

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ, ВОЗВОДИМЫХ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Обрушение строительных конструкций относят к разряду основных рисков, которым подвергается человеческое общество в процессе своей жизнедеятельности (см. табл. 1).

**Таблица 1** – Некоторые из рисков, которым подвергается человеческое общество  
(по данным Melchers)

Вид активности	Число смертей ( $\times 10^{-9}$ ), происходящих в один час, в течение которого человек подвержен риску	Время, в течение которого чело- век подвергается рisku (час/год)	Типичный риск смерти ( $\times 10^{-6}$ /год)
1. Альпинизм	30 000 .. 40 000	50	1 500 .. 2 000
2. Курение (сигарет)	2500	400	1 000
3. Добыча угля (УК)	210	1 500	300
4. Строительно-монтажные работы	70 .. 200	2 200	150 .. 440
5. Автомобиль	700	300	200
6. Плавание (купание)	3 500	50	170
7. Промышленность	20	2 000	40
8. Пожары	1 .. 3	8 000	8 .. 24
9. Авиа	1 200	20	24
10. Поезд	80	200	15
11. Обрушение строительных кон- струкций	1 .. 3	8 000	0,1

В соответствии с требованиями, изложенными в нормах [1, 2, 3], конструкций зданий (сооружений) на протяжении всего расчетного срока службы должны удовлетворять условиям непревышения некоторых установленных предельных состояний по прочности и условиям нормальной эксплуатации как в каждом из ее отдельных элементов, так и в конструкции в целом. Таким образом, для случайных переменных  $R(t)$  и  $E(t)$ , характеризующих предельное усилие, воспринимаемое конструкцией (ее элементом), и эффект от внешнего воздействия в течение всего эксплуатационного периода, в рамках действующих норм должны выполняться детерминистические неравенства вида:

$$R(t) \geq R_d \text{ и } E(t) \leq E_d \quad (1)$$

Методы, основанные на использовании т.н. частных коэффициентов безопасности [1, 2], идут несколько дальше в ограничениях, т.к. требуют непревышения расчетных значений прочностных характеристик  $f_{i,d}$  для конструкционных материалов и отдельных воздействий  $F_{i,d}$  ( $i = 1, 2, \dots$ ). Подробнее вопросы, связанные с нормированием прочностных характеристик материалов и соответствующих значений коэффициентов безопасности, приведены в наших работах [8].

В контексте норм [1, 2] управление надежностью (или менеджмент надежности) строительного объекта является новым понятием и опирается на определение:

- класса надежности строительного объекта (в контексте нормы EN 1990 принято обозначение RC);
- проектного срока службы  $t_d$ ;
- системы обеспечения и контроля качества на этапах проектирования, возведения и эксплуатации.

**Управление надежностью** (менеджмент надежности) находится в компетенции инвестора (заказчика), а также представителей органов администрации и надзора за строительством.

**Обеспечение надежности** является задачей инженера-проектировщика, производителя работ и служб эксплуатации объекта. Основной целью управления надежностью является недопущение или исключение объекта из эксплуатации (англ. decommissioning) в случае невыполнения условий (1). В таких случаях производится преднамеренная ликвидация конструкции или какой-либо ее функции. Для эксплуатирующихся объектов такое решение может быть принято исходя из оценок, выполняемых на основе результатов обследования технического состояния конструкций. По результатам об-

следования может быть выполнено усиление, изменен план эксплуатации или рекомендована полная разборка (демонтаж) строительного объекта.

Строительная катастрофа в соответствии с определением [1] – это не преднамеренное, мгновенное, непредвиденное разрушение строительного объекта или его части. Это случайное событие наступает тогда, когда перестает выполняться неравенство

$$R(t) > E(t). \quad (2)$$

Символ  $E(t)$ <sup>1</sup> в неравенстве (2) означает скалярный эффект случайных воздействий (внутренние усилия, вынужденные перемещения и т.д.).

В общем случае методы статистического моделирования надежности конструкций разделяют на 4 группы (см. Madsen, p. 30).

- Методы I уровня: базовые переменные, обладающие свойствами статистической изменчивости, моделируются одним характеристическим (нормативным) значением, как это сделано, например, в нормах, базирующихся на концепции частных коэффициентов безопасности.
- Методы II уровня: базовые переменные моделируются средними значениями и стандартными отклонениями, и через корреляционные коэффициенты устанавливается связь между стохастическими переменными. Для стохастических переменных принимается закон нормального распределения.
- Методы III уровня: величины, обладающие статистической изменчивостью, моделируют их функцией распределения вероятностей. Вероятность разрушения определяется как мера надежности.
- Методы IV уровня в определении меры надежности принимают в расчет стоимостные показатели и риски.

Методы I уровня калибруются, используя методы II уровня, и т.д. В информационном приложении С норм [1] содержится альтернативная вероятностная методика расчетов II и III уровней. В принятом подходе мерой безопасности является т.н. индекс надежности  $\beta$ , введенный проф. А.Р. Ржаницыным<sup>2</sup> [6].

Для дальнейших рассуждений следует уточнить терминологию в соответствии с [1, 3]. Вероятность строительной катастрофы  $p_c$  (probability of collapse) – это мера, отличающаяся от вероятности отказа  $p_f$  (probability of failure), которая учитывает также случаи кассации объектов в результате действий, связанных с менеджментом надежности.

Нормы EN 1990 [1] устанавливают уровни надежности строительных конструкций. Различают три класса надежности RC3, RC2, RC1, зависящие от классов ответственности CC3, CC2, CC1. В табл. 2 приведены минимальные значения индексов надежности  $\beta$ , а также коэффициентов ответственности  $k_f$  для использования в расчетах методом частных коэффициентов безопасности.

Проф. А.Р. Ржаницын [6] определил  $\beta$  как аргумент функции вероятностей  $p_f$  непреднамеренного разрушения конструкции

$$p_f = \Phi(-\beta). \quad (8)$$

Функция Лапласа  $\Phi(\dots)$  характеризует как нормальное, так и логнормальное распределение вероятностей.

Индекс  $\beta$  определяет, по существу, стандартизированный запас несущей способности  $g$ , или величину, обратную коэффициенту вариации  $v_g = \sigma_g / g_m$ :

$$\beta = \frac{g_m}{\sigma_g} \quad \text{или} \quad \beta = \frac{1}{v_g}. \quad (9)$$

<sup>1</sup> Символ  $E(t)$  заменяет действовавшее до настоящего времени обозначение  $S$  в ISO 2394 и начальных версиях Eurocode. Его связывают с английским обозначением эффекта воздействия (action effect) и заменяют французскую транскрипцию "sollidaction" [1].

<sup>2</sup> Исследуя полностью вероятностный способ расчета конструкций, проф. А.Р. Ржаницын [6] ввел понятие "характеристики безопасности"  $\beta_0$ , которое представляет собой коэффициент обеспеченности удовлетворения неравенству

$$g = R - E > 0,$$

измеряемый при нормальных кривых распределения числом стандартов, на которое среднее значение разности отличается от нуля. При этих условиях

$$\beta_0 = \frac{\gamma_m - 1}{\sqrt{\gamma_m^2 v_R^2 + v_E^2}}$$

Таблица 2 – Индексы надежности  $\beta$  и коэффициенты ответственности  $k_F$  согласно [1]

Класс надежности	Индекс $\beta$ для соответствующего предельного состояния		Коэффициент ответственности (надежности по назначению) $k_F$
	по прочности	по условиям нормальной эксплуатации	
RC3	4,3	— (*)	1,1
RC2	3,8	1,5	1,0
RC1	3,3	—	0,9

\* Данные в EN 1990:2002 отсутствуют.

где  $g_m$  – ожидаемое значение запаса несущей способности;

$\sigma_g$  – стандартное отклонение случайной переменной  $g$ .

Запас несущей способности  $g(X_1, X_2, \dots, X_n)$  является функцией базовых случайных переменных  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Запас несущей способности традиционно представляют в виде разности  $g = R - E$  случайных переменных  $R$  и  $E$ . В безопасных состояниях  $g > 0$ , а в предельных состояниях  $g = 0$ . Как следует из зависимостей (8) и (9) запас прочности  $g$  характеризуется нормальным распределением Гаусса.

Необходимо отметить, что аналогичный подход при определении  $\beta$  принят в методиках А.М. Fredenthal и R. Levi [4]. Но в работах [4, 7] индекс  $\beta$  определен через логарифмический стандартизированный глобальный коэффициент безопасности  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{\ln(\gamma_c)}{v_\gamma}, \quad (10)$$

где  $\gamma_c$  – медиана;

$v_\gamma$  – логарифмический коэффициент вариации глобального коэффициента безопасности  $\gamma$ .

Глобальный теоретический коэффициент безопасности, который обычно представляют отношением  $\gamma = R/E$  равен единице в предельных состояниях и  $\gamma > 1$  – в безопасных состояниях. Как следует из [7] коэффициент  $\gamma$  характеризуется логнормальным законом распределения вероятностей.

Формулы приложения С [1] указывают на то, что частные коэффициенты безопасности, принятые как в Евроноормах [1], так и в СНБ 5.03.01 [2], калиброваны исходя из индекса надежности  $\beta$  проф. А.Р. Ржаницына (см. табл. 2).

Надо отметить, что методика норм [1, 2, 10], согласно которой за расчетный критерий потери несущей способности принимается детерминированное (в не вероятностное) условие (рис. 1)

$$E_d = R_d, \quad (3)$$

в качестве статистически изменчивых параметров принимаются, как правило, только прочностные характеристики арматуры и бетона, каждая со своей обеспеченностью. Другие параметры (как то, размеры сечений и т.д.) принимаются детерминированными [5].

В работе [5] показано, что если исходить из предположения о полностью вероятностном характере воздействий и несущей способности (а не только прочностных характеристик) материалов, входящих в расчетные уравнения, то теоретическое значение коэффициента запаса в рекомендуемых методах расчетов можно оценить выражением:

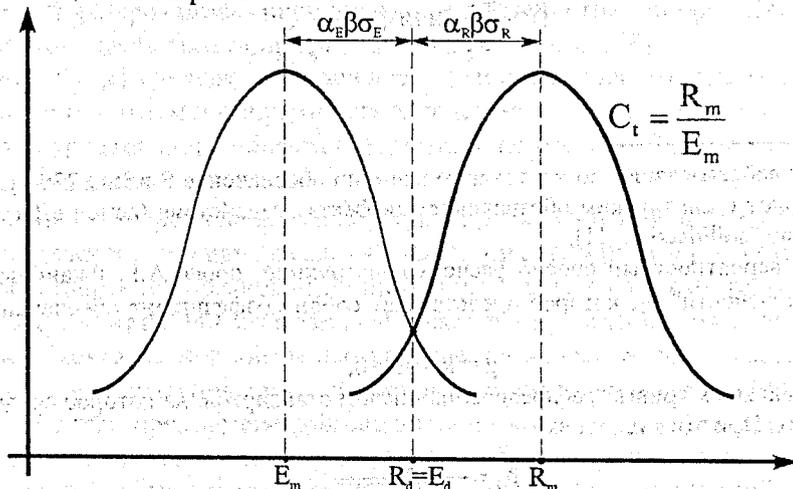


Рисунок 1 – К определению теоретического условного коэффициента запаса

$$C_{\pi} = \frac{R_d(1 + \beta_E v_E)}{E_d(1 - \beta_R v_R)}, \quad (4)$$

где  $R_d$  – расчетная несущая способность;

$E_d$  – расчетное усилие, вызванное внешним воздействием и передающееся на элемент;

$\beta_R, \beta_E$  – коэффициенты обеспеченности расчетной несущей способности и расчетных нагрузок, которые при нормальном законе распределения равны соответствующему количеству стандартов;

$v_R, v_E$  – коэффициенты вариаций соответственно нагрузок и несущей способности.

В частном случае, при учете условия (3), т.е. при использовании так называемого полувероятностного метода расчета, согласно [5] получаем:

$$C_{\pi} = \frac{1 + \beta_E v_E}{1 - \beta_R v_R}. \quad (5)$$

Тогда в частном случае условия (3) значение "характеристики безопасности" (по А.Р. Ржаницыну) или индекса безопасности  $\beta_0$  можно определить:

$$\beta_0 = \frac{\beta_E v_E + \beta_R v_R}{\sqrt{v_R^2(1 + \beta_E v_E)^2 + v_E^2(1 - \beta_R v_R)^2}}. \quad (6)$$

Из выражения (7) видно, что коэффициент запаса, при принятом подходе, не является непосредственной вероятностной характеристикой надежности [5].

В работе [6] приведена приближенная зависимость величины коэффициента запаса  $K$  от характеристики безопасности  $\beta_0$  в виде:

$$C_{\pi} = 1 + \beta_0 \sqrt{v_R^2 + v_E^2}. \quad (7)$$

В приложении В [1] рекомендовано использование множителя  $k_F$  к нагрузкам. Принятие множителя  $k_F$  соответствует по смыслу коэффициенту надежности по назначению  $\gamma_n$  в нормах [11]. Когда эффект от воздействия удается отделить от несущей способности  $R$  в условии предельного состояния, коэффициент  $\gamma_n$  можно определить однозначно как соотношение расчетных значений

$$\gamma_n = R_d / E_d. \quad (11)$$

Применение коэффициента  $k_F$  в случае неоднородного условия предельного состояния не гарантирует однозначных результатов. Они будут зависеть от алгебраической формы условия  $g > 0$  или  $\gamma > 1$  и могут давать неоднозначные результаты при алгебраических преобразованиях этого условия. Следует подчеркнуть, что нормы проектирования [1, 3] не обращают внимания на необходимость математической однородности условий предельного состояния. Проектируя конструктивные элементы соответствующего класса надежности, инженер-проектировщик должен привести условие предельного состояния к неравенству  $E(F_i) \leq R(f_i)$ , а затем использовать коэффициент ответственности по назначению к одной, либо другой стороне неравенства  $E_d < R_d$ . Формулирование взаимосвязей между индексом надежности  $\beta$  и коэффициентом ответственности по назначению  $\gamma_n$  требует выяснения параметров изменчивости нагрузок и свойств материалов. Эти параметры не установлены непосредственно в нормах [1, 3], но возможна их идентификация при использовании основ калибровки частных коэффициентов безопасности по приложению С [1].

Для иллюстрации рассмотрим пример, позаимствованный из работы [7]. Здесь коэффициент ответственности по назначению  $\gamma_n$  рассчитан для простого случая, когда элемент конструкции, имеющий несущую способность  $R_d$  однородный, а внутреннее усилие  $F_d$  является эффектом только одной нагрузки. Граничные значения коэффициентов вариации приняты:

А:  $v_R = 0,10$  – наименьшее значение коэффициента вариации для несущей способности;

В:  $v_F = 0,20$  – наибольшее значение коэффициента вариации для постоянных нагрузок, отличных от собственного веса.

Учитывая то, что глобальный коэффициент безопасности равен  $\gamma_m = R_m / E_m$  получаем:

$$\beta = \frac{R_m - E_m}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}} = \frac{\gamma_m - 1}{\sqrt{\gamma_m^2 v_R^2 + v_E^2}}, \quad (12)$$

и после преобразований:

$$\gamma_m = \frac{1 + \sqrt{1 - (1 - \beta^2 v_R^2)(1 - \beta^2 v_E^2)}}{1 - \beta^2 v_R^2}.$$

Подставляя принятые значения для коэффициентов вариации  $v_R$  и  $v_E$ , получаем:

$$\begin{array}{ccc} 4,3 & 2,32 & 1,10 \\ \text{при } \beta = 3,8 \rightarrow \gamma_m = 2,10 \rightarrow \gamma_n = \frac{\gamma_m}{2,10} = 1,00 \\ 3,3 & 1,91 & 0,91 \end{array}$$

Как видно, полученные значения при округлении соответствуют величинам, приведенным в EN 1990 [1] (см. табл. 1).

Безусловно, что при введении новых норм проектирования в Республике Беларусь, а в частности СНБ "Классификация зданий и сооружений", представленные положения должны быть детально рассмотрены. Подобная работа была выполнена при назначении частных коэффициентов безопасности при разработке СНБ 5.03.01 "Бетонные и железобетонные конструкции" [8].

Следует особо подчеркнуть, что методы статистического моделирования следует использовать для обоснованного назначения контрольных нагрузок при проверочных статических испытаниях железобетонных конструкций в соответствии с ГОСТ 8829 [12], что, в свою очередь, является одним из элементов управления надежностью.

При этом названный нормативный документ [12] в приложении рекомендует применение названного метода для определения контрольных нагрузок исходя из среднего значения несущей способности конструкции (изделия). Внесение в нормы СНБ 5.03.01 [2] средней прочности в качестве нормируемой характеристики создает условия для выполнения таких расчетов. Вместе с тем, в практике проектирования сложился традиционный подход, основанный на использовании при определении контрольных нагрузок коэффициента безопасности  $C$ , вводимого в качестве множителя к расчетному значению нагрузки, устанавливаемому при расчетных сопротивлениях материалов и принятой схеме нагружения [12]. По нашему мнению, коэффициент  $C$  следовало бы называть более правильно коэффициентом запаса, как это было определено в [5, 6]. По своей сути данный коэффициент характеризует отношение среднего значения (наиболее вероятного) несущей способности к расчетному значению, установленному по расчетным сопротивлениям материалов. Здесь следует оговориться, что коэффициент безопасности по материалам, применяемым в нормах, должны быть также получены методами статистического моделирования в зависимости от назначенного индекса надежности (класса надежности). Этот вопрос подробно рассмотрен в работе [8].

При изменении подходов к управлению надежностью строительных конструкций, а как результат, и численных значений коэффициентов безопасности по материалам и нагрузкам, следует ожидать, что и численные значения коэффициентов запаса  $C$  по приложению Б к ГОСТ 8829 [12] должны быть подвергнуты корректировке.

В рамках подхода, принятого в [5], коэффициент запаса по прочности, определяемый без учета изменчивости нагрузки (что имеет место при статических описаниях), но с учетом условия метода предельных состояний  $E_d = R_d$  (или  $g = 0$ ) может быть рассчитан из (4):

$$C_n = \frac{1}{1 - \alpha_R \beta v_R}, \quad (8)$$

где  $\beta$  — индекс надежности ("характеристика безопасности" по А.Р. Ржаницыну) для соответствующего класса надежности;

$\alpha_R$  — коэффициент чувствительности, равный 0,8;

$v_R$  — коэффициент вариации значений, получаемых из расчетной модели, по которой определяется предельное усилие (несущая способность).

При систематических отклонениях опытных значений  $\theta_{exp}$  от расчетных теоретических  $\theta_{pred}$  выражение (8) с учетом работ [5, 6] принимает вид:

$$C_n = \frac{1}{\left( \frac{\theta_{exp}}{\theta_{pred}} \right)_{cp} (1 - \alpha_R \beta v_R)}. \quad (9)$$

Предварительный анализ теоретических значений условных коэффициентов запаса  $C$  был выполнен при использовании выборки опытных данных, включавшей 760 элементов [8] при широком варьировании прочностными и деформационными характеристиками материалов, конструкций образцов и схемы нагружения (изгиб, сжатие, косое сжатие и т.д.).

С использованием опытных данных определяли коэффициент вариаций (изменчивости) усилий, получаемых по расчетной деформационной модели, использованной в СНБ 5.03.01 [2]. В соответствии с методикой, изложенной в приложении Д к нормам [1], коэффициент вариации  $v_R$  оценивали по упрощенной формуле:

$$v_R^2 = (v_\delta^2 + 1) \left[ \prod_{i=1}^j (v_{x,i}^2 + 1) \right] - 1, \quad (10)$$

где  $v_\delta$  – коэффициент вариации для ошибки моделирования, определяемый согласно [1];

$v_{x,i}$  – коэффициенты вариации базовых переменных, входящих в расчетную модель. При расчетах учитывались нормативные коэффициенты вариации прочностных характеристик и геометрии бетонного сечения.

Результаты предварительных расчетов теоретических условных коэффициентов запаса при использовании арматурных сталей различных классов приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Значения теоретических условных коэффициентов запаса при расчетах железобетонных конструкций по СНБ 5.03.01 [2]

Элементы	Коэффициенты запаса С при классе арматуры				
	S240 $\bar{v}_{s,x} = 6,5\%$	S400 $\bar{v}_{s,x} = 7,0\%$	S500 $\bar{v}_{s,x} = 9,0\%$	S800 $\bar{v}_{s,x} = 9,0\%$	S1200 $\bar{v}_{s,x} = 10,0\%$
1. Изгибаемые из тяжелого бетона классов $C^{16/20} \dots C^{70/80}$ $v_{x,c} = 13,5\%$ ; $v_\delta = 7,5\%$	1,452 (1,433) 1,25	1,457 (1,439) 1,3	1,483 (1,464) 1,35	1,483 (1,464) 1,35	1,499 (1,48) 1,4
2. Сжатые из тяжелого бетона классов $C^{16/20} \dots C^{70/80}$ (или разрушение по сжатой зоне) $v_{x,c} = 13,5\%$ ; $v_\delta = 11,1\%$	1,617 (1,64) 1,6	1,622 (1,645) 1,6	1,650 (1,669) 1,6	1,65 (1,669) 1,6	1,684 (1,68) 1,6

Примечания: в скобках приведены значения теоретических условных коэффициентов безопасности. Установленные без учета изменчивости геометрических размеров сечения, под чертой – значения коэффициентов по ГОСТ 8829 [12].

Как видно из результатов, представленных в табл. 3, значения коэффициентов запаса, подсчитанные для модели СНБ 5.03.01 [2], отличаются в большую сторону от значений, приведенных в ГОСТ 8829 [12]. Следует отметить, что полученные значения коэффициентов запаса могут быть уточнены. В представленной выборке анализу подвергались опытные элементы, характеризовавшиеся широким диапазоном свойств, подвергавшиеся испытаниям по различным схемам нагружения и показавшие различные формы разрушения по сечениям, нормальным к продольной оси. Это, безусловно, привело к некоторому повышенному значению коэффициентов вариации для ошибки моделирования  $v_\delta$ . Очевидно, что достаточно условным следует считать и принятие общего нормативного коэффициента вариации для бетона  $v_{c,x} = 13,5\%$  независимо от его прочностных характеристик. При более детальном анализе для целей нормирования эти статистические характеристики могут быть уточнены и взаимосвязаны с нормативными документами (стандартами), определяющими критерии соответствия при контроле качества материалов. В данном случае показано, как методически возможно оценить значения теоретических коэффициентов запаса.

Представляет безусловный интерес сопоставление теоретических значений коэффициентов запаса С с аналогичными коэффициентами, подсчитанными по методике СНБ 5.03.01 [2].

Методика, рекомендованная в нормах [1], позволяет более точно (со точки зрения статистики) оценить соотношение между средней и расчетной величинами предельного усилия, воспринимаемого сечением конструкции. Это отношение может быть определено из выражения:

$$r_d = b \cdot g_n(\bar{X}_m) \exp(-k_{d,\infty} \cdot \alpha_n \cdot \theta_n - k_{d,n} \cdot \alpha_\delta \cdot Q_\delta - 0,5 \cdot Q^2) \quad (11)$$

$$\text{или} \quad C_n = \frac{1}{b \cdot \exp(-k_{d,\infty} \cdot \alpha_n \cdot \theta_n - k_{d,n} \cdot \alpha_\delta \cdot Q_\delta - 0,5 \cdot Q^2)} \quad (12)$$

$$\text{где } Q_{Rt} = \sigma_{\ln(Rt)} = \sqrt{\ln(v_{Rt}^2 + 1)} \quad (13)$$

$$Q_{\delta} = \sigma_{\ln(\delta)} = \sqrt{\ln(v_{\delta}^2 + 1)} \quad (14)$$

$$Q = \sigma_{\ln(R)} = \sqrt{\ln(v_R^2 + 1)}$$

$$\alpha_{Rt} = \frac{Q_{Rt}}{Q} \text{ — весовой коэффициент для } Q_{Rt};$$

$$\alpha_{\delta} = \frac{Q_{\delta}}{Q} \text{ — весовой коэффициент для } Q_{\delta};$$

$$k_{d,\infty} = \alpha_R \beta = 3,04; k_{d,n} = 1,64 \text{ (согласно табл. Д1 [1]).}$$

Результаты расчетов коэффициентов  $C_{Rt}$  по методике [1] представлены в табл. 3. необходимо отметить, что методика [1] позволяет оценить вклад основных факторов, влияющих на обеспечение безопасности конструкций. В рассматриваемом случае для деформационной расчетной модели СНБ 5.03.01 [2] существенный вклад оказывает коэффициент вариации  $v_{Rt}$ , оценивающий изменчивость базовых переменных  $x_i$ , использованных в модели.

Таблица 4 – Значения понижающих коэффициентов  $\eta_k$  согласно [1]

Коэффициент вариации $v_R$	Понижающий коэффициент $\eta_k$	
	одно испытание	два или три испытания
0,05	1,0	0,90
0,11	1,0	0,80
0,17	1,0	0,70

В заключение следует отметить, что до окончательного внесения в ГОСТ 8829 обоснованных значений коэффициентов запаса, используемых при назначении контрольных нагрузок, во вновь разрабатываемых типовых сериях следует указывать значения контрольных нагрузок, установленных по приложению В [12]. При этом, в соответствии с п. В.3 [12], средние значения характеристик бетона следует принимать по табл. 6.1 СНБ 5.03.01 [2], арматуры – по нормативным сопротивлениям (с обеспеченностью 0,95) и средним значениям коэффициентов вариации исходя из нормального закона распределения прочностных характеристик материалов. В соответствии с п. В.4 [12] при испытании изделий нагружением в качестве контрольной нагрузки следует использовать (при испытаниях двух и более изделий одной марки) ту же величину, умноженную на понижающий коэффициент, определяемый с использованием методов математической статистики в зависимости от числа испытываемых изделий и относительного разброса значений разрушающей нагрузки. Значения понижающих коэффициентов могут быть приняты по табл. 4.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. EN 1990:2002. Basis of structural design.
2. СНБ 5.03.01. Бетонные и железобетонные конструкции.
3. ISO 2394:1998. General principles of reliability for structure.
4. Levi R. La sécurité des constructions. Recherche d'une méthode concrète, 3, Congres AIRC, Liège, 1948.
5. Таль К.Э. Некоторые вопросы расчета несущей способности железобетонных конструкций// Теория железобетона, Стройиздат, 1972, стр. 13–17.
6. Ржаницын А.Р. Метод определения допускаемых нагрузок на сооружения// Исследовательские работы по инженерным конструкциям, вып. II, Стройиздат, 1949.
7. Murzewski J. Zagandienia niezawodności obiektów budowlanych w świetle normy EN 1990: Inżynierija I Drownictwo, N 8, 2004, p. 434.
8. Пецольд Т.М., Тур В.В. К нормированию коэффициентов безопасности в СНБ 5.03.01/ Вестник БГТУ, Строительство и архитектура, № 1, 2002.
9. Structural Reliability/ Ernest&San, 1983.
10. СНиП 2.03.01. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования.
11. СНиП 2.07.01. Нагрузки и воздействия.
12. ГОСТ 8829. Конструкции бетонные и железобетонные. Статические испытания.