

# К РАСЧЕТУ КАМЕННОЙ КЛАДКИ НА СМЯТИЕ

*В помощь проектировщику*

**Расчету каменной кладки на смятие далеко не все проектировщики уделяют должное внимание. Одни из них больше полагаются на свой опыт и интуицию, другие — у кого опыта и интуиции не хватает — проектируют «на глазок». Вызвано это, с одной стороны, несколько большей сложностью расчета на смятие, чем на сжатие, а с другой — недооценкой последствий перегрузки кладки при смятии.**

Между тем перегрузка кладки при смятии приводит к куда более опасным последствиям, чем перегрузка при сжатии. Если при сжатии простенок, пилястра или колонна заранее подает сигналы о своем неблагоприятном состоянии (протяженными трещинами, частым их расположением и пр. признаками), то при смятии сигналы перегрузки относительно слабы и поступают они поздно. Встречаются случаи, когда вслед за появлением одной единственной трещины, причем сравнительно небольшой, происходит обрушение опирающегося на кладку ригеля, балки, прогона и т.п. конструктивного элемента. К сожалению, такие аварии происходят нередко, в том числе и с трагическими последствиями.

Известно, что расчетное сопротивление кладки смятию  $R_c$  выше, чем расчетное сопротивление сжатию  $R$ . Связано это с тем, что ненагруженная часть кладки, прилегающая к площадке смятия, сдерживает поперечные деформации нагруженной части и создает объемное сжатие (эффект обоймы):

$$R_c = \xi R,$$

$$\xi = \sqrt[3]{A / A_c} \leq \xi_1,$$

где  $A_c$  — площадь смятия,  $A$  — расчетная площадь смятия, включающая площадь смятия и площадь условной обоймы,  $\xi_1$  — коэффициент, зависящий от вида кладки и принимаемый не более 2 (табл. 21 СНиП [1]).

Однако эффект обоймы срабатывает далеко не всегда. При опирании конструкций на край пилястры или колонны, на торцевой край простенка и на угол простенка — а это едва ли не наиболее часто встречающиеся случаи в каменных зданиях — коэффициент  $\xi_1$  принимается равным единице, и единственным средством повышения прочности кладки при смятии является использование сетчатого армирования. Тогда в формулу несущей способности вместо расчетного сопротивления кладки смятию  $R_c$  вводят расчетное

сопротивление армированной кладки сжатию  $R_{sk}$  (или  $R_{skb}$ ).

Армирование кладки (не менее чем в трех верхних горизонтальных швах) необходимо и тогда, когда усилие смятия  $N_c$  превышает 80% расчетной несущей способности кладки при смятии  $N_{cu}$ . При этом диаметр стержней сеток должен быть не менее 3 мм, а размеры ячеек — не более 60 x 60 мм.

Таким образом, повысить прочность кладки при смятии можно за счет сетчатого армирования, а когда этой меры недостаточно, приходится уменьшать напряжения в кладке за счет увеличения площади смятия. Делается это с помощью распределительных плит (в строительном «просторечье» именуемых опорными подушками).

Прежде чем останавливаться на работе распределительных плит, рассмотрим, как вообще распределяются напряжения в каменной кладке — и не только в каменной кладке — при действии силы смятия (сосредоточенной силы). Как показали исследования, выполненные еще в 1930-е годы, эпюра напряжений имеет сложную форму, которую без большой погрешности можно заменить треугольной [3]. При этом напряжения смятия распространяются в теле кладки под углом к оси силы смятия  $N_c$ , равным радиану:  $\alpha = 360^\circ/2\pi = 57^\circ17'$  (рис. 1). Очевидно, что по мере удаления от поверхности смятия ширина эпюры увеличивается, а напряжения  $\sigma_0$  уменьшаются, так как площадь эпюры напряжений равна силе смятия и остается постоянной.

Приведенные рассуждения относятся к длинной стене, нагруженной одной силой смятия. Если таких сил по длине несколько, то эпюры напряжений накладываются друг на друга, а величины напряжений суммируются.

Если же рассматривать элемент с ограниченной шириной  $b$  (колонну или простенок), то по мере удаления от поверхности смятия напряжения выравниваются, и треугольные эпюры превращаются в трапециевидальные (рис. 2). Например, в колонне шириной  $b$  и толщиной (высотой сечения)  $d$  на глубине  $H_1 = b/\pi = 0,32b$  максимальные напряжения составляют  $\sigma_{01} = 2N/(bd)$ , т.е. вдвое больше, чем при равномерном сжатии, а на глубине  $H_2 = b$  они равны  $\sigma_{02} = 1,1N/(bd)$ , т.е. всего на 10% больше, чем при равномерном сжатии.

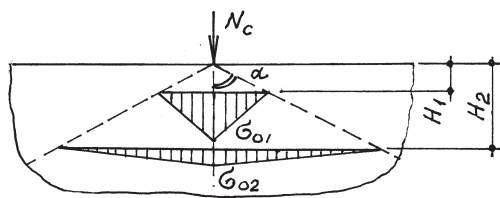


Рис. 1. Распределение напряжений в стене.

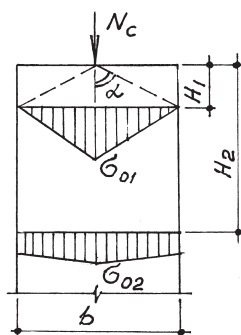


Рис. 2. Распределение напряжений в колонне (простенке) при симметричном нагружении.



При несимметричном нагружении эпюра напряжений становится тоже несимметричной (рис. 3,а). Наиболее опасно приложение силы смятия по краю элемента (рис. 3,б). Здесь и напряжения распространяются только в одну сторону от силы смятия, и сам угол их распространения равен всего  $43^\circ$ .

Задача распределительных плит — не только увеличить площадь смятия, но и сделать напряжения в кладке более равномерными. Достигается это за счет регулирования жесткости плит.

Если местную нагрузку — например, на колонну — передавать через абсолютно жесткую плиту (т.е. плиту с бесконечной жесткостью  $EI$ ), площадь которой равна площади сечения колонны, то напряжения в кладке будут равномерными, как при обычном сжатии (рис. 4,а). В действительности же, плиты обладают конечной жесткостью и под воздействием нагрузки сами деформируются (рис. 4,б). Это значит, что напряжения в кладке становятся неравномерными, а эпюра напряжений — криволинейной, которую в практических расчетах заменяют трапецидальной. Чем больше высота сечения (толщина) плиты и чем выше у нее модуль деформаций, тем выше ее жесткость и тем равномернее распределяются напряжения в кладке.

Жесткость учитывается эквивалентной, т.е. приведенной к кладке, высотой плит  $H_0$ , которая существенно больше, чем их физическая высота  $h$ :

$$H_0 = 2 \sqrt[3]{E_p I_p / (Ed)}$$

где  $E_p$  — модуль упругости материала плиты (для бетона  $E_p = 0,85E_b$ ),

$I_p = dh^3/12$  — момент инерции сечения плиты,

$E = 0,5E_0$  — модуль деформаций кладки,

$d$  — размер плиты в направлении, перпендикулярном распределению напряжений.

Как показано на рис. 2, чем больше расстояние  $H$  от поверхности смятия, тем равномернее распределяются напряжения смятия и тем меньше их максимальная величина  $\sigma_0$ . Отсюда понятно, что распределительная плита как бы отдаляет расчетное сечение кладки от поверхности смятия — тем больше отдаляет, чем больше ее приведенная высота  $H_0$ .

При опирании на кладку стальных балок проектировщики иногда предпочитают железобетонным распределительным плитам тонкие стальные пластины (пластины), назначая их толщину в пределах 10...20 мм. Каково действительное соотношение толщин стальной и железобетонной плит, легко увидеть на простом примере.

Определим, какую эквивалентную высоту (толщину)  $H_0$  имеет железобетонная плита из тяжелого бетона класса В15 глубиной опирания (длиной)  $d$  и физической высотой  $h = 220$  мм, лежащая на кладке из кирпича марки 75 на растворе марки 50.

Модуль упругости бетона  $E_p = 0,85 \cdot 24 \cdot 10^3 = 20,4 \cdot 10^3$  МПа, момент инерции сечения  $I_p = dh^3/12 = 887 \cdot 10^3 d$  мм<sup>4</sup>. Расчетное сопротивление кладки  $R = 1,3$  МПа, модуль упругости  $E_0 = \alpha R = 1000 \cdot 1,3 = 1,3 \cdot 10^3$  МПа (где  $\alpha$  — упругая характеристика), модуль деформаций  $E = 0,5E_0 = 0,65 \cdot 10^3$  МПа. Приведенная высота сечения плиты:  $H_0 = 2 \sqrt[3]{E_p I_p / (Ed)} = 606$  мм.

Найдем, какую физическую высоту  $h$  должна иметь пластина из стали Ст 3 при той же длине  $d$  и эквивалентной высоте  $H_0$ .

Модуль упругости стали  $E_p = 210 \cdot 10^3$  МПа, момент инерции сечения  $I_p = dh^3/12$ , модуль деформаций кладки (см. выше)  $E = 0,65 \cdot 10^3$  МПа. Преобразуя формулу  $H_0 = 2 \sqrt[3]{E_p I_p / (Ed)}$ , имеем  $h = H_0 / (2 \sqrt[3]{E_p d / 12Ed})$ , откуда  $h = 100$  мм.

Таким образом, толщина стальной плиты оказалась всего в 2,2 раза меньше толщины железобе-

тонной плиты той же жесткости, а не в 5-10 раз, как иногда можно увидеть в проектах. Тонкие пластины под опорами стальных балок использовать можно, но только при условии, если они усилены ребрами жесткости (рис. 5), однако такое решение препятствует качественному возведению выше расположенной кладки и допустимо, преимущественно, для балок покрытия.

В заключение, рассмотрим порядок расчета кладки на смятие под распределительной плитой на примере осевого сжатия колонны (рис.4,б). Величина силы смятия, расчетное сопротивление кладки и геометрические характеристики каменного элемента известны.

1. Назначают размеры плиты  $b, d, h$  и класс бетона (если плита железобетонная). При этом площадь смятия  $A_c = b \times d$ . В нашем случае  $b$  и  $d$  — размеры сечения колонны.

2. С помощью схем, приведенных в п. 4.16 Норм проектирования [1], определяют расчетную площадь смятия  $A$ , затем коэффициент  $\xi = \sqrt[3]{A/A_c} \leq \xi_1$  и расчетное сопротивление кладки смятию  $R_c = \xi R$ . В нашем случае площадь плиты равна площади сечения колонны, поэтому  $A = A_c$ ,  $\xi = 1$ , а  $R_c = R$ .

3. Находят модуль упругости кладки  $E_0 = \sigma R$ , а по Нормам проектирования железобетонных конструкций — начальный модуль упругости бетона  $E_b$ .

4. Определяют модули деформаций бетона  $E_p = 0,85E_b$  и кладки  $E = 0,5E_0$ , вычисляют момент инерции плиты  $I_p$  и находят приведенную высоту плиты  $H_0 = 2 \sqrt[3]{E_p I_p / (Ed)}$ .

5. Приравнивают  $H_0$  к  $H$  и определяют напряжения смятия, формулы которых, в зависимости от

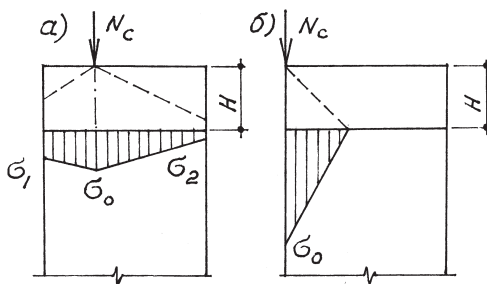


Рис. 3. Распределение напряжений в колонне (простенке) при несимметричном нагружении.

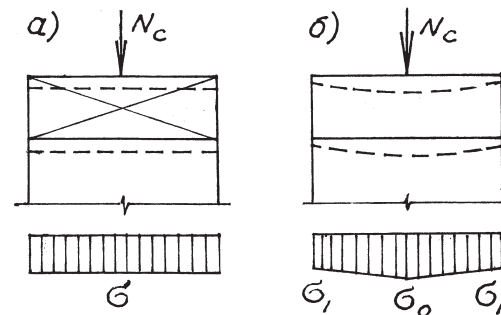


Рис. 4. Распределение напряжений в колонне под плитой а) с бесконечной жесткостью, б) с конечной жесткостью.

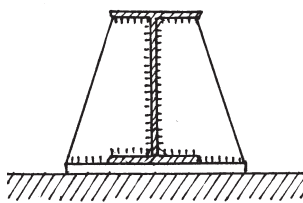


Рис. 5. Распределительная пластина, усиленная ребрами жесткости.

расчетных схем, приведены в табл. 6 Пособия [2].

Для нашей схемы

$$\sigma_0 = (N_c / 2ad)(1 + 0,41a^2/H^2),$$

$$\sigma_1 = (N_c / 2ad)(1 - 0,41a^2/H^2).$$

(Здесь  $a$  — расстояние от силы  $N_c$  до края каменного элемента.)

6. Зная усилие смятия  $N_c$ , площадь смятия  $A_c$  и максимальное напряжение  $\sigma_{\max}$  (в нашем случае  $\sigma_{\max} = \sigma_0$ ), определяют коэффициент полноты эпюры  $\psi = N_c / (\sigma_{\max} A_c)$  и коэффициент  $d = 1,5 - 0,5\psi$ .

7. Находят несущую способность кладки при смятии  $N_{cu}$  и проверяют условие прочности:

$$N_c \leq N_{cu} = \psi d R_c A_c.$$

Если условие не выполняется, увеличивают размеры (в нашем случае высоту) распределительной плиты или применяют сетчатое армирование.

При величине опорного давления  $N_c > 100$  кН (10 т) нужно предусматривать железобетонные распределительные плиты толщиной не менее 220 мм, даже если по расчету они не требуются.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. СНиП II-22-81\*. Нормы проектирования. Каменные и армокаменные конструкции.

2. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81). — М.: ЦИТП. — 1989.

3. Поляков С.В., Фалевич Б.Н. Каменные конструкции. — М.: Госстройиздат. 1960.

## **В** рамках выставки «Стройсиб-2010»

### **ОБЩЕСТВО ЖЕЛЕЗОБЕТОНЩИКОВ СИБИРИ И УРАЛА, СОЮЗ СТРОИТЕЛЕЙ СИБИРИ И НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)**

4 ФЕВРАЛЯ 2010 Г. В РАМКАХ ВЫСТАВКИ «СТРОЙСИБ-2010» ПРОВОДИТ

**12-Ю СИБИРСКУЮ КОНФЕРЕНЦИЮ ПО ЖЕЛЕЗОБЕТОНУ НА ТЕМУ:**

### **«ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»**

К участию приглашаются ученые и специалисты в области строительных конструкций, оснований, строительных материалов и технологии строительного производства.

На конференции будут рассмотрены следующие вопросы:

- качество и надежность современного строительства (в том числе, с учетом опыта обследования зданий и сооружений),
- качество современного проектирования и надежность конструктивных решений,
- качество и долговечность современных строительных материалов и изделий,
- лечение и усиление строительных конструкций,
- совершенствование конструктивных решений и методов расчета.

По материалам конференции будет издан сборник: «Научные труды Общества железобетонщиков Сибири и Урала» (вып. 10).

Конференция рассчитана на слушателей преимущественно из числа инженеров строителей, проектировщиков, поэтому доклады и сообщения имеют практическую направленность и содержат конкретные выводы и рекомендации.

Приглашаем вас принять участие в конференции.

Заявки на участие принимаются по тел.: (383) **308-09-67, 308-08-96** или по e-mail: **sv97@mail.ru**.

*Участие бесплатное.*

