

**В.В. ТУР**, д-р техн. наук профессор,  
**Н.Н. ШАЛОБИТА**, канд. техн. наук  
(Брестский государственный технический  
университет)

## **МОДИФИКАЦИИ ЧАСТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Частные коэффициенты безопасности, как правило, калибруют с использованием вероятностных методов. В большинстве норм [2, 3], использующих полувероятностные методы расчетов, в рамках метода предельных состояний значения коэффициентов безопасности зачастую определяют на базе экспертных оценок с учетом экономических и социально-политических требований.

Точность определения как несущей способности конструкции (предельного усилия  $R_d$ ), так и действующих на нее нагрузок, не является одинаковой на стадии проектирования и при оценке технического состояния существующей конструктивной системы. В существующих конструктивных системах возможно измерить геометрические параметры конструктивных элементов и определить опытным путем (путем соответствующих испытаний) конкретные значения характеристических свойств материалов. Кроме того, в ряде случаев существует реальная возможность произвести оценку фактически действующих нагрузок (главным образом постоянных нагрузок от собственного веса). Кроме того, существует возможность корректировки характеристических значений климатических воздействий. В связи с этим частные коэффициенты безопасности, применяемые в рамках метода предельных состояний при оценке нормируемой надежности существующих конструкций, должны отличаться от принятых при проектировании новых конструктивных элементов.

Однако, при отсутствии соответствующим образом откалиброванных частных коэффициентов безопасности в процессе оценки надежности существующих конструкций в конечном итоге используют коэффициенты безопасности, которые были приняты при проектировании. Следует отметить, что анализ надежности эксплуатирующихся конструкций с применением коэффициентов, использованных при

проектировании, может привести к заниженной оценке безопасности объекта.

Частные коэффициенты безопасности, используемые при традиционном проектировании, как правило, неприемлемы для оценки существующих конструкций, т.к. они заранее прогнозируют получение более консервативного результата, ориентированного на эксплуатацию конструкции в течение проектного срока службы. Во многих случаях оценка технического состояния выполняется для более короткого интервала времени, отделяющего последующие детальные обследования конструкций, и, поэтому, проектные частные коэффициенты безопасности следует корректировать. Например, коэффициент безопасности для постоянных нагрузок  $\gamma_G$  (которые в ряде случаев являются доминирующими) при проверке несущей способности существующих железобетонных конструкций может быть скорректирован, базируясь на доступной информации о конструкции. Одним из возможных путей выбора коэффициента  $\gamma_G$  при проверке несущей способности существующей конструкции может быть следующий:

- использование проектных или других высоких значений коэффициентов безопасности только тогда, когда используются приближенные методы для оценки постоянной нагрузки;
- умножение проектных значений коэффициента безопасности  $\gamma_G$  на 0,9, если эффекты от постоянного воздействия рассчитываются, базируясь на проектных данных и рабочих чертежах;
- умножение проектных значений коэффициента безопасности  $\gamma_G$  на 0,8, если эффекты от постоянной нагрузки рассчитываются, основываясь на измерениях поперечных сечений, фактических длин элементов, на отборе проб материалов для получения композиции и веса индивидуальных слоев (например, бетонной плиты, утеплителя, кровельных слоев).

Если при выполнении обследования получена достаточно полная информация об изменчивости геометрических размеров сечений, установлены объемные веса материалов, модифицированный коэффициент безопасности для постоянных нагрузок составит:

$$\gamma_G = 0,8 \cdot 1,35 = 1,08.$$

Безусловно, что представленные рекомендации могут вызвать некоторые сложности в практическом применении, так как приведенные значения понижающих коэффициентов не разъяснены.

Ниже представим простую расчетную методику, с использова-

нием которой выполняется модификация коэффициентов безопасности по результатам обследования технического состояния.

В общем случае модификацию коэффициентов безопасности следует производить в соответствии с положениями [1]. Как установлено в СТБ-ИСО 2394 [1] коэффициенты чувствительности для нагрузок следует принимать по таблице 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов  $\alpha$  согласно [1]

Нагрузка	Сопротивление
Доминирующая переменная $\alpha_I = 0,70$	$\alpha_I = 0,80$
Другие переменные $\alpha_I = 0,28$	$\alpha_I = 0,32$

При калибровке модифицированных коэффициентов безопасности для постоянной нагрузки их сравнивают, как правило, с климатическими воздействиями (снеговые, ветровые).

Для случая, когда постоянная нагрузка является доминирующей, коэффициент безопасности  $\gamma_G$  может быть установлен следующим образом (при  $\alpha_E = 0,7$  по табл. 1):

$$\gamma_G = 1 + \alpha_E \cdot \beta \cdot cov_G = 1 + 0,7 \cdot \beta_{Iag} \cdot cov_G, \quad (1)$$

где  $cov_G$  – коэффициент вариации для постоянной нагрузки, установленной по результатам натурного обследования (по статистической изменчивости геометрических характеристик и объемных весов);

$\beta_{Iag}$  – целевое значение индекса надежности, принимаемое по требованиям норм [1].

Для переменной нагрузки, рассматриваемой в этой комбинации и относящейся по таблице 1 к категории «другие», коэффициент безопасности составит:

$$\gamma_Q = 1 + 0,28 \cdot \beta_{Iag} \cdot cov_Q, \quad (2)$$

где  $cov_Q$  – коэффициент вариации для переменной нагрузки.

Для случая, когда доминирующей является переменная нагрузка зависимости для вычисления модифицированных коэффициентов безопасности могут быть записаны:

$$\gamma_G = 1 + 0,28 \cdot \beta_{Iag} \cdot cov_G, \quad (3)$$

$$\gamma_Q = 1 + 0,7 \cdot \beta_{Iag} \cdot cov_Q. \quad (4)$$

Так, например, для железобетонного покрытия, когда доминирующей является постоянная нагрузка, а ее изменчивость по результатам обследования описывается коэффициентом вариации  $cov_G = 0,05$ , модифицированный коэффициент безопасности составит  $\gamma_G = 1 + 0,7 \cdot 3,8 \cdot 0,05 = 1,13$ , в отличие от рекомендованного в нормах [2]  $\gamma_G = 1,35$ . При значении коэффициента  $\gamma_G = 1,08$  коэффициент вариации постоянной нагрузки составит  $cov_G = 0,03$ .

Аналогичным образом может быть выполнена калибровка модифицированных коэффициентов безопасности для материалов. В соответствии с требованиями [1] условную изменчивость базисных переменных при калибровке коэффициентов безопасности принято описывать с использованием статистических параметров, представленных в таблице 2, которые безусловно представлены в достаточно широком диапазоне (интервале) изменчивости характеристик свойств материалов. Их фактические значения следует устанавливать при статистической обработке результатов измерений, полученных при выполнении детальных обследований.

Таблица 2

**Примерные диапазоны изменения параметров базисных переменных расчетной модели изгибаемого элемента**

Базисная переменная	Определение	Тип распределения	$cov$ , %
$f_y$	Предел текучести арматуры	LN	от 5 до 10
$f_c$	Предел прочности бетона	LN	от 30 до 10
$h$	Геометрические характеристики	N	5
$\theta$	Ошибка моделирования	N	от 5 до 10

Если, например, рассматривается изгибаемый элемент, разрушение которого происходит по растянутой арматуре, значения коэффициентов чувствительности  $\alpha_i$  согласно [1] следует принять:

$$\alpha_{f_y} = 0,8; \quad \alpha_h = 0,4; \quad \alpha_{f_c} = 0,2; \quad \alpha_\theta = 0,2.$$

Пренебрегая коэффициентом вариации для прочности бетона (прочность бетона при разрушении по растянутой арматуре не имеет доминирующего влияния) и объединяя коэффициенты  $cov_{f_y}$ ,  $cov_h$  и  $cov_\theta$  в одном обобщенном коэффициенте вариации  $cov'$ ,

получаем:

$$\text{cov}'_{f_y} = \sqrt{\text{cov}_{f_y}^2 + \text{cov}_{\theta}^2 + \text{cov}_h^2} = \sqrt{0,08^2 + 0,05^2 + 0,05^2} = 0,106.$$

Тогда расчетное сопротивление арматуры при целевом индексе надежности  $\beta = 3,8$  может быть определено по приближенной зависимости согласно [1]:

$$f_{yd} = f_{ym} \cdot \exp(\alpha_{f_y} \cdot \beta \cdot \text{cov}'_{f_y}) = f_{ym} \cdot \exp(3,04 \cdot \text{cov}'_{f_y}), \quad (5)$$

где  $f_{ym}$  – среднее значение предела текучести арматуры, установленное по результатам испытания образцов, отобранных при обследовании.

Модифицированное значение коэффициента безопасности  $\gamma_s$  можно определить из отношения:

$$\gamma_s = \frac{f_{yk}}{f_{yd}}. \quad (6)$$

Частный коэффициент безопасности для бетона традиционно принято представлять в виде произведения:

$$\gamma_c = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}, \quad (7)$$

где  $\gamma_{c1}$  – коэффициент безопасности, учитывающий соотношение между расчетным и нормативным сопротивлениями бетона конструкции;

$\gamma_{c2}$  – коэффициент, учитывающий отклонение прочности бетона в конструкции от прочности, полученной по испытаниям контрольных образцов.

Значение коэффициента  $\gamma_{c1}$  получают методами статистического моделирования. При этом, для оценки сжатых элементов, где прочность бетона играет доминирующую роль, а прочность арматуры мало значима, принимают следующие коэффициенты  $\alpha_i$ :

$$\alpha_{f_y} = 0,2; \quad \alpha_h = 0,2; \quad \alpha_{f_c} = 0,8; \quad \alpha_{\theta} = 0,2.$$

Принимая коэффициент вариации для ошибки моделирования  $\text{cov}_{\theta} = 10\%$  и игнорируя влияние арматуры:

$$\text{cov}'_{f_c} = \sqrt{\text{cov}_{f_c}^2 + \text{cov}_{\theta}^2 + \text{cov}_h^2}.$$

Для принятого индекса надежности  $\beta = 3,8$  и  $\alpha_{f_c} = 0,8$  расчетное сопротивление определяется по формуле:

$$f_{cd} = f_{cm} \cdot \exp(\alpha_{f_c} \cdot \beta \cdot \text{cov}'_{f_c}) = f_{cm} \cdot \exp(3,04 \cdot \text{cov}'_{f_c}), \quad (8)$$

где  $f_{cm}$  – средняя прочность бетона, установленная по результатам обследования;

$cov_{f_c}$  – фактический коэффициент вариации прочности бетона.

Установив нормативное сопротивление  $f_{ck}$  по результатам обследования, модифицированный коэффициент безопасности  $\gamma_{c1}$  определяется:

$$\gamma_{c1} = \frac{f_{ck}}{f_{cd}}. \quad (9)$$

Значение коэффициента  $\gamma_{c2}$  рекомендуется принимать равным 0,85 (при отсутствии более обоснованных данных).

Следует отметить, что в рамках метода частных коэффициентов безопасности при определении предельных усилий (например, расчетных предельных изгибающих моментов) в расчетных моделях могут быть использованы напрямую расчетные характеристики материалов, рассчитанные по формулам (5) и (8) с учетом данных, полученных при выполнении детального обследования.

Безусловно, что модификация частных коэффициентов безопасности для материалов может быть выполнена только высококвалифицированным экспертом при наличии объективной информации. Это же можно сказать и по поводу модификации коэффициентов безопасности для переменных нагрузок. Вместе с тем, модификацию коэффициентов безопасности  $\gamma_G$  для постоянных нагрузок следует рекомендовать при выполнении каждого обследования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование модифицированных коэффициентов безопасности, в частности для постоянных нагрузок от собственного веса, создает условия, при которых не только выявляются дополнительные резервы несущей способности существующей конструкции, но и сглаживаются противоречия, появляющиеся при введении в действие новых нормативных документов по проектированию конструкции. Следует более полно использовать вероятностные методы оценки надежности существующих конструкций, что позволит адекватно оценить их техническое состояние, экономически обоснованно принять решение о целесообразности их дальнейшей эксплуатации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO 2394. General principles on reliability for structures.
2. СНБ 5.03.01–02. Бетонные и железобетонные конструкции.
3. СНиП 2.03.01–84\*. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования/ Госстрой СССР.– М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985 – 79 с.

**В.Т. ЕРОФЕЕВ**, д-р, техн. наук профессор,  
(Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарева)

**В.Ф. СМИРНОВ**, д-р биол. наук профессор,  
(Нижегородский государственный  
университет)

**А.В. ДЕРГУНОВА**, старший преподаватель  
(Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарева)

## ЗАЩИТА КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ И ОЦЕНКА РАСХОДОВ НА БИОЗАЩИТУ

Характер воздействия биологических факторов на строительные конструкции зданий и сооружений зависит от свойств материалов и условий эксплуатации. Биоповреждениям подвергаются практически все строительные материалы, где создаются условия для размножения микроорганизмов, например, в последние годы участились случаи обильного роста плесени в теплые и влажные периоды в крупнопанельных домах, особенно внутри санитарно-технических кабин; на предприятиях пищевой промышленности из-за загрязнений органическими веществами, повышенной влажности на стенах, оборудовании и на полу, в щелях, трещинах, углублениях и неровностях и других дефектах стен и полов скапливаются споры грибов и бактерий и создаются благоприятные условия для их роста; повышенная опасность биоповреждений создается также в банях, бассейнах, в больницах, школах, на вокзалах и других общественных зданиях и сооружениях, особенно в районах с теплым и влажным климатом. Применяе-