

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ БАЛОК С УЧЕТОМ СНИЖЕНИЯ (ДЕГРАДАЦИИ) ЖЕСТКОСТИ ОПОРНЫХ ЗАКРЕПЛЕНИЙ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье приведены методы расчета надежности металлических балок на стадии эксплуатации с учетом жесткости опорных креплений и при ее снижении (деградации). В рассмотренных методах учитывается неполнота статистической информации о контролируемых параметрах в расчетных математических моделях предельных состояний. Приведены краткие сведения о методике определения угловых жесткостей металлических балок на стадии эксплуатации. Получены формулы для определения значения предельной нагрузки на металлические балки по критерию прочности при различных расчетных схемах и опорных креплениях. Материалы данной статьи могут быть полезны работникам эксплуатирующих организаций при обследовании и выявлении категории технического состояния зданий и сооружений в соответствии с требованиями Межгосударственного стандарта ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга». Алгоритм расчета надежности металлической балки рассмотрен на примере.

Ключевые слова: надежность, металлическая балка, жесткость опор, безопасность, теория возможностей

Согласно вступившему в силу с 2010 г. Закону РФ №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», под термином «механическая безопасность» (конструкционная безопасность) понимается состояние строительных конструкций, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровья граждан, имуществу и окружающей среде. Одним из количественных показателей механической (конструкционной) безопасности может служить надежность. Согласно Межгосударственному стандарту ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований», надежность – это способность строительного объекта выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации. В дальнейшем под мерой надежности будем понимать вероятность безотказной работы. В [1] отмечается, что для проектирования конструкций с учетом требований обеспечения их прочности, устойчивости и долговечности, принцип безопасности может быть реализован в максимальной мере при условии дальнейшего развития методов расчета надежности строительных конструкций. Развитию методов расчета надежности металлических балок посвящена данная статья.

Определение вероятности P безопасности эксплуатации или надежности металлической балки определяется по критериям прочности и жесткости, как для условной последовательной механической системы (в понятиях теории надежности), по формуле: $P = P_1 \cdot P_2$, где P – вероятность безотказной работы балки в целом; P_1 – по критерию прочности и P_2 по критерию жесткости. ГОСТ 27751-2014 рекомендует производить расчет надежности вероятностно-статистическими методами при наличии достаточных данных об изменчивости контролируемых параметров в математических моделях предельных состояний или, словами ГОСТ, «если количество (длина ряда) данных позволяет производить их статистический анализ». Однако зачастую для индивидуальных несущих элементов, например балок, не удается получить полную статистическую информацию о контролируемых параметрах в связи с ограниченным количеством времени и средств на испытания, отсутствием самого объекта (на стадии проектирования), из-за некоторых конструктивных особенностей объекта и т.д. В этом случае необходимо использовать методы расчета надежности на основе теории воз-

можностей [2]. На этой основе приведен расчет надежности металлической балки по критерию прочности в работе [3]. Однако в этой работе используются расчетные схемы балок с шарнирными опорами. В работе авторов [4] показано, что оценка несущей способности балки по уточненным расчетным схемам, т.е. с учетом влияния жесткости опор, позволяет в некоторых случаях выявить резерв несущей способности или, наоборот, выявить ее снижение в результате уменьшения значения жесткости опор балки. Анализ надежности металлической балки с учетом фактора времени в условиях пожара рассмотрен в работе [5]. Однако в [5] также не учитывается влияние жесткости опорных закреплений. Расчет надежности металлической балки по критерию прочности и жесткости вероятностно-статистическими методами рассмотрен в работе [6]. Известно [7], что достоверный прогноз безотказной работы конструкции может быть основан только на экспериментальных данных. Для металлических конструкций это данные о деформациях и прочности металла. Эти данные и будут использованы в статье.

Нами предлагается новый подход к расчету надежности балок по критерию прочности, а именно при учете угловой жесткости опор и при ограниченной статистической информации о контролируемых параметрах (деформациях). Одна из разновидностей расчетных схем балок, рассматриваемых в работе, представлена на рис. 1, а.

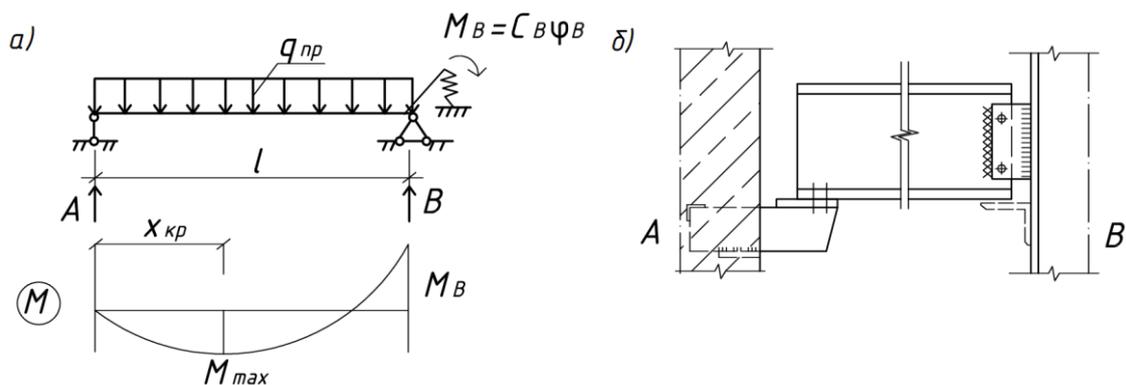


Рисунок 1 - Расчетная схема балки и модель эпюры изгибающего момента M . Действительная схема балки: шарнирный A и упругоподатливый B узлы крепления металлической балки [8]

Такая схема балок используется, например, в зданиях с несущим каркасом, в котором один конец B балки сопрягается с колонной упругоподатливо (с угловой жесткостью опоры C_B), как показано на рис. 1, б, а другой конец A может быть представлен в виде шарнирной опоры ($C_A=0$).

Для расчета надежности металлической балки по критерию прочности можно использовать различные виды расчетной модели предельного состояния:

$$\tilde{q}_{экс} \leq \tilde{q}_{пр}, \text{ или } \tilde{M}_{экс} \leq \tilde{M}_{пр}, \text{ или } \tilde{\sigma}_{экс} \leq \tilde{\sigma}_{пр}, \quad (1)$$

где $\tilde{q}_{экс}$ - эксплуатационная распределенная нагрузка (с учетом собственного веса), определяемая измерениями; $\tilde{q}_{пр}$ - предельная равномерно распределенная нагрузка, определяемая по условию прочности балки при изгибе с учетом жесткости опорного закрепления B и устанавливаемая по результатам испытаний балки на стадии эксплуатации; $\tilde{M}_{экс}$ - наибольший изгибающий момент от эксплуатационной нагрузки $\tilde{q}_{экс}$ на металлической балке; $\tilde{M}_{пр}$ - предельный изгибающий момент по критерию прочности. В качестве характеристики прочности стали используем $\sigma_{0,02}$ - предел упругости, т.к. теоретическая часть расчета построена для упругих деформаций.

Первый вид расчетной математической модели в (1) более доступен в понимании как специалиста так и не специалиста при оценке безопасности эксплуатации балки. Этой моде-

ли и будем придерживаться в дальнейшем. Для расчета надежности стальной балки по модели (1) предварительно необходимо определить угловую жесткость опорных закреплений и установить прочность стали балки в виде характеристики $\sigma_{0,02}$ для более осторожного подхода. Значение $\sigma_{0,02}$ устанавливается по проектной документации или по информации с завода изготовителя балки, а также неразрушающими испытаниями стали.

Метод определения угловой жесткости опор некоторых балок был описан в работе авторов [4], где получены формулы предельной равномерно распределенной нагрузки q_{np} в виде детерминированной величины. В [9] доказана независимость значения жесткости опор от вида нагрузки.

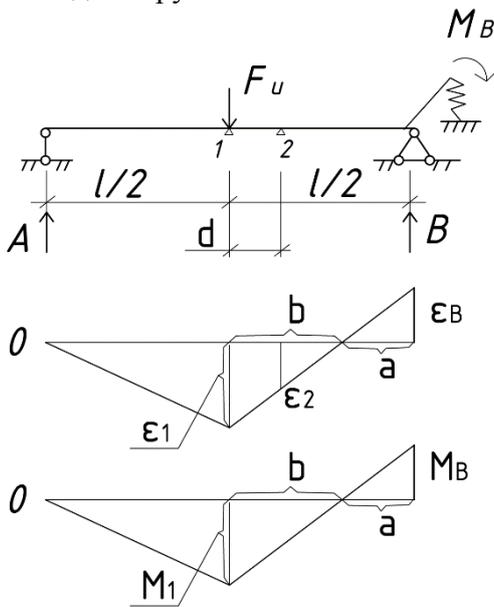


Рисунок 2 - Расчетная схема балки, эпюра относительных деформаций ϵ и изгибающих моментов M

Приведем некоторые сведения из [4] по методике определения угловой жесткости $C_B = M_B / \varphi_B$ опорного закрепления балки для расчетной схемы по рис. 1 при жесткости при изгибе $EJ = idem$. Для этого устанавливают на верхней или нижней грани поперечного сечения балки (в зависимости от доступности) измерители деформаций ϵ (например тензорезисторы) в сечениях 1 и 2, как показано на рис. 2, с измерением расстояний l и d . Затем балка нагружается испытательной нагрузкой F_u , как описано в [4], и измеряются деформации балки в местах установленных тензорезисторов, т.е. в сечениях 1 и 2. По значениям ϵ_1 и ϵ_2 строят эпюру ϵ , как показано на рис. 2. По эпюре ϵ , находят значения a и b при $EJ = idem$. Эпюру M строят из условия геометрического подобия ее с эпюрой ϵ (см. рис. 2). Число испытаний балки в одних и тех же условиях должно быть не менее трех [10]. Значения

$$b_i = \frac{d}{1 - \epsilon_{2,i} / \epsilon_{1,i}} \text{ и } a_i = 0,5l - \frac{d}{1 - \epsilon_{2,i} / \epsilon_{1,i}}$$

находят из подобия треугольников (см. рис. 2). В дальнейших записях символ i подразумевается, но не вводится в обозначения (для сокращения).

Из рис. 2 видно, что $M_B = M_{\max} a / b$ при $\epsilon_1 > \epsilon_2$. Испытательная нагрузка F_u в виде сосредоточенной силы в середине пролета балки для схемы по рис. 2 вызывает наибольший изгибающий момент на опоре B балки (при большой угловой жесткости опоры) или в середине пролета балки. Рассмотрим расчет надежности балки по расчетной схеме рис. 1 по критерию прочности в условиях упругой деформации балки, при котором наибольший изгибающий момент M_{\max} от испытательной нагрузки F_u будет возникать в середине пролета балки (при сравнительно малой угловой жесткости C_B опоры B). Значение предельного изгибающего момента в сечении балки примем из условия прочности металла балки в виде $M_{np} = \sigma_{0,02} W$, где W – момент сопротивления поперечного сечения балки. Для стали с одного и того же завода, коэффициента вариации $\sigma_{0,2}$ по [11] составляет $\mu = 0,01-0,04$. При таком значении μ изменчивостью $\sigma_{0,2}$ в расчетах надежности строительных конструкций по [12] можно пренебречь и считать $\sigma_{0,2}$ детерминированной величиной. Это относится и к пределу упругости $\sigma_{0,02}$. Тогда при известном значении $M_{np} = \sigma_{0,02} W$ и $M_B = M_{\max} a / b$, выражений a и b через ϵ_1 , ϵ_2 , l и d , после преобразований получим:

$$M_B = \sigma_{0,02} W \left[\frac{l(1 - \varepsilon_2 / \varepsilon_1)}{2d} - 1 \right]. \quad (2)$$

Для определения жесткости $C_B = M_B / \varphi_B$ найдем угол поворота φ_B сечения балки на опоре B в расчетной схеме по рис. 1 методами строительной механики [13]. В окончательном виде получим $\varphi_B = \frac{l}{12EJ} (2,5M_B - M_{np})$.

Угловая жесткость C_B опоры B (независимо от вида нагрузки [9]) определяется из выражения $C_B = \frac{M_B 12EJ}{l(2,5M_B - M_{np})}$. С учетом (1) и $M_{np} = \sigma_{0,02} W$ для каждого из n результатов испытаний балки нагрузкой F_u с учетом равенства $\varepsilon_{2,np} / \varepsilon_{1,np} = \varepsilon_2 / \varepsilon_1$ при упругих деформациях получим (без индексов):

$$C_B = \frac{12EJ}{l \left[2,5 - 1 / \left[\frac{l(1 - \varepsilon_2 / \varepsilon_1)}{2d} - 1 \right] \right]}. \quad (3)$$

Описанная выше экспериментально-теоретическая методика определения C_B может быть использована и для балки с M_{\max} в приопорном сечении B (рис. 2). Для сокращения объема статьи приводим для этого случая результаты расчетов C_B в окончательном виде:

$$C_B = \frac{4,8EJ [l\varepsilon_2 - \varepsilon_1(l + 2d)]}{l [l\varepsilon_2 - \varepsilon_1(l + 2,8d)]}. \quad (4)$$

После определения значений $C_{B,i}$ (в дальнейшем C_B) в результате нескольких испытаний балки, рассмотрим расчет надежности балки по критерию прочности со случайной эксплуатационной нагрузкой для варианта с M_{\max} в приопорном сечении B по расчетной схеме рис. 1. В соответствии с основным постулатом метрологии [14] отсчеты ε_1 и ε_2 являются случайными числами.

Предварительно найдем значение предельной нагрузки $q_{пр,i}$ по критерию прочности балки при известных числовых значениях $\varepsilon_{1,i}$ и $\varepsilon_{2,i}$. Металлическая балка с расчетной схемой по рис. 1 один раз статически неопределимая. Каноническое уравнение метода сил для каждого отдельного загрузения балки условно предельной нагрузкой $q_{пр,i}$, как детерминированной величиной (в дальнейшем без индекса i для сокращения обозначений), имеет вид [13]:

$$\delta_{11} X_1 + \Delta_{1F} = -\varphi_B, \quad (5)$$

где для балки по рис. 1 при нагрузке $q_{пр}$ имеем $X_1 = C_B \varphi_B$. Для принятого варианта балки при $M_{\max} = M_{пр,B} = \sigma_{0,02} W$, значение $X_1 = M_{пр,B}$ в (5) известно. Перемещения по [13] будут $\delta_{11} = \frac{l}{3EJ}$, $\Delta_{1F} = -\frac{q_{пр} l^3}{24EJ}$, где $EJ = idem$. Подставляя в (5) полученные перемещения δ_{11} и Δ_{1F} с учетом $X_1 = M_{пр,B} = \sigma_{0,02} W$ и $\varphi_B = X_1 / C_B$, после преобразований получим выражение для предельной нагрузки $q_{пр}$, в котором C_B случайное число, т.к. выражено через случайные числа ε_1 и ε_2 . Таким образом, будем иметь несколько значений $q_{пр,i}$:

$$q_{пр,i} = \frac{24 \cdot \sigma_{0,02} WEJ}{l^3} \left(\frac{l}{3EJ} + \frac{1}{C_{B,i}} \right), \quad i = 1, \dots, n \quad (6)$$

Модуль упругости стали E можно принять детерминированной величиной, т.к. его статистическая изменчивость мала [12].

По рис. 1 с $M_{\max} = M_B$ угловая жесткость C_B опоры балки описывается выражением (3). С учетом (3) после преобразований из (6) получим некоторое множество значений $\{q_{np}\}$ предельной нагрузки по каждому испытанию балки и i -му результату измерения деформаций ε_1 и ε_2 :

$$q_{np,i} = \frac{2 \cdot \sigma_{0,02} W}{l^2} \left(6,5 - 1 / \left[\frac{l(1 - \varepsilon_2 / \varepsilon_1)_i}{2d_i} - 1 \right] \right), \quad i = 1, \dots, n. \quad (7)$$

В связи с ограниченностью статистической информации о \tilde{q}_{np} будем описывать ее возможным методом.

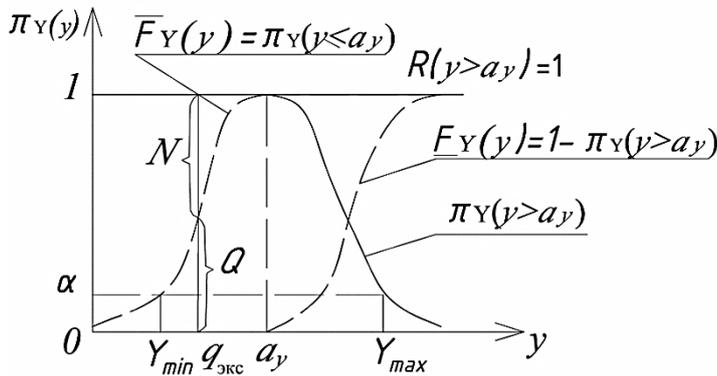


Рисунок 3 - График функции распределения возможностей. $\bar{F}_Y(y)$, $F_Y(y)$ – левая и правая (верхняя и нижняя) ветви функции $\pi_Y(y)$

Предельная нагрузка $q_{np,i}$ определяется по формуле (7) (по результатам не менее 3 испытаний). При эксплуатационной нагрузке $q_{\text{экс}}$ постоянной по значению, математическая модель предельного состояния балки по (1) будет $q_{\text{экс}} \leq \tilde{q}_{np}$. Обозначим: $\tilde{q}_{np} = Y$. Будем описывать Y функцией распределения возможностей [15], представленной на рис. 3, с аналитическим выражением:

$$\pi_Y(y) = \exp \left[- \left(\frac{y - a_y}{b_y} \right)^2 \right], \quad (8)$$

где $a_y = 0,5 \cdot (Y_{\max} + Y_{\min})$;

$b_y = \frac{(Y_{\max} - Y_{\min})}{\sqrt{-\ln \alpha}}$, где Y_{\max} и Y_{\min} - наибольшее и наименьшее значения во множестве $\{Y\}$ нечеткой переменной Y , полученных по результатам определений нагрузки \tilde{q}_{np} ; $\alpha \in [0;1]$ - уровень среза, значением которого задаются [16].

При $q_{\text{экс}} \leq a_y$ возможность безотказной работы балки $R=1$, а возможность отказа $Q = \pi_Y(y = q_{\text{экс}})$. Необходимость безотказной работы $N=1-Q$. Надежность балки по критерию прочности будет характеризоваться интервалом $[N, R]$ или в вероятностных показателях $[\underline{P}; \bar{P}]$, где \underline{P} и \bar{P} - нижнее и верхнее значение вероятности безотказной работы.

Более важной задачей для практики является вариант расчета надежности балки, в котором $\tilde{q}_{\text{экс}}$ является нечеткой переменной или случайной величиной. Эксплуатационная нагрузка $\tilde{q}_{\text{экс}}$ определяется измерениями [7]. Будем описывать нечеткую переменную $\tilde{q}_{\text{экс}}$ функцией распределения вида (8). Введем обозначения $\tilde{q}_{\text{экс}} = X$, $\tilde{q}_{np} = Y$. Оперативная надежность балки будет определяться по математической модели предельного состояния (1) в виде:

$$X \leq Y. \quad (9)$$

Условие (9) представлено на рис. 4. Из рис. 4 видно, что при выполнении условия $a_x \leq a_y$ («средняя» эксплуатационная нагрузка меньше или равна «средней» предельной нагрузке), возможность безотказной работы балки [16] принимается $R=1$. Для определения необходимости безотказной работы N балки необходимо вычислить значение x^* (или y^*), см. рис. 4, которое можно найти из решения уравнения $\pi_X(x) = \pi_Y(y)$ при $x = y = x^*$, т.е. из равенства:

$$\left| \frac{(x^* - a_x)}{b_x} \right| = \left| \frac{(x^* - a_y)}{b_y} \right|, \quad (10)$$

Из всех полученных значений x^* по (10) выбирают то, которое удовлетворяет условию $a_x \leq x^* \leq a_y$, как показано на рис. 4. Подставляя значение $x^* = y^*$ в (8), находят возможность отказа Q . Соответственно необходимость безотказной работы балки будет $N=1-Q$.

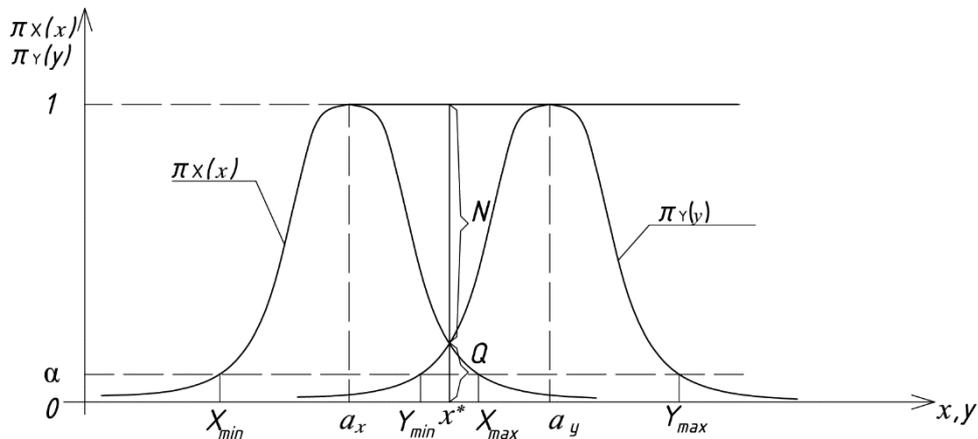


Рисунок 4 - Графики функций $\pi_X(x)$ и $\pi_Y(y)$ при $a_x < a_y$

Пример 1. Пусть условно известны значения: $\tilde{q}_{\text{экс}} = X = \{7,1;7,3;7,2\}$ кН/м; $\tilde{q}_{\text{пр}} = Y = \{7,5;7,45;7,55\}$. Вычислим: $a_x = 7,2$ кН/м; $b_x = 0,12$ кН/м; $a_y = 7,5$ кН/м; $b_x = 0,06$ кН/м при $\alpha = 0,05$. Т.к. выполняется условие $a_x \leq a_y$, то возможность безотказной работы балки принимается $R=1$. По (10) имеем: $x^* = 7,39$ кН/м и $x^* = 7,79$ кН/м. Принимаем $x^* = 7,39$ кН/м, т.к. $a_x \leq x^* \leq a_y$. Возможность отказа определяется как

$$Q = \exp \left[- \left(\frac{x^* - a_x}{b_x} \right)^2 \right] = 0,083. \text{ Соответственно необходимость безотказной работы балки составит } N = 1 - 0,083 = 0,917.$$

Надежность металлической балки по критерию прочности характеризуется интервалом $[0,917; 1]$.

Рассмотрим следующий вариант, в котором предельный (максимальный) момент M_{max} возникает в пролете балки при некотором значении $x_{\text{кр}}$, которое необходимо найти.

Опорная реакция A в расчетной схеме по рис. 1: $A = \frac{0,5ql^2 - M_B}{l}$. Т.к. в общем случае

$M(x) = Ax - 0,5qx^2$, то:

$$M_{\text{max}} = Ax_{\text{кр}} - 0,5qx_{\text{кр}}^2. \quad (11)$$

$\frac{dM(x)}{dx} = A - qx$. Отсюда $x_{кр} = \frac{A}{q}$ или $x_{кр} = \frac{0,5ql^2 - M_B}{lq}$. После подстановки значений $M_{max} = \sigma_{0,02}W_B$, реакции $A = \frac{0,5qb^2 - M_B}{l}$ и $x_{кр}$ в (5) и (11) получим систему уравнений:

$$\begin{cases} X_1 \left(\frac{l}{3EJ} + \frac{1}{C_B} \right) - \frac{q_{пр} l^3}{24EJ} = 0 \\ \sigma_{0,02}W = \frac{0,5q_{пр} l^2 - X_1}{l} \left(\frac{0,5q_{пр} l^2 - X_1}{lq} \right) - 0,5q_{пр} \left(\frac{0,5q_{пр} l^2 - X_1}{lq} \right)^2. \end{cases} \quad (12)$$

Решая систему уравнений (12), относительно неизвестного $q_{пр}$, найдем:

$$q_{пр} = \frac{14,2 \cdot \sigma_{0,02}W (C_B^2 l^2 + 6C_B l E J + 20E^2 J^2)}{l^2 (C_B l + 4EJ)^2}. \quad (13)$$

Для балки с обеими упругоподатливыми опорами (дважды статически неопределимой) будем иметь два канонических уравнения вида (5) и набор значений относительных деформаций: $\varepsilon_{1,i}, \varepsilon_{2,i}, \varepsilon_{3,i}$ в трех сечениях балки, которые позволяют выявить значения $a_{1i}, b_{1i}, a_{2i}, b_{2i}, \varphi_{A,i}, \varphi_{B,i}$, а также $q_{пр,i}$. Для сокращения объема статьи, приведем формулу для определения предельной нагрузки по критерию прочности приопорного сечения В в окончательном виде (без индексов i):

$$q_{пр} = \frac{12\sigma_{0,2}W (12E^2 J^2 + C_A C_B l^2 + 4C_A E J l + 4C_B E J l)}{C_B l^3 (6EJ + C_A l)}. \quad (14)$$

Методика определения жесткостей для рассматриваемого варианта балки C_A и C_B в (14) описана в работах авторов [4, 17]. Получаем множество значений $\{q_{пр}\}$ предельной нагрузки по каждому результату испытаний балки. Надежность в этом случае определяется аналогично первому варианту балки.

Выводы.

1. Предложен метод расчета надежности металлической балки с учетом угловой жесткости опорных закреплений на стадии эксплуатации при неполной статистической информации о контролируемых параметрах, позволяющие выполнить требования ГОСТ 27751-2014;
2. Алгоритмы расчета надежности приведены на примере;
3. По аналогии с приведенными расчетами надежности металлической балки можно выполнить расчет надежности для балок с другими расчетными схемами, видами нагрузок и из других материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамразян, А.Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы [Текст] / Тамразян А.Г. // Промышленное и гражданское строительство. - 2014. - №8. - С. 30-33.
2. Дюбуа, Л. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике [Текст] / Дюбуа Л., Прад А. - М.: Радио и связь, 1990. - 288 с.
3. Редькин, А.Н. Определение надежности металлических конструкций при ограниченной информации по критерию несущей способности [Текст] / Редькин А.Н. // Вестник гражданских инженеров. - 2012. - №4(33). - С. 274-280.
4. Уткин, В.С. Определение несущей способности металлических балок на стадии эксплуатации с учетом жесткости опорных закреплений [Текст] / Уткин В.С., Соловьев С.А // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. №3. С. 100-109.

5. Mu, Q. The analysis on time-dependent reliability of steel structural components under fire conditions / Mu Q., Fangfang G., Jitao Z. etc. // International journal of smart house. - 2015. - Vol. 9. - No. 11. - pp. 29-36.
6. Abubakar, I. Reliability analysis of simply supported steel beams / Abubakar I., Pius E. // Australian journal of basic and applied sciences. 2007. No. 1. pp. 20-29.
7. Лужин, О.В. Обследование и испытание сооружений [Текст] / Лужин О.В., Злочевский А.Б., Горбунов И.А. и др. - М.: Стройиздат, 1987. - 263 с.
8. Беленя, Е.И. Металлические конструкции [Текст] / Беленя Е.И., Балдин В.А., Ведеников Г.С. и др. - М.: Стройиздат, 1986. - 560 с.
9. Коржов О.В. Несущая способность и деформативность податливых узловых сопряжений стальных перекрестных балок [Текст]. Автореферат дисс... к.т.н. Москва. 2011. 25 с.
10. Джонсон, Д. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. Перевод с англ. Под ред. Э.К. Лецкого [Текст] / Джонсон Д., Лион Ф. - М.: Мир, 1980. - 606 с.
11. Шпете, Г. Надежность несущих строительных конструкций. Пер. с нем. О.О. Андреева [Текст] / Шпете Г. - М.: Стройиздат, 1994. - 288 с.
12. Аугусти, Г. Вероятностные методы в строительном проектировании [Текст] / Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. - М.: Стройиздат, 1988. - 584 с.
13. Ржаницын, А.Р. Строительная механика. 2-е изд., перераб. [Текст] / Ржаницын А.Р. - М.: Высшая школа, 1991. - 439 с.
14. Шишкин, И.Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством. Учеб. для вузов. Под ред. акад. Н. С. Соломенко [Текст] / Шишкин И.Ф. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - 342 с.
15. Уткин, В.С. Расчет надежности железобетонной балки на стадии эксплуатации по критерию длины трещины в бетоне [Текст] / Уткин В.С., Соловьев С.А. // Вестник МГСУ. – 2016. - №1. – С. 68-79.
16. Уткин, В.С. Значение уровня среза (риска) при расчете надежности несущих элементов возможным методом [Текст] / Уткин В.С., Соловьев С.А., Каберова А.А // Строительная механика и расчет сооружений. - 2015. - №6. - С. 63-67.
17. Уткин, В.С. Определение предельной нагрузки на металлическую балку по критерию перемещений (прогиба) на стадии эксплуатации / Уткин В.С., Соловьев С.А. // Строительство и реконструкция. – 2016. - №6. – С. 85-89.

Уткин Владимир Сергеевич

Вологодский государственный университет (ФГБОУ ВО ВоГУ)
Доктор технических наук, профессор кафедры ПГС;
E-mail: utkinvogtu@mail.ru

Соловьев Сергей Александрович

Вологодский государственный университет (ФГБОУ ВО ВоГУ)
Аспирант кафедры ПГС;
E-mail: ser6sol@yandex.ru

V.S. UTKIN, S.A. SOLOVYEV

RELIABILITY ANALYSIS OF EXISTING STEEL BEAMS WITH REDUCTION (DEGRADATION) OF THE RIGIDITY OF THE SUPPORT

The article presents methods of reliability analysis for existing steel beams with reduction of the rigidity of the support. In the reviewed methods is taken into account incompleteness of statistical information of controlled parameters in the design mathematical models of limit states. Information briefed for the method of evaluation the angular rigidity of the steel beams supports during the operation. The article presents the formulas for calculation the ultimate load on steel beams with various design schemes and rigidities supports by the strength criterion. The materials of this article can be useful to employees of the maintenance companies in the inspections and to identify the category of the technical condition of buildings and structures in accordance with the requirements of Interstate standard GOST 31937-2011 "Buildings and structures. Rules of inspection and monitoring". The algorithm of reliability analysis of steel beams considered in the example.

Keywords: reliability, steel beam, support rigidity, theory of possibility, safety

REFERENCES

1. Tamrazjan, A.G. Beton i zhelezobeton: problemy i perspektivy [Tekst] / Tamrazjan A.G. // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. - 2014. - №8. - S. 30-33.
2. Djubua, L. Teorija vozmozhnostej. Prilozhenija k predstavleniju znaniy v informatike [Tekst] / Djubua L., Prad A. - M.: Radio i svjaz', 1990. - 288 s.
3. Red'kin, A.N. Opredelenie nadezhnosti metallicheskih konstrukcij pri ogranichennoj informacii po kriteriju nesushhej sposobnosti [Tekst] / Red'kin A.N. // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. - 2012. - №4(33). - S. 274-280.
4. Utkin, V.S. Opredelenie nesushhej sposobnosti metallicheskih balok na stadii jekspluatacii s uchedom zhestkosti opornyh zakreplenij [Tekst] / Utkin V.S., Solov'ev S.A // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2016. №3. S. 100-109.
5. Mu Q., Fangfang G., Jitao Z. etc. The analysis on time-dependent reliability of steel structural components under fire conditions // International journal of smart house. 2015. Vol. 9. No. 11. pp. 29-36.
6. Abubakar I., Pius E. Reliability analysis of simply supported steel beams // Australian journal of basic and applied sciences. 2007. No. 1. pp. 20-29.
7. Luzhin, O.V. Obsledovanie i ispytanie sooruzhenij [Tekst] / Luzhin O.V., Zlochevskij A.B., Gorbunov I.A. i dr. - M.: Strojizdat, 1987. - 263 s.
8. Belenja, E.I. Metallicheskie konstrukcii [Tekst] / Belenja E.I., Baldin V.A., Vedenikov G.S. i dr. - M.: Strojizdat, 1986. - 560 s.
9. Korzhov O.V. Nesushhaja sposobnost' i deformativnost' podatlivyh uzlovyh soprjazhenij stal'nyh perekrestnyh balok [Tekst]. Avtoreferat diss... k.t.n. Moskva. 2011. 25 s.
10. Dzhonson, D. Statistika i planirovanie jeksperimenta v tehnike i nauke. Metody obrabotki dannyh. Pervod s angl. Pod red. Je.K. Leckogo [Tekst] / Dzhonson D., Lion F. - M.: Mir, 1980. - 606 s.
11. Shpete, G. Nadezhnost' nesushhih stroitel'nyh konstrukcij. Per. s nem. O.O. Andreeva [Tekst] / Shpete G. - M.: Strojizdat, 1994. - 288 s.
12. Augusti, G. Veroyatnostnye metody v stroitel'nom proektirovanii [Tekst] / Augusti G., Baratta A., Kashiati F. - M.: Strojizdat, 1988. - 584 s.
13. Rzhanicyn, A.R. Stroitel'naja mehanika. 2-e izd., pererab. [Tekst] / Rzhanicyn A.R. - M.: Vysshaja shkola, 1991. - 439 s.
14. Shishkin, I.F. Metrologija, standartizacija i upravlenie kachestvom. Ucheb. dlja vuzov. Pod red. akad. N. S. Solomenko [Tekst] / Shishkin I.F. - M.: Izd-vo standartov, 1990. - 342 s.
15. Utkin, V.S. Raschet nadezhnosti zhelezobetonnoj balki na stadii jekspluatacii po kriteriju dliny treshhiny v betone [Tekst] / Utkin V.S., Solov'ev S.A. // Vestnik MGSU. - 2016. - №1. - S. 68-79.
16. Utkin, V.S. Znachenie urovnja sreza (riska) pri raschete nadezhnosti nesushhih jelementov vozmozhnostnym metodom [Tekst] / Utkin V.S., Solov'ev S.A., Kaberova A.A // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. - 2015. - №6. - S. 63-67.
17. Utkin, V.S. Opredelenie predel'noj nagruzki na metallicheskuju balku po kriteriju peremeshhenij (progiba) na stadii jekspluatacii / Utkin V.S., Solov'ev S.A. // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. - 2016. - №6. - S. 85-89.

V.S. Utkin

Vologda State University
DSc, Professor
E-mail: utkinvogtu@mail.ru

S.A. Solovyev

Vologda State University
Post-graduate Student
E-mail: ser6sol@yandex.ru