

# Технология и организация строительного производства

УДК 69.05(07)

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОЗВЕДЕНИЯ КИРПИЧНЫХ ЗДАНИЙ

А.Х. Байбурин

## METHOD OF QUALITY EVALUATION OF BRICK BUILDING ERECTION

A.K. Bayburin

Предложена методика оценки качества возведения кирпичных зданий, основанная на количественных критериях с учетом требуемой обеспеченности прочностных характеристик каменной кладки.

*Ключевые слова:* несущая способность, оценка качества, показатели точности и стабильности технологического процесса.

This article presents a method of evaluating the quality of brick buildings erection, based on the quantitative criteria considering the required provision of stone masonry strength property.

*Keywords:* carrying capacity, quality evaluation, indexes of precision and stability of technological process.

Прочностные свойства материалов и качество кладки в значительной степени определяют несущую способность и надежность возводимых каменных конструкций. Традиционный контроль качества по соответствию всей совокупности нормативных требований по альтернативному признаку часто приводит к приемке дефектной строительной продукции и авариям. Поэтому разработка методов оценки качества, основанных на количественных критериях с учетом требуемой обеспеченности прочностных характеристик кладки, является актуальной задачей.

Согласно СНиП II-22-81 [1] среднее значение предельного сопротивления внецентренно сжатых неармированных каменных элементов определяется выражением

$$\bar{N} = m_g \varphi_1 \bar{A} \bar{R}_1 \left( 1 - \frac{a}{b + \bar{R}_2 / 2 \bar{R}_1} \right) \times \\ \times \gamma \bar{b} \bar{h} \left( 1 - \frac{2 \bar{e}_0}{\bar{h}} \right) \left( 1 + \frac{\bar{e}_0}{\bar{h}} \right). \quad (1)$$

Выражение (1) представляет собой обобщающую функцию (комплексный показатель) качества возведения несущих каменных стен и столбов, зависящую от свойств материалов, геометрических параметров кладки, эксцентриситета

приложения нагрузки, условий опирания элемента. Для исключения влияния конструктивных особенностей введем относительный показатель несущей способности

$$K_R = N^\Phi / N^{np}, \quad (2)$$

где  $N^\Phi$ ,  $N^{np}$  – значения фактической и проектной несущей способности элемента.

Натурные исследования качества каменных работ были проведены на десяти зданиях стеновой конструктивной системы [2]. Объем выборки для каждого здания принят равным 30. При этом относительная погрешность оценки составила 6 % при доверительной вероятности 0,95. По результатам статистического контроля была построена гистограмма распределения относительного показателя несущей способности в объединенной выборке (рис. 1а).

Проектное распределение несущей способности определялось методом статистических испытаний при нормативных значениях отклонений геометрических параметров, указанных в табл. 34 СНиП 3.03.01-87 [3]. При этом проектная вариация прочности кладки принималась по данным Пособия к СНиП II-22-81 [4] равной 0,15. Построенная гистограмма распределения приведена на рис. 1б.

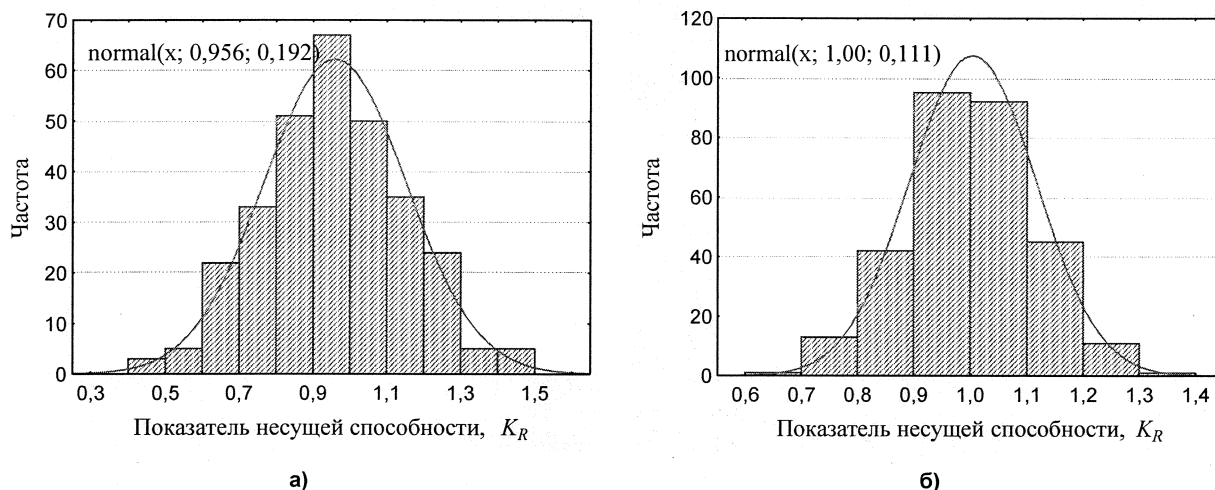


Рис. 1. Гистограммы фактического (а) и проектного (б) распределений относительного показателя несущей способности каменных элементов

Анализ полученных результатов показал:

1) аппроксимирующие распределения значений  $K_R$ , как и следовало ожидать, близки к нормальным;

2) среднее значение  $K_R$  с учетом наблюдаемых отклонений равно 0,956, что свидетельствует о нарушении условия обеспеченности несущей способности каменных конструкций по исследованной выборке зданий;

3) стандартное отклонение несущей способности составляет 0,192, что значительно превышает проектную изменчивость, равную 0,111.

Оценка нормальности распределения значений  $K_R$  производилась по асимметрии и эксцессу, характеризующим соответственно скошенность и острровершинность кривой распределения, а также их стандартным ошибкам. Наблюдаемая асимметрия близка к нулю, а величины эксцесса и асимметрии лежат в пределах своих двукратных стандартных ошибок, что является признаками нормальности изучаемых распределений. Результаты оценки аппроксимации нормальным законом распределения по критериям Колмогорова и Пирсона также подтверждают гипотезу о нормальности распределений на высоком уровне значимости.

Предельно-допустимая величина показателя качества каменной кладки  $K_R$  рассчитывалась при неблагоприятном сочетании предельных нормативных отклонений [3]. С учетом суммарных нормативных отклонений расчетное предельное значение показателя  $K_R^{\text{lim}}$  для несущих стен толщиной 380–640 мм равно 0,718. При наблюдаемом распределении (см. рис. 1а) вероятность того, что значения показателя качества не будут меньше предельного значения  $K_R^{\text{lim}} = 0,718$ , равна 0,8917. В случае если снижения прочности кладки не произойдет ( $K_R = 1$ ), указанная вероятность при наблюдаемом разбросе составит 0,9286.

Найдем обеспеченность расчетного сопротивления кладки сжатию по требованиям нормативных документов [1, 4]. Для каменных конструкций в нормах [4] на основании статистических данных принят коэффициент вариации прочности на сжатие  $V_R = 0,15$  и квантиль  $u_{0,98} = 2$  при обеспеченности  $1 - \alpha = 0,98$ . Вероятное понижение прочности кладки по сравнению с уровнем, принятым в нормах, учитывается делением нормативного сопротивления  $R_n = \bar{R}(1 - u_{1-\alpha} V_R)$  на коэффициент 1,2, а другие второстепенные факторы, не учитываемые расчетом, и дефекты (ослабление кладки «пустошовкой», гнездами, небольшие отклонения столбов и стен от вертикали и т.п.) – на коэффициент 1,15. Таким образом, коэффициент надежности по материалу  $\gamma_m = 1,2 \cdot 1,15 = 1,4$ .

Определим вероятность того, что величина средней прочности окажется больше расчетного значения

$$\Pr(\bar{R} \geq R) = 1 - \Phi\left(\frac{R - \bar{R}}{\bar{R} \cdot V_R}\right). \quad (3)$$

С учетом нормативных зависимостей искомая вероятность равна

$$\begin{aligned} \Pr &= 1 - \Phi\left(\frac{1 - u_{1-\alpha} V_R - \gamma_m}{\gamma_m \cdot V_R}\right) = \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{1 - 2 \cdot 0,15 - 1,4}{1,4 \cdot 0,15}\right) = \\ &= 1 - \Phi(-3,333) = 0,9996. \end{aligned}$$

Найденную величину обеспеченности следует принять в качестве предельной, гарантирующей безаварийное состояние каменных конструкций. Сравнение полученной величины с ранее рассчитанными вероятностями обеспечения требуемого показателя качества показало, что фактические погрешности каменных работ обеспечивают выполнение условия  $K_R \geq K_R^{\text{lim}}$  с вероятностью 0,892, что меньше требуемой обеспеченности 0,9996.

При наблюдаемой дисперсии несущей способности стыков, даже если снижения прочности стыков не произойдет ( $K_R = 1$ ), указанная вероятность не достигает требуемой величины.

Следовательно, для обеспечения надежности каменных конструкций по показателю несущей способности необходимо повысить точность каменных работ как по условию снижения систематических отклонений от средних значений, так и по условию уменьшения влияния случайных разбросов.

Точность технологического процесса по критерию несущей способности каменной конструкции предлагается оценивать показателем:

$$K_T = \frac{\bar{K}_R^\Phi - 1}{t_{1-\alpha, \nu} S(K_R^\Phi)}, \quad (4)$$

где  $\bar{K}_R^\Phi$  – среднее значение фактической относительной прочности конструкции;  $t_{1-\alpha, \nu}$  – квантиль распределения Стьюдента степени свободы  $\nu = n - 1$  уровня доверия  $1 - \alpha$ ;  $S(K_R^\Phi)$  – выборочное стандартное отклонение относительной прочности конструкции.

Введем также показатель стабильности уровня качества:

$$K_{\text{ст}} = S(K_R^\Phi) / S(K_R^{\text{np}}), \quad (5)$$

где  $S(K_R^\Phi)$ ,  $S(K_R^{\text{np}})$  – выборочные стандартные отклонения фактической и проектной относительной прочности конструкции.

Решим задачу назначения предельных значений показателей точности и стабильности, при которых наблюдаемая технологическая изменчивость не приводила бы к нарушению условия

$$\Pr\{K_R \geq K_R^{\text{lim}}\} \geq 0,9996. \quad (6)$$

При нормальном распределении значений  $K_R$  из условия (6) следует, что аргумент функции стандартного нормального распределения  $\Phi(u)$  равен

$$u = \frac{\bar{K}_R^\Phi - K_R^{\text{lim}}}{S(K_R^\Phi)} = 3,33. \quad (7)$$

Из формул (5) и (4) выразим

$$S(K_R^\Phi) = K_{\text{ст}} S(K_R^{\text{np}});$$

$$\bar{K}_R^\Phi = 1 + K_T t_{1-\alpha, \nu} S(K_R^\Phi),$$

и подстановкой в (7) получим

$$K_T = \frac{3,33 K_{\text{ст}} S(K_R^{\text{np}}) + K_R^{\text{lim}} - 1}{t_{1-\alpha, \nu} S(K_R^\Phi)}. \quad (8)$$

Кроме того, имеем

$$K_{\text{ст}} = \frac{K_T t_{1-\alpha, \nu} S(K_R^\Phi) - K_R^{\text{lim}} + 1}{3,33 S(K_R^{\text{np}})}. \quad (9)$$

Полученные соотношения между показателями точности и стабильности процессов и относительным показателем несущей способности могут

быть упрощены с учетом полученных статистик для исследованной выборки зданий:

$$S(K_R^\Phi) = 0,192, \quad S(K_R^{\text{np}}) = 0,111, \quad K_R^{\text{lim}} = 0,718.$$

При доверительной вероятности расчетов 0,95, выборке  $n > 120$  и  $t_{0,95} = 1,645$  подстановкой в (8) получаем

$$K_T = 3,502 K_{\text{ст}} - 1,544, \quad (10)$$

а также находим

$$K_{\text{ст}} = 0,286 K_T + 0,441. \quad (11)$$

Выражения (10) и (11) справедливы для исследованной выборки заданий при  $n > 120$  и доверительной вероятности оценок 0,95. В случае выборки малого объема при неизвестной изменчивости показателя несущей способности следует применять выражения:

$$K_T = \frac{0,37 K_{\text{ст}} - 0,282}{t_{1-\alpha, \nu} S(K_R^\Phi)}; \quad (12)$$

$$K_{\text{ст}} = 2,703 K_T t_{1-\alpha, \nu} S(K_R^\Phi) + 0,763. \quad (13)$$

Например, при статистическом контроле возведения здания на выборке  $n = 30$  получены относительный показатель качества  $\bar{K}_R^\Phi = 0,987$  и его стандартное отклонение  $S(K_R^\Phi) = 0,188$  при проектном значении  $S(K_R^{\text{np}}) = 0,111$ . Квантиль  $t$ -распределения степени свободы  $\nu = 29$  уровня доверия  $\alpha = 0,05$  равен  $t_{0,95; 29} = 1,699$ . Показатели точности и стабильности технологического процесса по критерию несущей способности конструкции найдем по формулам (4) и (5):

$$K_T = \frac{0,987 - 1}{1,699 \cdot 0,188} = -0,041;$$

$$K_{\text{ст}} = 0,188 / 0,111 = 1,694.$$

Предельные значения показателей точности и стабильности уровня качества из выражений (12) и (13):

$$K_T = \frac{0,37 \cdot 1,694 - 0,282}{1,699 \cdot 0,188} = 1,079 > -0,041;$$

$$K_{\text{ст}} = 2,703(-0,041)1,699 \cdot 0,188 + 0,763 = 0,724 < 1,694.$$

Таким образом, фактические значения показателей точности и стабильности значительно превышают критические значения, гарантирующие выполнение условия (6) обеспеченности несущей способности с вероятностью не менее 0,9996. Следовательно, необходимы мероприятия по повышению точности и стабильности технологических процессов каменных работ.

**Заключение.** В качестве комплексного показателя качества возведения кирпичных зданий предлагается принять несущую способность кладки. Относительное значение этого показателя выражает снижение несущей способности каменного элемента при допущенных дефектах, фиксируемых при статистическом контроле качества. Для оценки качества обоснованы предельные значения

указанного показателя и требуемая обеспеченность его случайных значений. Предложенные показатели точности и стабильности технологического процесса могут быть использованы для контроля и сравнительной оценки результатов работы бригад каменщиков, деятельности строительных подразделений как во времени, так и в пространстве. Назначение предельных величин показателей точности и стабильности предложено производить с учетом имеющихся взаимосвязей показателей, исходя из обоснованного условия обеспеченности предельного значения уровня качества.

#### Литература

1. СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. – М.: Стройиздат, 1983. – 40 с.
2. Байбурин, А.Х. Качество возведения кирпичных жилых домов / А.Х. Байбурин // Жилищное строительство. – 2001. – № 9. – С. 9–10.
3. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 192 с.
4. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (СНиП II-22-81). – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 152 с.

Поступила в редакцию 29 апреля 2009 г.