

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

З. А. АЦАГОРЯН

О КОЭФФИЦИЕНТЕ ОДНОРОДНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО КАМНЯ И КАМЕННОЙ КЛАДКИ

При расчете строительных конструкций по предельным состояниям, как известно, учитываются коэффициенты однородности материалов, из которых состоят эти конструкции. Если конструкция состоит из одного материала, например стали или дерева, то в расчет входит один коэффициент однородности, если же она состоит из двух материалов, как в железобетонной конструкции, то в расчет входят два коэффициента. При последовательном применении этого принципа, каменную конструкцию следует рассматривать как состоящую из двух материалов — камня и раствора, могущие иметь совершенно различные коэффициенты однородности.

В „Строительных нормах и правилах“ (СНиП), введенных в СССР с 1 января 1955 г. [1], для каменных конструкций дается коэффициент однородности, учитывающий разброс прочности каменной кладки в целом. Проанализируем насколько удовлетворителен подобный подход при оценке однородности каменной конструкции, и как можно учитывать изменчивую степень однородности строительных камней при расчете каменных конструкций, сохраняя при этом регламентированный СНиП способ расчета.

Прочность каменной кладки (R), как известно, является функцией прочности камня (R_1) и раствора (R_2):

$$R = f(R_1, R_2). \quad (1)$$

В соответствии с теорией математической статистики, при нормальном распределении дисперсия прочности кладки (S^2) в первом приближении определится следующим образом:

$$S^2 = \left(\frac{\partial R}{\partial R_1}\right)^2 S_1^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial R_2}\right)^2 S_2^2, \quad (2)$$

где S_1^2 — дисперсия прочности камня,

S_2^2 — дисперсия прочности раствора.

Подставляя вместо дисперсий их выражения через коэффициенты вариации (v , v_1 , v_2), получим

$$v^2 R^2 = \left(\frac{\partial R}{\partial R_1}\right)^2 v_1^2 R_1^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial R_2}\right)^2 v_2^2 R_2^2. \quad (3)$$

Решая это уравнение относительно коэффициента вариации камня (v_1), имеем

$$v_1 = \frac{1}{\frac{\partial R}{\partial R_1}} \sqrt{v^2 \left(\frac{R}{R_1} \right)^2 - v_2^2 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 \cdot \left(\frac{\partial R}{\partial R_2} \right)^2}. \quad (4)$$

Пользуясь формулой (4), можно вычислить наибольший допустимый коэффициент вариации прочности камня данной марки, исходя из нормированного коэффициента однородности кладки и возможных отклонений прочности раствора.

По СНиП коэффициент однородности кладки из естественных камней при сжатии принимается в случае работы по классу А—0,55, а по классу Б—0,5. Поскольку выполнение работ по кладке из естественных камней обычно соответствует классу Б, то исходной величиной принимаем коэффициент однородности кладки 0,5.

В этом коэффициенте учтены, помимо естественного рассеивания прочности кладки вследствие неоднородности материалов, также работа малоквалифицированных каменщиков и небольшие отступления от технических условий производства работ [2]. Первый фактор учтен введением дополнительного коэффициента 0,9, а второй—соответственно 0,92. Следовательно, без учета указанных факторов, коэффициент однородности кладки при работе по классу Б имеет величину

$$K = \frac{0,5}{0,9 \cdot 0,92} = 0,6.$$

Исходя из этой величины и принятой для расчетов гарантии вероятности отклонения прочности не более трех стандартов*, можем определить средне-квадратическое отклонение прочности кладки при коэффициенте ее однородности 0,6:

$$S = \frac{1 - 0,6}{3} R = 0,13 R.$$

При этом коэффициент вариации прочности кладки будет $v = 0,13$.

Коэффициент вариации прочности раствора при работе по классу Б можно установить исходя из того положения, что при назначении раствора по составу (без контрольных испытаний) возможно понижение его прочности на одну ступень. Для употребительных растворов марок 4—50 такое понижение соответствует коэффициенту однородности $K_2 = 0,4$ (для марок 10 и 25) или 0,5 (для марок 4 и 50) и коэффициенту вариации соответственно $v_2 = 0,2$ или 0,17.

Имея коэффициенты вариации прочности кладки и раствора, легко вычислить коэффициент вариации прочности камня для различных случаев.

* Нам представляется, что такая гарантия, соответствующая надежности 0,999, слишком высокая для каменных материалов. Следовало бы несколько снизить ее и, вообще говоря, нормировать.

Для конкретизации вопроса рассмотрим два вида каменной кладки из естественных камней — кладку „мидис“, широко применяемую в Армянской ССР, и кладку из камней правильной формы.

По экспериментальным данным Института стройматериалов и сооружений Академии наук Армянской ССР [3] предел прочности при сжатии или, иначе говоря, нормативное сопротивление сжатию мидисовой кладки из туфовых камней в 3-х месячном возрасте может быть выражено эмпирической формулой

$$R = 0,1 R_1 + 0,48 R_2. \quad (5)$$

Из этого выражения

$$\frac{\partial R}{\partial R_1} = 0,1; \quad \frac{\partial R}{\partial R_2} = 0,48.$$

Подставляя полученные значения частных производных, а также значение R из (5) в формулу (4), после соответствующих преобразований получим:

$$v_1 = 10 v \sqrt{0,01 + 0,96 \frac{R_2}{R_1} + 0,23 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 \left[1 - \left(\frac{v_2}{v} \right)^2 \right]}. \quad (4a)$$

По формуле (4a) нами вычислены предельные значения коэффициента вариации прочности камня (v_1) для различных марок камня и раствора в мидисовой кладке, исходя из установленных выше значений v и v_2 . Результаты этих вычислений сведены в табл. 1.

Таблица 1

Предельные коэффициенты вариации (v_1) прочности камня
в мидисовой кладке

$R_1 \backslash R_2$	50	75	100	150	200
4	0,168	0,158	0,152	0,145	0,142
10	0,167	0,170	0,167	0,159	0,154
15	—	0,109	0,156	0,170	0,170
50	—	0,111	0,187	0,207	0,204

Рассмотрение цифр табл. 1 показывает, что, во-первых, нормированному коэффициенту однородности кладки, при заданной изменчивости раствора, соответствуют различные степени изменчивости камня, в зависимости от марки камня и раствора. Это означает, что применение одного и того же камня в различных случаях приведет фактически к различной однородности кладки, следовательно и к различному запасу прочности при нормированном методе расчета.

Во-вторых, величины предельных коэффициентов вариации прочности камня по табл. 1, соответствующие нормированному коэффициенту однородности кладки, вообще невысокие. Обычно месторож-

дения строительного камня дают больший разброс. Так, коэффициент вариации прочности камня в исследованных нами месторождениях вулканических туфов составляет 0,25—0,30 и больше. Это значит, что если будет принято среднее значение прочности камня данного месторождения за марку камня, то не будет гарантирована достаточная однородность кладки. Следовательно, в таких случаях необходимо или произвести сортировку камня по маркам на карьере, или же снизить оценку марки камня по всему месторождению, исходя из значения разброса прочности.

Для марки камня 50 при марках раствора 25 и 50 вовсе не удастся обеспечить нормированную однородность кладки при работе по классу Б, так как при этом снижение марки раствора на одну ступень приводит уже к чрезмерному снижению прочности кладки.

Рассмотрим те же вопросы для кладки из камней правильной формы.

Предел прочности при сжатии кладки из камней правильной формы, как известно, определяется по формуле проф. Л. И. Ошницка [4]:

$$R = AR_1 \left(1 - \frac{a}{b + \frac{R_2}{2R_1}} \right), \quad (6)$$

где

$$A = \frac{100 + R_1}{10 + \alpha_1 R_1} \beta.$$

Коэффициенты формулы (6) для кладки из естественных камней правильной формы имеют следующие значения: $a = 0,15$; $b = 0,3$; $\alpha_1 = 2,5$; $\beta = 1,0$.

При подстановке этих значений формула (6) принимает вид:

$$R = \frac{(100 + R_1) R_1}{100 + 2,5 R_1} \left(1 - \frac{0,3}{0,6 + \frac{R_2}{R_1}} \right). \quad (6a)$$

Частные производные R по R_1 и R_2 будут:

$$\begin{aligned} \frac{\partial R}{\partial R_1} = & \left(1 - \frac{0,3}{0,6 + \frac{R_2}{R_1}} \right) \frac{10000 + R_1(200 + 2,5 R_1)}{(100 + 2,5 R_1)^2} - \\ & - \frac{0,3 \frac{R_2}{R_1} (100 + R_1)}{(100 + 2,5 R_1) \cdot \left(0,6 + \frac{R_2}{R_1} \right)^2}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{\partial R}{\partial R_2} = \frac{0,3 (100 + R_1)}{(100 + 2,5 R_1) \cdot \left(0,6 + \frac{R_2}{R_1} \right)^2}. \quad (8)$$

Определяя по выражениям (7) и (8) частные производные, далее можем вычислить значения коэффициента вариации прочности камня для кладки из камней правильной формы, пользуясь формулой (4), в которую нужно подставить значение $\frac{R}{R_1}$, определяемое из (6а); тогда формула (4) примет вид:

$$v_1 = \frac{1}{\frac{\partial R}{\partial R_1}} \sqrt{v^2 \left[\frac{100 + R_1}{100 + 2,5 R_1} \left(1 - \frac{0,3}{0,6 + \frac{R_2}{R_1}} \right) \right]^2 - v_2^2 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 \left(\frac{\partial R}{\partial R_2} \right)^2} \quad (4б)$$

Принимая коэффициенты вариации кладки (v) и раствора (v_2) так же как выше было принято для кладки мидис, т. е. в соответствии с СНиП при работе по классу Б, нами вычислены значения v_1 по формуле (4б) для различных марок камня и раствора. Результаты этих вычислений сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Предельные коэффициенты вариации прочности камня и кладке из естественных камней правильной формы (v_1)

$R_1 \backslash R_2$	50	75	100	150	200
4	0,182	0,185	0,171	0,163	0,157
10	0,192	0,195	0,191	0,175	0,172
25	0,196	0,207	0,190	0,189	0,184
50	0,186	0,201	0,199	0,198	0,187

Данные табл. 2 подтверждают выводы относительно коэффициента вариации камня, сделанные выше на основании данных по мидисовой кладке.

Общим выводом является необходимость нормирования коэффициента однородности кладки в зависимости от коэффициента вариации естественного камня и марок раствора и камня. Такая работа, очевидно, должна быть выполнена при будущем пересмотре СНиП.

Если же придерживаться действующих СНиП, то необходимо учитывать, что требуемая однородность кладки может быть обеспечена лишь при условии, когда коэффициент вариации прочности применяемого в кладке камня не превышает величин, приведенных в табл. 1 и 2. Исходя из этого должно быть поставлено условие, чтобы производилась соответствующая сортировка естественного камня на карьерах.

В случае, если подобной сортировкой окажется практически невозможным добиться коэффициента вариации прочности ниже цифр табл. 1 и 2, или же камень будет поступать без сортировки, необходимо марку камня снизить против средне-арифметической величины ($\bar{R}_1$), полученной из испытаний.

В этом случае марку камня (R_1) необходимо определить по формуле

$$R_1 = \bar{R}_1 \frac{1 - 3v_{1\Phi}}{1 - 3v_1} \quad (9)$$

где $v_{1\Phi}$ — фактическое значение коэффициента вариации прочности камня,

v_1 — предельное значение коэффициента вариации по табл. 1 и 2.

Из формулы (9) следует, что если фактический коэффициент вариации камня равен или больше 0,33, то нельзя гарантировать какую-либо марку камня (с надежностью 0,999). При этом, очевидно, обязательна сортировка камня по прочности.

Приведенная формула для определения марки камня справедлива, когда рассматриваются результаты испытания большого количества образцов и когда они следуют нормальному закону распределения.

Когда количество испытанных образцов мало, но известно или принимается, что они следуют нормальному закону распределения, можно пользоваться теорией малых выборок (распределение Стюдента). В этом случае формула (9) преобразуется в следующую:

$$R_1 = \bar{R}_1 \frac{1 - tv_{1\Phi}}{1 - 3v_1} \quad (9a)$$

где t — критерий, определяемый из таблицы вероятностей по распределению Стюдента, в зависимости от принятой надежности и числа испытанных образцов. При надежности 0,999 для малых выборок $t > 3$.

В случае, когда результаты испытаний камня не следуют нормальному закону распределения, т. е. когда кривая распределения несимметрична, марку камня можно определить исходя из значений коэффициента однородности по номограммам Р. А. Муллера [5].

На практике часто отсутствуют данные о коэффициенте вариации прочности камня данного месторождения. В таких случаях можно основываться на общих данных об однородности камня применяемой породы. В частности, когда не производится сортировка камня по маркам, следовало бы принять усредненный коэффициент однородности кладки 0,4. Этой величине по формуле (4a) соответствует коэффициент вариации камня в среднем 0,28, что реально для применяемых пород естественного камня. При наличии сортировки камня по прочности, коэффициент однородности кладки может быть поднят в соответствии с расчетом по приведенным формулам.

Более радикальным мероприятием является, конечно, дифференциация коэффициента однородности кладки в зависимости от марок раствора и камня и коэффициента вариации прочности камня.

2. Ա. ՀԱՅԱԿՈՐՅԱՆ.

ՇԻՆԱՔԱՐԻ ԵՎ ՔԱՐՆ ՇԱՐՎԱԾՔԻ ՀԱՄԱՍԵՌՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԱԿՅՈՒ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ու մ

Քարն կոնստրուկցիաների հաշվարկման մասնակ, ըստ գործող նորմաների, բնդանվում է համասեռություն մեկ գործակից, չնայած որ բնական քարի և չաղախի համասեռությունն աստիճանները կարող են շատ տարբեր լինել:

Քանի որ քարն չարվածքի ամրությունը (R) կախված է քարի և չաղախի ամրություններից (R_1 և R_2), ապա չարվածքի ամրության դիսպերսիան (S^2) կարտահայտվի (2) փորմուլայով, որտեղ S_1 -ն քարի ամրության դիսպերսիան է, իսկ S_2 -ն՝ չաղախի ամրության դիսպերսիան: Դիսպերսիաների փոխարեն անդադրելով նրանց արտահայտությունը վարիացիայի գործակիցների միջոցով և կատարելով համապատասխան գործողություններ՝ ստացվում է (4) ֆորմուլան, որով կարելի է որոշել քարի ամրության վարիացիայի գործակիցը (V), եթե հայտնի են քարն չարվածքի և չաղախի նույնանման գործակիցները (V և V_2):

Այնուհետև այս փորմուլան օգտագործվում է կոնկրետ վերլուծության համար, որ վերաբերում է ռեզիլիտ չարվածքին և կանոնադր ձևի քարերով չարվածքին, ելնելով չարվածքի, քարի և չաղախի ամրությունների պայմանական ունեցող փոխադարձ կախումներից (5 և 6) և բնդունելով չաղախի ամրության նորմավորված սահմանային փոփոխականությունը:

Վերլուծությունը ցույց է տալիս (աղյուսակներ 1 և 2), որ նախ չարվածքի նորմավորված գործակիցին, չաղախի տվյալ փոփոխականության ղեկավար, համապատասխանում է քարի տարրեր փոփոխականություն, նայած քարի և չաղախի մարկային: Սա նշանակում է, որ միևնույն քարն օգտագործելիս տարրեր ղեկավարում կունենանք չարվածքի տարրեր համասեռություն, հետևաբար և ամրության պաշար, եթե պահպանվի հաշվարկման նորմավորված մեխոդը:

Երկրորդ, քարի ամրության վարիացիայի գործակիցների սահմանային մեծությունները, որոնք համապատասխանում են չարվածքի համասեռության նորմավորված գործակիցին, առհասարակ բարձր չեն: Շինարարի հանձնարարները սովորաբար ապրիս են ավելի մեծ ցրում: Սա նշանակում է, որ եթե որպես քարի մարկա բնդանվի տվյալ հանձնարարի ամրության միջին նշանակությունը, ապա չի ապահովվի չարվածքի րավականաչափ համասեռությունը: Հետևաբար այդպիսի ղեկավարում տնհրամեշտ է կատարել քարի անսակավորում ըստ ամրության, կամ թե իջեցնել տվյալ հանձնարարի քարի մարկան, ելնելով ամրության փոփոխականությունից (ըստ 3 կամ 3ա ֆորմուլաների):

Այնպիսի արմատական միջոցառումն այն կլինի, որ քարն չարվածքի համասեռություն գործակիցը նորմավորվի ըստ բնական քարի ամրության վարիացիայի գործակիցի և քարի ու չաղախի մարկաների:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Государственный Комитет Совета Министров СССР по делам строительства. Строительные Нормы и Правила, ч. II, Нормы строительного проектирования, 1954.
2. ВНИТО Строителей. Нормы проектирования конструкций (проект). Материалы для Урочного Положения (четвертая редакция). 1949.
3. С. А. Шагинян. Исследование прочности и деформативных свойств местной кладки (рукопись), АИС, 1951.
4. Л. И. Опицки. Каменные конструкции промышленных и гражданских зданий, 1939.
5. Р. А. Муллер. К вопросу определения коэффициентов однородности и перегрузки по статистическим данным (Сб. «Вопросы безопасности и прочности строительных конструкций», ЦНИПС, 1952).