ISSN 1814-5566 print
ISSN 1993-3517 online
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS
N4, ТОМ 14 (2008) 227-236
УДК 624.046.5

(08)-0168-1

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

С.Ф. Пічугін
Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка, пр. Першотравневий 24, 36011, м. Полтава, Україна.
E-mail: pichugin_sf@mail.ru

Отримана 20 жовтня 2008; прийнята 27 жовтня 2008

Анотація. Розглянуті варіанти оцінки надійності сталевих елементів. Розроблений метод враховує фактор часу. Навантаження і резерв несучої здатності конструкцій представлені у вигляді випадкових процесів, абсолютних максимумів випадкових процесів, випадкових послідовностей незалежних перевантажень, дискретного представлення, екстремумів. Для сполучення навантажень, представлених у різній стохастичній техніці, введені нові імовірнісні параметри. Рекомендації із розрахунку надійності елементів сформульовані у вигляді послідовних алгоритмів.

Ключові слова: надійність конструкцій, випадкові навантаження, імовірнісні моделі навантажень, сполучення навантажень.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С.Ф. Пичугин
Полтавский национальный технический университет
имени Юрия Кондратюка,
пр. Первомайский 24, 36011, г. Полтава, Украина.
E-mail: pichugin_sf@mail.ru

Получена 20 октября 2008; принята 27 октября 2008

Аннотация. Рассмотрены варианты оценки надежности стальных элементов. Разработанный метод учитывает фактор времени. Нагрузки и резерв несущей способности конструкций представлены в виде случайных процессов, абсолютных максимумов случайных процессов, случайных последовательностей независимых перегрузок, дискретного представления, экстремумов. Для сочетания нагрузок, представленных в различной стохастической технике, введены новые вероятностные параметры. Рекомендации по расчету надежности элементов сформулированы в виде последовательных алгоритмов.

Ключевые слова: надежность конструкций, случайные нагрузки, вероятностные модели нагрузок, сочетания нагрузок.

ESTIMATION OF STEEL STRUCTURE ELEMENTS RELIABILITY

S.F. Pichugin
Poltava National Technical University
named in honor of Yuri Kondratyuk, Pervomaysky pr. 24, 36011, Poltava, Ukraine.
E-mail: pichugin_sf@mail.ru

Received 20 October 2008; accepted 27 October 2008

Abstract. There are considered alternate estimations of steel element reliability. The method proposed takes account the time factor. Loads and a carrying capacity reserve of structures are given in the form of random processes, absolute maxima of the random processes, random sequences of independent overloads, a discrete representation and extremes. New probability parameters are introduced to combine loads presented in different stochastic techniques. Recommendations to calculate the elements reliability are formulated in the form of the successive algorithms.

Keywords: structure reliability, random loads, probability load models, load combinations .

Введение

Общий подход к оценке надежности конструкций зданий и сооружений включает описание случайных нагрузок и свойств материалов конструкций, расчет надежности отдельных элементов и в заключение – рассмотрение строительных объектов как сложных систем. Классические постановки задач надежности в строительстве [1,2] носили излишне обобщенный характер, оставляя в стороне целый ряд конкретных вопросов, без решения которых не мог осуществиться практический переход к проектированию конструкций с позиций их надежности. Учитывая это, на протяжении ряда лет автор со своими коллегами и аспирантами разработал общий метод расчета надежности стальных конструкций производственных зданий [3], который в определенной мере заполняет брешь между упомянутыми общими постановками и практическими задачами расчета и проектирования конструкций. Упомянем здесь некоторые из публикаций [4-7], в которых излагаются общие положения разработанного метода в части расчета надежности элементов конструкций, находящихся под воздействием случайных нагрузок, имеющих сложный стохастический характер и ряд специфических особенностей. К таким нагрузкам относятся, в частности, ветровые [8-10], снеговые [11,12] и крановые нагрузки [13]. При этом важно, чтобы сбор исходной информации и вероятностное описание нагрузок выполнялись системно, с единых позиций и с возможностью увязки и сравнения результатов, полученных в разной вероятностной технике. В определенной мере данная постановка реализована в разработанном методе [14]. В данной статье рассматривается вероятностный расчет стальных элементов со случайной прочностью, загруженных нагрузками, для которых в рамках единого подхода используются характерные стохастические модели, пригодные для описания реальных воздействий на конструкции (атмосферных, крановых, температурных).

Основная часть

Общий подход к оценке надежности элементов

Рассмотрим стальные элементы, линейно работающие в условиях одноосного напряженного состояния до достижения краевой текучести. Будем оценивать надежность таких элементов по вероятности отказа (или вероятности безотказной работы). Как обычно, используем введенную А.Р.Ржаницыным [2] случайную функцию $\tilde{Y}(t)$, зависящую от времени t, которую для общности назовем резервом несущей способности

$$\tilde{Y}(t) = \tilde{R} - \tilde{S}(t), \qquad (1)$$

где $\tilde{S}(t)$ – случайное напряжение (усилие) от внешних воздействий,

$\widetilde{R}$ – случайный уровень предела текучести стали (несущая способность элемента).

Отказом элемента будем считать переход резерва несущей способности в отрицательную область. Вероятность отказа $Q(t)$ определяется различным образом в зависимости от принятых для рассмотрения вероятностных моделей нагрузок и прочности. Подробный анализ и сравнение вероятностных моделей распространенных нагрузок изложен в [14].

1. Случайные процессы. При представлении нагрузок в виде стационарных и квазистационарных случайных процессов функция также является случайным процессом, число выбросов которого в отрицательную область дает оценку вероятности отказа

$$Q(t) = \omega_q f_Y(\beta) t \big/ \left(\beta_\omega \sqrt{2\pi}\right), \qquad (2)$$

где ω_q и $f_Y(.)$ – эффективная частота и плотность распределения ординаты случайного процесса $\widetilde{Y}(t)$;

$\beta = \bar{Y}/\hat{Y}$ – характеристика безопасности,

$\bar{Y}$ – математическое ожидание,

$\hat{Y}$ – стандарт резерва несущей способности элемента;

t – наработка элемента (отличная от его срока службы);

β_ω – коэффициент широкополосности случайного процесса $\widetilde{Y}(t)$, учитывающий спектр частот реальных нагрузок (подробный анализ приведен в [16].

Если нагрузка и прочность являются нормальными, формула (2) упрощается

$$Q(t) = \omega_q t \exp\left(-0{,}5\beta^2\right) \big/ \left(2\pi\beta_\omega\right). \qquad (3)$$

Данная модель, несмотря на ее относительную сложность, является на сегодняшний день наиболее изученной [3,5-7.15].

2. Абсолютные максимумы случайных процессов. Распределение абсолютных максимумов, введенное впервые В.В.Болотиным [1], определяется хвостовой частью распределения выбросов случайного процесса, расположенной выше уровня характеристического максимума γ_0. Для оценки в этой технике вероятности отказа нами получена лаконичная формула

$$Q(t) = f(\gamma) \big/ f(\gamma_0). \qquad (4)$$

Данная модель была детально разработана [17,18] и дала интересные и полезные результаты.

3. Схема независимых испытаний. Частотную структуру этой модели описывает интенсивность λ, равная числу независимых испытаний на отказ элемента в единицу времени, основная расчетная формула имеет вид

$$Q(t) = \lambda t Q(\gamma), \qquad (5)$$

где $Q(\gamma)$ – вероятность отказа в отдельном загружении.

4. Экстремумы в задачах надежности обычно описываются двойным экспоненциальным распределением (законом Гумбеля I типа), при использовании которого вероятность отказа определяется как

$$Q(t) = 1 - \exp[-\exp(-y)], \qquad (6)$$

где аргумент равен $y = \alpha_n(\gamma - u_n)$, u_n – характеристический экстремум, α_n – экстремальная интенсивность.

5. Дискретное представление рассматривает в качестве основной частотной характеристики среднюю длительность отказа $\bar{\Delta}(\gamma)$, основная формула записывается как

$$Q(t) = Q(\gamma) t \big/ \bar{\Delta}(\gamma). \qquad (7)$$

Как видно из приведенных формул, при получении оценок надежности необходимо строить совместные распределения нагрузок и прочности, а также определять частотные характеристики сочетаний нагрузок и функции $\widetilde{Y}(t)$ (см. ниже).

Совместные распределения строятся на основе формул свертки

$$Y = X_1 + X_2,$$
$$f(Y) = \int_0^Y f_1(X_1) f_2(Y - X_1)\, dX_1; \qquad (8)$$

$$Y = X_1 - X_2,$$
$$f(Y) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(X_1) f_2(X_1 - Y)\, dX_1. \qquad (9)$$

Конкретизация формул свертки применительно к распределениям различного вида показана в статье [15].

Частотные характеристики сочетания нагрузок, изменяющихся во времени

Частотно-временные параметры основных случайных нагрузок, действующих на здания и сооружения (ветровые, снеговые, крановые) существенно отличаются друг от друга (см. рис.1). Поэтому определение совместных частотных характеристик в задачах надежности представляет определенные трудности.

1. Случайные процессы. Также, как и для отдельных нагрузок, частотный состав случайного усилия, вызванного действием сочетания нагрузок, представленных в форме стационарных случайных процессов, определяется эффективной частотой. На основе решения В.В.Болотина [1] для сочетания 2-х нагрузок получена формула (10) в табл.1, которая при необходимости может быть распространена на любое число нагрузок. Сезонное изменение (тренд) числовых характеристик случайных процессов атмосферных нагрузок учитывается введением соответствующих коэффициентов тренда K_{tr}. Использование отношения стандартов $K = \hat{X}_2 / \hat{X}_1$ позволяет избавиться от непосредственного учета дисперсий нагрузок. При значительном преобладании эффективной частоты одной из нагрузок, как, например, в сочетании крановой и снеговой нагрузок, определение эффективной частоты сочетания нагрузок упрощается (11) (табл.1), аналогично решается вопрос для сочетания случайного процесса со случайной величиной, описывающей нагрузку типа постоянной, либо прочность стали.

2. Абсолютные максимумы случайных процессов. Частотная структура случайного процесса отражается на распределении его абсолютных максимумов через характеристический

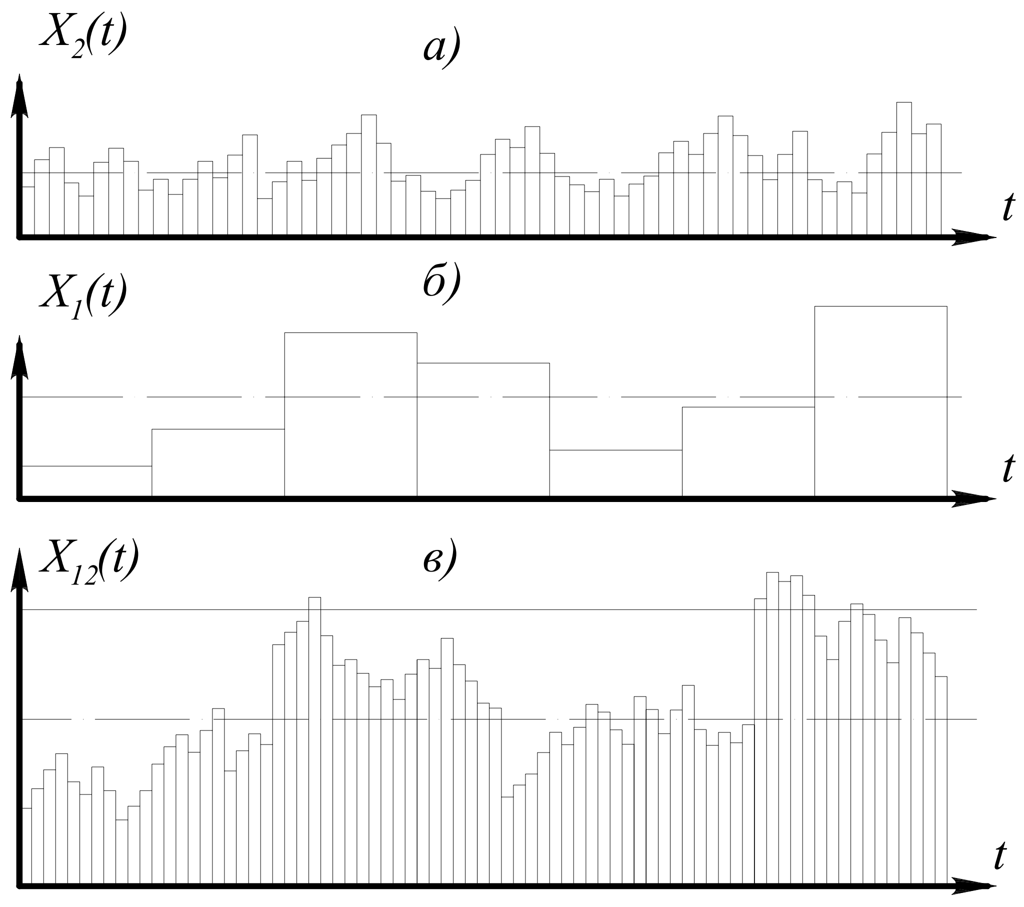

Рис. 1. К оценке частотного состава сочетания нагрузок: а) высокочастотная составляющая; б) низкочастотная составляющая; в) суммарный случайный процесс.

Таблица 1. Частотные характеристики сочетания нагрузок.

№ п/п	Форма представления нагрузки	Частотные характеристики сочетания нагрузок	Упрощенная форма частотной характеристики
1	2	3	4
1	Квазистационарный случайный процесс	Эффективная частота $\omega_{12} = \frac{1}{\sqrt{1+K^2}}\left[\left(\omega_1 \cdot K_{tr1}\right)^2 + \left(\omega_2 \cdot K \cdot K_{tr2}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$ (10)	$\omega_1 >> \omega_2$; $\omega_{12} = \frac{1}{\sqrt{1+K^2}}\omega_1 \cdot K_{tr1}$ (11)
2	Схема независимых испытаний	Эффективная интенсивность $\lambda_{\mu 12} = \frac{1}{\sqrt{1+K^2}}\left[\left(\lambda_{\mu_1} \cdot K_{tr1}\right)^2 + \left(\lambda_{\mu_2} \cdot K \cdot K_{tr2}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$ (12)	$\lambda \cdot \mu_1 >> \lambda \cdot \mu_2$ $\lambda_{\mu 12} = \frac{1}{\sqrt{1+K^2}}\lambda_{\mu_1} \cdot K_{tr1}$ (13)
3	Экстремальные значения	Эффективный объем экстремальной выборки $n_{\alpha 12} = \frac{1}{\sqrt{1+K^2}}\left(n_{\alpha 1}^2 + K^2 n_{\alpha 2}^2\right)^{\frac{1}{2}}$ (14)	$n_{\alpha 1} >> n_{\alpha 2}$ $n_{\alpha 12} = \frac{1}{\sqrt{1+K^2}} n_{\alpha 1}$ (15)
4	Дискретное представление нагрузок	Эффективная средняя продолжительность перегрузки $\overline{\Delta}_{\mu 12}^{-1} = \frac{1}{\sqrt{1+K^2}}\left[\left(K_{tr1}/\overline{\Delta}_{\mu 1}\right)^2 + \left(K_{tr2}/\overline{\Delta}_{\mu 2}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$ (16)	$\overline{\Delta}_{\mu 1} << \overline{\Delta}_{\mu 2}$; $\overline{\Delta}_{\mu 12} = \frac{\sqrt{1+K^2}}{K_{tr1}}\overline{\Delta}_{\mu 1}$ (17)

Обозначения в таблице:

$K = \hat{X}_2 / \hat{X}_1$ - отношение стандартов; $K_{тч}$ – коэффициент, учитывающий тренд снеговой и ветровой нагрузок;

Таблица 2. Характеристические максимумы сочетаний нагрузок.

№ п/п	Законы распределения ординаты сочетаемых случайных нагрузок	Выражения для определения γ_{012}
1	2	3
1	Общий случай	Корень уравнения $$\left[f_{12}(\gamma_{012})\right]^{-1}=\frac{1}{\sqrt{1+K^2}}\left\{\left[f_1(\gamma_{01})\right]^{-2}+K^2\left[f_2(\gamma_{02})\right]^{-2}\right\}^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$
2	Нормальный + нормальный	$$\gamma_{012}=\left\{\ln\left[\left(\exp(\gamma_{01}^2)+K^2\exp(\gamma_{02}^2)\right)\frac{1}{1+K^2}\right]\right\}^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$
3	Нормальный + Вейбулла	Корень уравнения $$\left[f_{12}(\gamma_{012})\right]^{-1}=\frac{1}{\sqrt{1+K^2}}\left\{2\pi\exp(\gamma_{01}^2)+\frac{K^2}{2\pi K_{tr0}^2}\exp\left[2\left(\delta_0+(\gamma_{02}V+1)\Gamma\right)^{\beta}\right]\right\}^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$
4	Нормальный + полиномо-экспоненциальный	Корень уравнения $$\left[f_{12}(\gamma_{012})\right]^{-1}=\frac{1}{\sqrt{1+K^2}}\left\{2\pi\exp(\gamma_{01}^2)+\left(\frac{K}{K_3K_{tr0}}\right)^2\exp\left[-2\left(C_0-C_1\gamma_1-C_2\gamma_2^2-C_3\gamma_3^3\right)\right]\right\}^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$
5	Вейбулла + полиномо-экспоненциальный	Корень уравнения $$\left[f_{12}(\gamma_{012})\right]^{-1}=\frac{1}{\sqrt{1+K^2}}\left\{\frac{1}{2\pi K_{tr1}^2}\exp\left[2\delta_0(\gamma_0V+1)\Gamma\right]^{\beta}+\left(\frac{1}{K_3K_{tr2}^2}\right)^2\exp\left[-2\left(C_0-C_1\gamma_2-C_2\gamma_2^2-C_3\gamma_3^3\right)\right]\right\}^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

Обозначения в таблице: $K_3=\dfrac{t_3}{t}$, t_3 – средняя продолжительность зимы, Γ - гамма-функция.

Таблица 3. Упрощенные формулы для определения характеристических максимумов сочетаний нагрузок (при $\omega_1 >> \omega_2$).

№ п/п	Сочетаемые нагрузки	Выражения для определения γ_{012}
1	2 произвольные нагрузки $\omega_1 >> \omega_2$	Корень уравнения $f_{12}(\gamma_{012}) = \sqrt{1+K^2}\, f_1(\gamma_{02})$ (23)
2	Крановая + ветровая $\omega_K >> \omega_B$	Корень уравнения $f_{12}(\gamma_{012}) = \sqrt{\dfrac{1+K^2}{2\pi}} \exp\left(-\dfrac{\gamma_{0K}^2}{2}\right)$ (24)
3	Крановая +снеговая $\omega_K >> \omega_C$	Корень уравнения $f_{12}(\gamma_{012}) = \sqrt{\dfrac{1+K^2}{2\pi}} \exp\left(-\dfrac{\gamma_{0K}^2}{2}\right)$ (25)
4	Ветровая + снеговая $\omega_B >> \omega_C$	Корень уравнения $f_{12}(\gamma_{012}) = K_{tr} \cdot \sqrt{2\pi(1+K^2)} \exp\left\{-\left[\delta + \left[(\gamma_{0B}V+1)\Gamma\right]^{\beta}\right]\right\}$ (26)
5	Крановая + нормальный ССП $\omega_K >> \omega_H$	$\gamma_{012} = \sqrt{\gamma_{01K} - \ln(1+K^2)}$ (27)
Обозначения: γ_{0K}, γ_{0B} – характеристические максимумы соответственно крановой и ветровой нагрузок; γ_{012} – то же - сочетания нагрузок		

максимум γ_0. На основе выражения (10) получено уравнение (18) (табл.2) для определения характеристического максимума γ_{012} сочетания 2-х случайных процессов с произвольными распределениями ординат. Отметим, что при этом характеристические максимумы отдельных процессов и их сочетания соответствуют одному сроку t . Для сочетания нормальных случайных процессов после сокращений получается формула (19), непосредственно определяющая характеристический максимум сочетания максимумов по характеристическим максимумам отдельных процессов. Для определения характеристического максимума сочетания крановой (нормальный закон) и ветровой (закон Вейбулла) нагрузок предлагается уравнение (20), где K_{tr0} и δ_0 – коэффициент тренда и числовой параметр для выбранного срока t. Для сочетания крановой (нормальный закон) и снеговой (полиномо-экспоненциальный закон) нагрузок выведено уравнение (21), для сочетания ветровой (закон Вейбулла) и снеговой (полиномо-экспоненциальный закон) нагрузок – уравнение (22). Если, как для рассматриваемых нами нагрузок, частота одной из них доминирует над другой, то формулы для определения γ_{012} упрощаются, они сведены в табл.3. Приведенные соотношения позволяют решать задачу сочетания абсолютных максимумов случайных процессов, пользуясь соответствующими параметрами – характеристическими максимумами γ_{0i} отдельных нагрузок.

3. Схема независимых испытаний. Параметры схемы независимых испытаний зависят от уровня , что создает сложности при переходе к учету нескольких нагрузок. Для преодоления этих трудностей введем "*эффективную интенсивность нагрузки*" λ_μ, которую определим как частное от деления временной интенсивности нагрузки $\lambda(\gamma, t_\lambda)$ на интенсивность распределения нагрузки $\mu(\gamma) = f(\gamma)/[1 - F(\gamma)]$:

$$\lambda_\mu = \lambda(\gamma, t_\lambda)/\mu(\gamma), \qquad (27)$$

где t_λ – интервал времени, за который учитывается $\lambda(\gamma, t_\lambda)$.

Определенная таким образом эффективная интенсивность не зависит от уровня и характеризует частотный состав случайных последовательностей независимых нагрузок. Для общего числа независимых испытаний получается $n_H = \mu(\gamma)\lambda_\mu T$, а для вероятности превышения уровня γ за время T в рамках схемы независимых испытаний имеем $Q(T) = \lambda_\mu T f(\gamma)$. Это соотношение показывает, что эффективную интенсивность можно трактовать как интенсивность условной схемы независимых испытаний, при которой используется не вероятность $Q(\gamma)$, а плотность распределения $f(\gamma)$. Такую трактовку, как иллюстративную, приводит В.В. Болотин в своем решении задачи о сочетании нагрузок в технике случайных процессов [1]. Для суммы 2-х случайных последовательностей нагрузок получаем эффективную интенсивность сочетания (12) (табл.1), при преобладании частоты одной из нагрузок формула упрощается (13).

4. Дискретное представление нагрузок. По аналогии со схемой независимых испытаний определим "*эффективную среднюю длительность перегрузки*" $\overline{\Delta}_\mu = \overline{\Delta}(\gamma)\mu(\gamma)$. Мы вводим, таким образом, не зависящий от уровня частотный параметр нагрузки, представленный в дискретной форме. Для суммы 2-х дискретных нагрузок получаем, введя коэффициенты тренда, эффективную среднюю длительность сочетания нагрузок $\overline{\Delta}_{\mu 12}$ (16) (табл.1). При значительной разнице средних длительностей сочетаемых нагрузок формула упрощается (17).

5. Сочетание экстремумов. Рассмотрим сочетание нагрузок, каждая из которых описана распределением Гумбеля I типа для экстремумов (6). Учитывая принципиальную общность экстремального подхода со схемой независимых испытаний, введем по аналогии с λ_μ "*эффективный объем экстремальной выборки*" $n_\alpha = n_э / \alpha_n$, где $n_э$ – объем экстремальной выборки (натуральный); α_n – экстремальная интенсивность. Новая частотная характеристика непосредственно связана с характеристическим экстремумом u_n:

$$f(u_n) = n_\alpha^{-1} . \qquad (28)$$

С учетом частотной общности экстремумов со случайными процессами и схемой независимых испытаний, используем для сочетания экстремумов подход, аналогичный (10) и (12), на основании которого получаем формулы (14) и (15) (табл.1). В указанных формулах не фигурируют коэффициенты тренда, так как они учитываются при подборе объема выборки для каждой нагрузки.

Возможен другой подход в данном вопросе, если имеются соответствующие данные, при котором нагрузки представляются в виде случайных процессов и в этой же технике складываются, после чего для их суммы подбирается распределение Гумбеля. В этом случае частотная характеристика суммы случайных процессов вычисляется по (10). С полученным распределением Гумбеля затем производится экстраполяция и другие необходимые операции. Такой подход может оказаться более простым, если суммарное воздействие нагрузок должно быть преобразовано для оценки надежности элементов или систем.

Оценка надежности конструкций

С учетом изложенных соображений задача оценки надежности элемента при действии сочетания случайных нагрузок состоит, по существу, в оценке вероятности превышения (выброса) суммарным силовым воздействием постоянного или случайного уровня прочности элемента. Рассмотрим последовательность решения данной задачи для разных вероятностных моделей нагрузок.

*1. Нагрузки, представленные случайными процессами***.** Оценка надежности включает решение следующих вопросов.

А. Определение эффективной частоты для взвешенной суммы нагрузок или функции работоспособности (резерва несущей способности) элемента. Для квазистационарных нагрузок применяется общая формула (10) или более простое выражение (11), использующее имеющиеся коэффициенты тренда атмосферных нагрузок [3]. В необходимых случаях должен учитываться коэффициент широкополосности суммарного случайного процесса [16].

Б. Аналитическое или численное построение суммарного распределения суммы нагрузок или резерва несущей способности, согласно общим формулам (8) и (9) или конкретным рекомендациям, приведенным в публикациях автора [15].

В. При поверочном расчете - получение оценки надежности в форме вероятности отказа элемента по числу выбросов квазистационарных процессов суммы нагрузок за постоянный или случайный уровень или по числу выбросов резерва несущей способности за нулевой нормированный уровень по формулам (2), (3).

Г. При подборе сечений, уточнении коэффициентов надежности и сочетаний – численная итерационная процедура на базе равенства вероятности отказа элемента нормативному значению или критерию равнонадежности элементов при действии одной нагрузки и сочетания нагрузок.

2. Абсолютные максимумы случайных процессов. Оценка надежности для случая сочетаний максимумов нагрузок включает следующие этапы.

А. Вычисление характеристических максимумов каждой из нагрузок.

Б. Построение композиции распределений сочетаемых нагрузок согласно (8), (9) и рекомендациям [15].

В. Вычисление характеристического максимума γ_{012} суммы нагрузок по формулам табл.2 или 3.

Г. Построение распределения абсолютных максимумов суммарного случайного процесса путем дифференцирования интегральной функции $F_{12}(\gamma)$ при $\gamma \geq \gamma_{012}$ или путем композиции взвешенных исходных распределений нагрузок. Задача упрощается аппроксимацией распределений максимумов простыми аналитическими законами.

Д. Выполнение необходимых вероятностных операций на основе общего соотношения (4).

Дальнейшее развитие концепция абсолютных максимумов получила в работах [17,18].

3. Схема независимых испытаний. Если нагрузки или функция работоспособности представлены последовательностью случайных событий (испытаний), задача оценки надежности элементов решается следующим образом.

А. Определение эффективных интенсивностей нагрузок.

Б. Вычисление суммарной эффективной интенсивности сочетания нагрузок по формулам (12) или (13).

В. Построение распределения суммы нагрузок или функции $Y(\gamma)$ в соответствии с (8) и (9) или рекомендациями [15]. Специфика излагаемого подхода заключается в том, что дополнительно должны быть получены интегральная функция и интенсивность $\mu(\gamma)$ распределения.

Г. Определение вероятности отказа элемента по формуле (5).

4. Дискретное представление нагрузок. Оценка надежности элементов для сочетания нагрузок, представленных последовательностью перегрузок случайной длительности, состоит из решения следующих вопросов.

А. Определение эффективных средних длительностей сочетае-мых перегрузок $\overline{\Delta}_{\mu i}$.

Б. Вычисление аналогичной частотной характеристики суммы нагрузок по формулам (16) или (17).

Г. Вычисление вероятности отказа элемента за промежуток времени t по общей формуле (7).

5. Экстремальная модель. Если сочетаемые нагрузки представлены экстремумами из выборок объемами $n_{э1}$ и $n_{э2}$ за одинаковый промежуток времени, то задача сочетаний складывается из решения следующих вопросов.

А. Вычисление эффективных объемов экстремальных выборок $n_{\alpha i}$.

Б. Вычисление эффективного объема экстремальной выборки суммарной нагрузки по (14) или (15).

В. Построение композиции взвешенных распределений Гумбеля I типа численным методом или с помощью линейной комбинации данных распределений.

Г. Вычисление для суммы нагрузок характеристического экстремума как корня уравнения (28), объема экстремальной выборки $n_э$ и экстремальной интенсивности α_n – по следующим формулам

$$n_э^{-1} = 1 - F(u_n); \qquad \alpha_n = n_э f(u_n). \quad (29)$$

Д. Экстраполяция полученного экстремального распределения и любые другие вероятностные операции.

Заключение

Разработанная процедура вероятностного расчета позволила оценить надежность широкого круга стальных конструкций [3] и уточнить ряд расчетных коэффициентов норм проектирования, она перспективна для дальнейших исследований в области надежности зданий и сооружений.

Литература

1. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. –М.: Стройиздат, 1982. – 351с.
2. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность.–М.: Стройиздат, 1978.–239с.
3. Пичугин С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий: Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Киев: КГТУСА, 1994. – 32с.
4. Пичугин С.Ф. Оценки надежности стальных элементов, полученные в различной вероятностной технике // Реконструкция и совершенствование несущих элементов зданий и сооружений транспорта – Сб. научн. тр. под ред. В.С.Казарновского. – СГАПС, Новосибирск,1995. – С.22-26.
5. Пичугин С.Ф. Методика расчета надежности конструкций с учетом фактора времени // Современные проблемы совершенствования и развития металлических, деревянных и пластмассовых конструкций: Матер. Междунар. научно-техн. конфер. – СамГАСА, Самара, 1996. – С.72-73.
6. Пичугин С.Ф. Развитие расчета надежности – важное направление совершенствования металлоконструкций // Теория и практика металлических конструкций: Междунар. конфер. – Сб. трудов. Т.2. – Донецк-Макеевка, 1997. – С.3-6.
7. Пічугін С.Ф. Надійність технічних систем: Навч. посібник, – Полтава, ПДТУ, 2000.– 156 с.
8. Пичугин С.Ф. Вероятностный анализ ветровой загрузки // Известия вузов. Строительство – №12.– 1997. – С.13-20.
9. Pichugin S. Probabilistic analysis on wind load and reliability of structures//Proceedings of the 2 EACWE. –Vol.2.–Genova, Italy–1997.–P.1883 –1890.
10. Пичугин С.Ф., Махинько А.В. Ветровая нагрузка на строительные конструкции. – Полтава: АСМІ, 2005. – 342с.
11. Пичугин С.Ф. Вероятностные модели снеговой нагрузки // Технічна метеорологія Карпат : Матер. першої Міжнародної науково-техн. конф.-ТМК-98. – Львів: «Окскарт», 1998. – С.79-84.
12. Pichugin S. Probabilistic description of ground snow loads for Ukraine // Snow Engineering. Recent Advanced and Developments. – Rotterdam: A.A.Balkema, 2000. – P.251-256.
13. Пичугин С.Ф. Крановые нагрузки // В кн. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф.; Под общей ред. А.В.Перельмутера. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – С.63-119.
14. Пичугин С.Ф. Вероятностное представление нагрузок, действующих на строительные конструкции // Известия вузов. Строительство – №4.– 1995. – С.12-18.
15. Пичугин С.Ф. Вероятностный расчет стальных элементов на совместное действие нагрузок // Известия вузов. Строительство – №5,6. – 1995. –С.23-29.
16. Пічугін С.Ф., Северин В.О. Питання частотного аналізу випадкових навантажень на будівельні конструкції // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полт. держ. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Вип..6. Частина 2.– Полтава: ПДТУ, 2000. – С.64-67.
17. Пичугин С.Ф., Махинько А.В. Некоторые вопросы расчета надежности металлоконструкций // Металеві конструкції. – Том.11 - №3 – 2006. – С.187-196.
18. Пічугін С.Ф., Махінько А.В., Махінько Н.О. Рекомендації із розрахунку надійності сталевих елементів конструкцій на дію снігового та вітрового навантажень – Полтава: АСМІ. 2007. – 115с.

Пічугін Сергій Федорович працює завідувачем кафедри «Конструкції з металу, дерева та пластмас» Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Наукові інтереси: розвиток загальної методики оцінки надійності елементів будівельних конструкцій і статично невизначених систем. Опис випадкових навантажень у різній імовірнісній техниці. Розв'язання задачі сполучення навантажень. Оцінка технічного стану і проектування металевих конструкцій. Участь у розробці будівельних норм проектування.

Пичугин Сергей Фёдорович работает заведующим кафедрой «Конструкции из металла, дерева и пластмасс» Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Научные интересы: развитие общей методики оценки надёжности элементов строительных конструкций и статически неопределимых систем. Описание случайных нагрузок в различной вероятностной технике. Решение задачи сочетаний нагрузок. Оценка технического состояния и проектирование металлических конструкций. Участие в разработке строительных норм проектирования.

Pichugin Sergy Fedorovich is head of Department of Metal and Wooden Structures at Poltava National Technical Yuri Kondratyk University. Scientific interests: development of general technique of reliability estimation of elements of building structures and statically indefinable systems. The description of stochastic loads in various probabilistic technics. The decision of loads combination problem. The estimation of a technical condition of metal structures and designing of metal structures. Participation in development of Building Codes.