

## Расчет и конструирование ригеля

*Бабашов Даниэль Эльманович*

*Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема*

*Студент*

### Аннотация

В данной статье рассматриваются основные аспекты расчета конструирования ригеля - горизонтального элемента, который служит опорой для вертикальных конструкций и обеспечивает передачу нагрузок от колонн на фундамент. При проектировании ригелей учитываются различные факторы, такие как тип и назначение здания, материал колонн, нагрузка на ригель.

**Ключевые слова:** расчет, конструирование ригеля, колонна.

## Calculation and construction of the crossbar

*Babashov Daniel Elmanovich*

*Sholom-Aleichem Priamurskiy State University*

*Student*

### Abstract

This article discusses the main aspects of the calculation and design of a crossbar - a horizontal element that serves as a support for vertical structures and ensures the transfer of loads from columns to the foundation. When designing crossbars, various factors are taken into account, such as the type and purpose of the building, the material of the columns, and the load on the crossbar.

**Keywords:** calculation, crossbar construction, column.

### Введение

Расчет и конструирование ригелей является важным этапом в процессе проектирования зданий и сооружений. Ригели представляют собой горизонтальные элементы, которые служат опорой для вертикальных конструкций - колонн. Они являются неотъемлемой частью рамных каркасов и обеспечивают передачу нагрузок от колонн на фундаменты.

При проектировании ригелей необходимо учесть множество факторов, таких как тип здания, его назначение, материал колонн, нагрузки на ригель и т.д. Основная задача расчета и конструирования - обеспечить надежность и долговечность ригельной системы, а также оптимальный расход материалов.

В работе Евстафьева Н. А. описано конструирование железобетонных элементов с помощью определения геометрических размеров и расчета железобетонных ригелей [2]. В статье Маннапова Р. М. приведены расчёты в ПК «ЛИРА-САПР» железобетонных опор [2].

Цель исследования: изучить расчет и конструирование ригеля.

В данной статье мы рассмотрим основные аспекты расчета и конструирования ригелей.

### 1.1. Общие сведения о статическом расчете ригеля рамного каркаса

Каркасные здания являются основой современного строительства и состоят из железобетонных стержней, вертикальных колонн и горизонтальных ригелей. Эти системы преимущественно используются в административных и общественных зданиях, требующих больших открытых пространств. В зависимости от способа восприятия внешних нагрузок, каркасы делятся на рамные, связанные и рамно- связанные.

Рамный каркас принимает все нагрузки (вертикальные, горизонтальные и ветровые), имея жесткую связь между ригелем и колонной. В связанной системе горизонтальные нагрузки переносятся вертикальными элементами (диафрагмы, ядра жесткости), а вертикальные нагрузки - самим каркасом, имеющим шарнирное или частично жесткое соединение ригелей с колоннами. Рамно- связанный каркас воспринимает нагрузки всех типов как рамой, так и жесткими элементами одновременно. Важно отметить, что трехмерное поведение несущей системы обычно не заметно, поскольку вертикальные и горизонтальные нагрузки действуют на все элементы.

Тогда

$$M = \alpha \cdot g \cdot l_b^2 \text{ или } M = \beta \cdot v \cdot l_b^2, \quad (1)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты для различных схем загрузки ригеля;

$g$  и  $v$  – соответственно постоянная и временная (полезная) равномерно распределенная нагрузка на ригель рамы;

$l_b$  – расчетный пролет ригеля.

Для определения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  необходимо предварительно вычислить отношение погонных жесткостей ригеля и колонны:

$$k = i_b / i_c, \quad (2)$$

где  $i_b = B_b / l_b$   $i_c = B_c / l_c$  - погонные жесткости ригеля и стойки.

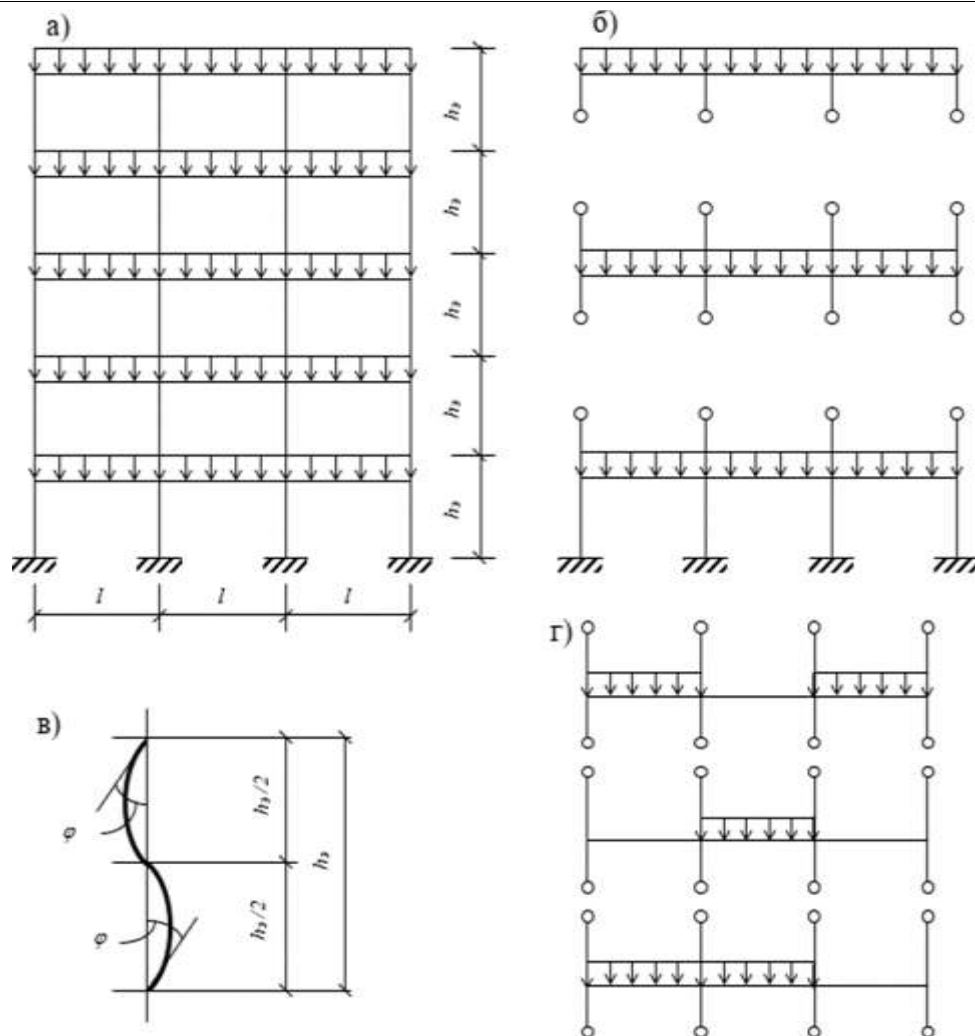


Рисунок. 1. Расчётная схема плоской рамы

Изгибающий момент в середине пролета ригеля можно рассчитать по аналогии с шарнирно-опертой балкой, на которую с каждой стороны действуют известные опорные моменты и нагрузка, расположенная в середине пролета. Пример схемы такой нагрузки для второго пролета изображен на рисунке 2.

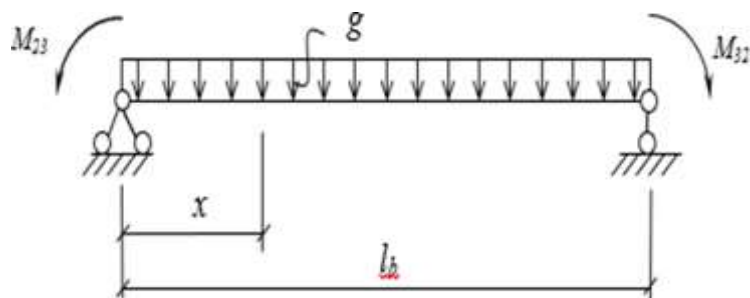
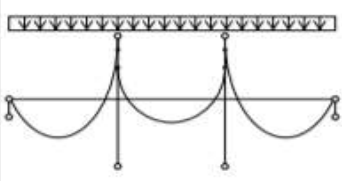
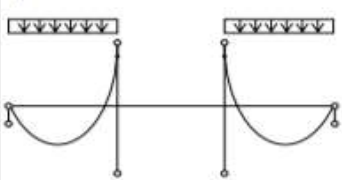
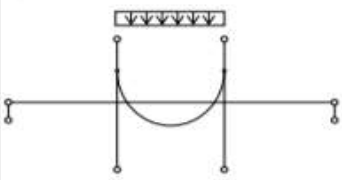
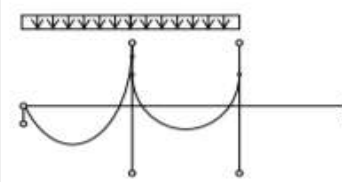


Рисунок. 2 Определение пролетных моментов в сечениях ригеля

Таблица 1 - Ригели рамы, шарнирно опертые на крайние опоры

Схемы загрузки и эпюры моментов	K	Опорные моменты		
		$M_{21}$	$M_{23}$	$M_{32}$
	0.5	-0.121	-0.087	-0.087
	1	-0.118	-0.089	-0.089
	2	-0.114	-0.091	-0.091
	3	-0.111	-0.093	-0.093
	4	-0.109	-0.094	-0.094
	6	-0.108	-0.096	-0.096
	0.5	-0.112	-0.009	-0.009
	1	-0.103	-0.015	-0.015
	2	-0.091	-0.023	-0.023
	3	-0.083	-0.028	-0.028
	4	-0.078	-0.031	-0.031
	6	-0.074	-0.034	-0.034
	0.5	-0.009	-0.078	-0.078
	1	-0.015	-0.074	-0.074
	2	-0.023	-0.068	-0.068
	3	-0.028	-0.065	-0.065
	4	-0.031	-0.063	-0.063
	6	-0.034	-0.062	-0.062
	0.5	-0.122	-0.094	-0.070
	1	-0.120	-0.100	-0.065
	2	-0.119	-0.105	-0.056
	3	-0.118	-0.108	-0.051
	4	-0.117	-0.110	-0.047
	6	-0.117	-0.111	-0.044

В этом случае для любого сечения  $x$

$$M_x = M_{23} + \frac{M_{32} - M_{23}}{l_b} \cdot x + \frac{g \cdot x \cdot (l_b - x)}{2} \quad (3)$$

Если распределенная нагрузка на рассматриваемый пролет отсутствует, ее значение принимается равным нулю. В этом случае отрицательные опорные моменты берутся со знаком минус.

Для определения значения  $x$ , при котором изгибающий момент  $M$  будет максимальным, можно использовать следующую процедуру:

$$\frac{dM(x)}{dx} = \frac{M_{32} - M_{23}}{l_b} + \frac{g \cdot l_b}{2} - g \cdot x = 0 \quad (4)$$

Отсюда

$$x = \left( \frac{M_{32} - M_{23}}{l_b} + \frac{g \cdot l_b}{2} \right) \cdot \frac{1}{g} \quad (5)$$

Учитывая, что  $\frac{dM(x)}{dx} = Q(x)$ , с помощью выражения (4) будем определять значения поперечных сил в сечениях ригеля.

Напряжения в ригеле рассчитываются с учетом одновременного воздействия постоянной и переменной нагрузок. Постоянное давление  $g$  равномерно распределяется по всем пролетам ригеля (как показано на рисунке 1 г). Для переменного давления  $u$  последовательно выбираются несколько схем нагрузки: нагрузка через пролет, нагрузка на средний пролет и нагрузка на два соседних пролета. Каждое сочетание нагрузок создает свое распределение напряжений и может быть так, что в опорной точке максимальный момент будет создаваться одним сочетанием, а в средней точке пролета - другим. Поскольку при выборе армирования важно знать максимальные напряжения во всех точках, независимо от того, какие нагрузки их создают, необходимо построить общую эпюру моментов, показывающую максимальные моменты по всей длине ригеля.

## 1.2 Расчетный пролет и геометрические параметры

Требуется определить усилия в ригеле здания с полным каркасом и выполнить его армирование. Исходные данные принимаем по результатам проектирования панели перекрытия.

Ригель рассматривается как элемент рамной конструкции (рисунок. 1, а). Для зданий с неполным каркасом расчетная схема показана на (рисунок. 1, б).

Расчетный пролет ригеля  $l_b$  принимается равным расстоянию между осями колонн; в первом пролете при опирании на несущую стену (рисунок. 1, б) расчетный пролет считается от оси колонны до оси опоры на стене

$$l_b = l - t_1 + t_2 / 2, \quad (6)$$

где  $l$  – расстояние между разбивочными осями;  $t_1$  – расстояние от внутренней грани наружной стены до разбивочной оси;  $t_2$  – величина заделки ригеля в стену.

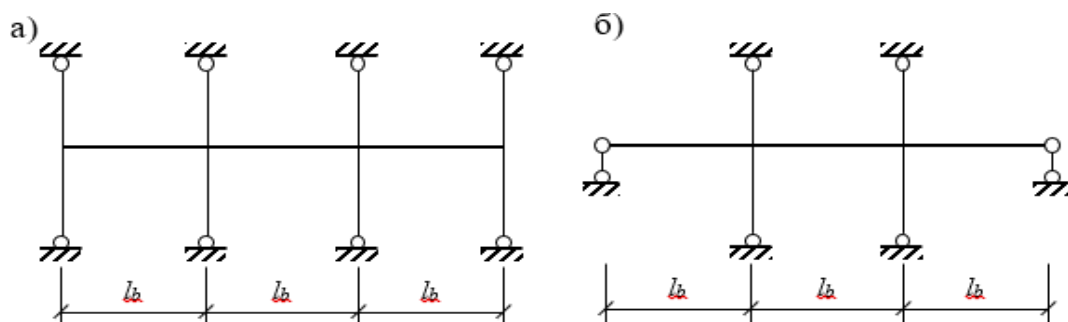


Рисунок. 3. Расчетная схема рамы с полным каркасом (а) и неполным каркасом (б)

В данном примере здание с неполным каркасом и  $l_b = 7.1$  м. Сборные железобетонные ригели могут иметь форму поперечного сечения, показанную

на рисунке 4.

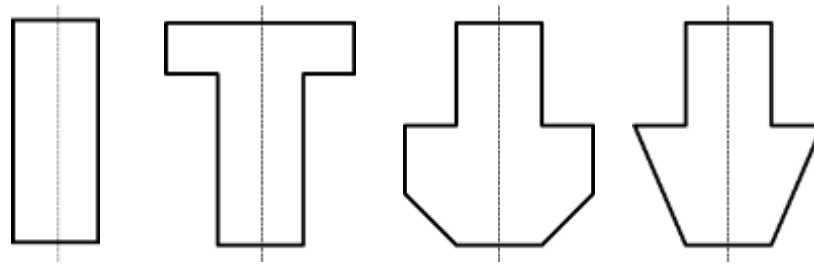


Рисунок. 4. Поперечные сечения ригеля

Принимаем ригель прямоугольного сечения с размерами  $h_b = 0,6$  м и  $b_b = 0,25$  м. Выбираем колонну квадратного сечения  $h_c \times b_c = 0,4 \times 0,4$  м высотой  $l_c = 3,9$  м (по заданию). Вычисляем отношение погонных жесткостей ригеля и колонны:

$$k = \frac{E_b \cdot b_b \cdot h_b^3 \cdot l_c}{E_c \cdot b_c \cdot h_c^3 \cdot l_c} = \frac{3,6 \cdot 10^4 \cdot 0,25 \cdot 0,6^3 \cdot 3,9}{3,6 \cdot 10^4 \cdot 0,4 \cdot 0,4^3 \cdot 7,1} = 1,158$$

Здесь  $E_b = E_c$ , так как ригель и колонна проектируются из бетона одного класса.

### 1.3 Определение нагрузок на ригель

Постоянная нагрузка на ригель складывается из постоянной нагрузки от веса панелей перекрытия и пола  $g_{пан} = 6,201$  кН/м<sup>2</sup> (принимается по табл. 1) и собственного веса ригеля. Нагрузка от многопустотных панелей перекрытия считается равномерно распределенной, от ребристых панелей при числе ребер в пролете более четырех – также равномерно распределенной. Для определения погонной нагрузки на 1 м длины ригеля следует значение  $g_{пан}$  умножить на ширину грузовой полосы, равную номинальной длине панели (шагу поперечных рам)  $l_{пан} = 6,4$  м. Тогда погонная нагрузка на ригель от веса панелей.

$$g_{b,пан} = g_{пан} \cdot l_{пан} \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 6,201 \cdot 6,4 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 39,686 \text{ кН/м,}$$

от собственного веса ригеля

$$g_{b,b} = h_b \cdot b_b \cdot \rho \cdot \gamma_t \cdot \gamma_n = 0,6 \cdot 0,25 \cdot 25 \cdot 1,1 \cdot 1 = 4,125 \text{ кН/м,}$$

где  $\rho = 25$  кН/м<sup>3</sup>

плотность железобетона;

$\gamma_t = 1,1$  – коэффициент надежности по нагрузке.

Суммарная постоянная нагрузка на 1 м длины ригеля

$$g_b = g_{b,пан} + g_{b,b} = 39,686 + 4,125 = 43,811 \text{ кН/м}$$

Временная (полезная) погонная нагрузка на ригель

$$v_b = v_{пан} \cdot l_{пан} \cdot \gamma_n = 7,2 \cdot 6,4 \cdot 1 = 46,08 \text{ кН/м}$$

в том числе временная длительная

$$v_{b,l} = v_{пан,l} \cdot l_{пан} \cdot \gamma_n = 6,96 \cdot 6,4 \cdot 1 = 44,544 \text{ кН/м}$$

и временная кратковременная

$$v_{b,sh} = v_{pan,sh} \cdot l_{pan} \cdot \gamma_n = 1.68 \cdot 6.4 \cdot 1 = 10.752 \text{ кН/м}$$

#### 1.4. Определение внутренних усилий в сечениях ригеля

Обозначение изгибающих моментов принимаем согласно рисунку. 5. Усилия определяем для первого и второго пролетов. В дальнейшем армирование третьего пролета принимается таким же, как и первого. Опорные моменты определяются в зависимости от вида загрузки и параметра  $k$  с использованием линейной интерполяции. При этом максимальные моменты в пролетах  $M_I$  и  $M_{II}$  определяются путем подстановки. Далее строим поочередно эпюры  $M$  и  $Q$  от 1-й, 2-й, 3-й и 4-й схем загрузки, а затем от сочетания этих загрузок – 1+2, 1+3 и 1+4.

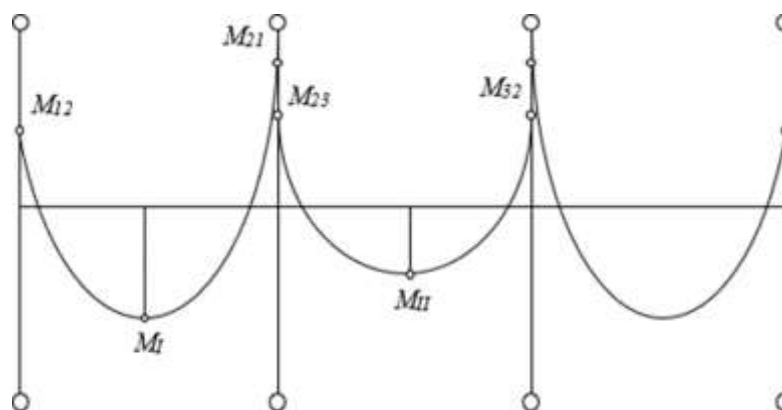


Рисунок. 5. Обозначение изгибающих моментов

#### 1.5 Перераспределение усилий в ригеле

Железобетон является физически нелинейным материалом, для которого характерны развитие неупругих деформаций в бетоне вследствие ползучести, образование трещин и проявление пластических деформаций в растянутой арматуре. Эти физические процессы приводят к изменению жесткостей сечений элементов и к перераспределению усилий, поэтому расчет железобетонных конструкций, производимый в предположении их упругой работы, является довольно условным. Однако для обычной шарнирно опертой балки указанные явления не могут привести к какому-либо изменению моментов. В статически неопределимой системе, например, в раме, значения усилий отличаются от соответствующих величин, полученных в результате упругого расчета (перераспределение усилий). При расчете рамы по первой группе предельных состояний важно знать перераспределение моментов в стадии, близкой к разрушению. Оно возникает главным образом за счет образования в ряде наиболее напряженных сечений так называемых пластических шарниров, что сопровождается наступлением текучести продольной растянутой арматуры.

Для реализации в сечениях ригеля пластических шарниров следует применять арматурные стали с физической площадкой текучести и ограничивать относительную высоту сжатой зоны  $\xi \leq 0.35$ . При этом значения моментов после перераспределения должны составлять не менее 70 % от

моментов упругой схемы, что определяется требованиями второй группы предельных состояний. При проектировании ригеля рамы целесообразно облегчить армирование опорных сечений и упростить монтажные стыки. Так как наибольшие изгибающие моменты возникают при действии временной нагрузки в двух смежных пролетах, то практический учет перераспределения будет заключаться в уменьшении опорных моментов  $M_{21}$  и  $M_{21}$  схемы загрузки 1+4. Ординаты выровненной эпюры моментов определяются путем добавления к эпюре 1+4 треугольной эпюры с величиной  $\Delta M_{21} \leq 0.3 M_{21}$  (рисунок. 6).

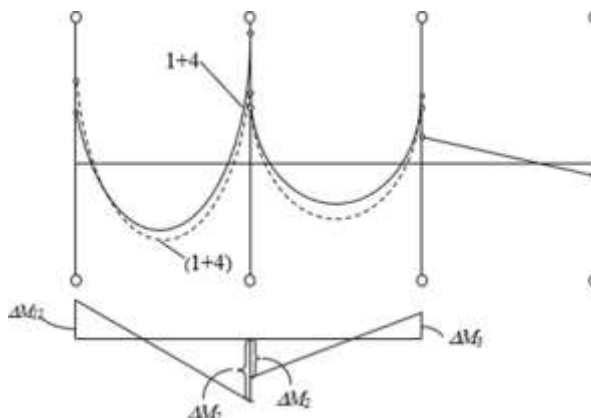


Рисунок. 6. Перераспределение усилий в ригеле

### Заключение

В заключении, можно отметить, что расчет и конструирование ригелей является важным и ответственным этапом в процессе проектирования зданий и сооружений. Учет множества факторов, правильное определение нагрузок и выбор материалов обеспечивают надежность и долговечность конструкций.

### Библиографический список

1. Маннапов Р.М. Анализ НДС железобетонной эстакады на основе расчёта в ПК ЛИРА-САПР с учётом повреждений // Научные исследования XXI века. 2023. №2 (22). С 56-58. URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=52847550>
2. Австафьев Н.А. Особенности конструирования железобетонных элементов // Российский электронный научный журнал. 2019. № 2 (32). С. 76-84. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38572385>
3. Комаров В.А., Болдырева О.В., Болдырев С.А. Работа поперечной арматуры в сжатых полосах бетона консольных опор ригелей // Региональная архитектура и строительство. 2016. №3 (28). С. 95-99. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27184705>