная несущая способность их может быть достигнута не только за счет изменения марки бетона и стали но также и за счет соответствующего подбора материалов кладки.



БТ 06201. Подп. к печ. 4. I. 1960 г. Бумага 60×84. 1,25 п. л. Фак. № 228. Тираж 150 экз.

Областная газ.-журн. типография Днепропетровского областного издательства,
г. Днепропетровск, Ленинградская, 56.