

ЛІТЕРАТУРА

1. Григоровський П.Є., Чуканова Н.П. Вибір раціональних методів моніторингу технічного стану будівельних конструкцій.
2. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения: Пер. с англ./Под ред. И.Ф.Шахнова.- М.: Радио и связь, 1981. — 560 с.
3. Григоровський П.Є., Чуканова Н.П. Методика експертної оцінки ступеня впливу конструктивних елементів будівель на їх технічний стан при виборі варіанту моніторингу. // Будівельне виробництво. К.: НДІБВ, 2012. — №53.
4. Литвак Б.Г. Экспертная оценка и принятие решений. — М.: Патент, 1996. — 271 с.

АННОТАЦІЯ

В статье сделана попытка выбора системы мониторинга технического состояния фундамента здания с учетом точности измерения, стоимости процесса измерения и срока получения результата измерения (своевременности получения результата). Для анализа рациональности выбора системы мониторинга используются функции полезности для точности выполнения измерений, стоимости выполнения работ и своевременности получения результатов мониторинга. В статье сделан вывод, что функции полезности позволяют более рационально выбирать систему мониторинга чем это позволяют методы экспертной оценки.

Ключевые слова: дефекты фундамента, критерии методов мониторинга, метод мониторинга, мера полезности альтернативы, функция полезности.

ANNOTATION

In the article the done attempt of choice of the system of monitoring of the technical state of building foundation is taking into account exactness of measuring, cost of process of measuring and term of receipt of measuring (to the timeliness of receipt of result) result. For the analysis of rationality elections of the monitoring system are used to the function of utility for exactness of implementation of measuring, cost of implementation of works from monitoring and timeliness of receipt of monitoring results. In the article drawn conclusion, that the functions of utility allow more rationally to choose the monitoring systems.

Keywords: defects of foundation, criteria of monitoring methods, monitoring method, measure of utility of alternative, function of utility.

УДК 624.014

**В.П. Чичулін, к.т.н., доцент,
К.В. Чичуліна, к.т.н.,
ПНТУ ім. Ю. Кондратюка, м. Полтава.**

МЕЖА ЗАСТОСУВАННЯ ФОРМУЛИ ВИЗНАЧЕННЯ ІМОВІРНОСТІ ВІДМОВИ ОБ'ЄКТА З УРАХУВАННЯМ ПАРАМЕТРА ЧАСУ

АНОТАЦІЯ

Вирішується питання щодо визначення межі допустимих співвідношень навантаження і міцності для отримання імовірності відмови з урахуванням параметра часу роботи об'єкта.

Ключові слова: імовірність відмови, параметр часу, характеристика безпеки.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку імовірнісних методів розрахунку будівельних об'єктів існує потреба при визначенні їх надійності врахування різних чинників, що впливають на їх роботу: врахування частоти виникнення граничних навантажень, поведінки конструкцій у часі з урахуванням ступеня завантаження.

Аналіз останніх досліджень. Протягом багатьох років науковці різних країн займаються дослідженнями, пов'язаними з теорією надійності будівельних конструкцій. Головною причиною її появи вважають потребу в практиці, що являє собою закономірний та історично необхідний процес. Зокрема, проблемою вдосконалення імовірнісних методів розрахунку будівельних конструкцій займався в свій час О.Р. Ржаніцин [1]. На новий рівень підняли теорію надійності та метод розрахунку за граничними станами широко відомі роботи В.В. Болотіна [2], в яких підкреслюється велика значимість теорії надійності в проектуванні та розрахунках будівельних конструкцій. В його роботах розвинуті у спеціальний розділ будівельної механіки — статистичну динаміку — імовірнісний розрахунок конструкцій з врахуванням фактора часу. Під його керівництвом розроблено та впроваджено у 1990 році ГОСТ 27.002-89 "Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения", який дає методологічні основи єдиного підходу до питань надійності в різних областях техніки, зокрема, у будівництві.

Наукові роботи С.Ф. Пічугіна [3] присвячені розробці методів розрахунку металевих конструкцій за критерієм несучої здатності.

Розвиток існуючих основ теорії надійності та імовірнісного розрахунку конкретних конструкцій, врахування особливостей різноманітних впливів на ці конструкції пов'язані з такими іменами, як С.Ф. Пічугін, А.В. Перельмутер, В.Д. Райзер, В.А. Пашинський та інші [3, 4, 5, 6].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Уточнення частотних характеристик та ступеня навантаження будівельних об'єктів є актуальною проблемою, яка потребує вирішення при отриманні їх імовірнісних характеристик. Існує необхідність визначення меж застосування формули визначення імовірності відмови об'єкта з урахуванням параметра часу.

Формулювання мети статті. На підставі відомих формул для отримання імовірності відмови з урахуванням часу головною метою є визначення межі рівня завантаження будівельних конструкцій та врахування параметрів ефективної частоти випадкових процесів завантаження елементів будівлі.

Виклад основного матеріалу. Мірою надійності виступає імовірність безвідмовної роботи за заданий строк служби. Імовірнісний підхід обумовлений тим, що усі міцнісні, геометричні й деформаційні характеристики конструкцій, а також усі навантаження та впливи на неї виявляються випадковими величинами або випадковими процесами.

В [1] надійність елемента конструкції характеризується терміном "характеристика безпеки". Метод визначення надійності описує імовірність відмови. Якщо припустити, що криві розподілу навантажень і несучої здатності підпорядковуються нормальному закону (рис. 1, а), то загальну умову безвідмовної роботи можна записати в такому вигляді:

$$Y = R - S \geq 0, \quad (1)$$

де R — розрахунковий параметр несучої здатності;

S — розрахунковий параметр навантаження.

Треба зауважити, що при нормальних розподіленнях і розподілення їх різниці буде нормальним.

Метод визначення надійності (імовірності того, що резерв міцності буде додатнім) включає наступні кроки:

– першими визначаються математичні очікування та стандарти випадкових величин зусиль

$(\bar{S}, \hat{S})$, що виникають у елементі конструкції;

– наступним етапом знаходимо відповідні характеристики несучої здатності $(\bar{R}, \hat{R})$;

– визначається резерв міцності (Y) ;

– знаходимо математичне очікування $(\bar{Y})$ та стандарт резерву міцності $(\hat{Y})$:

$$\bar{Y} = \bar{R} - \bar{S}, \quad (2)$$

$$\hat{Y} = \sqrt{\hat{R}^2 + \hat{S}^2}; \quad (3)$$

– визначимо кількість стандартів, на величину яких середнє значення розподілу Y відрізняється від значення $Y=0$, тобто знаходимо "характеристику безпеки":

$$\beta = \frac{\bar{Y}}{\hat{Y}} = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\hat{R}^2 + \hat{S}^2}}; \quad (4)$$

– останнім кроком є визначення імовірності відмови при нормальному розподілі несучої здатності та навантажень:

$$Q = \int_{-\infty}^0 p(Y) dY = 0,5 - \Phi(\beta_y), \quad (5)$$

де $p(Y)$ — щільність розподілення резерву міцності;

$\Phi(\beta_y)$ — функція Лапласа.

Загальна умова безвідмовної роботи, але вже з урахуванням фактора часу виглядає таким чином:

$$\tilde{Y}(t) = \tilde{R}(t) - \tilde{S}(t) > 0, \quad (6)$$

де $\tilde{R}(t)$ — несуча здатність конструкції, яка відповідає граничному стану за міцністю;

$\tilde{S}(t)$ — найбільше значення зусилля (напруження) в конструкції, яке визначається через зовнішнє навантаження;

$\tilde{Y}(t)$ — резерв міцності (резерв несучої здатності).

Новий етап в теорії надійності [2] дає точніше формулювання поняття міри надійності в застосуванні до будівельних конструкцій. В такому підході знаходження надійності розподіли є довільними. Випадкові процеси руйнування конструкції обумовлюють виникнення змін її внутрішніх властивостей, які погіршуються з часом.

В загальному вигляді функцію резерву несучої здатності, яка залежить в першу чергу від часового параметра, можна представити наступним чином:

$$\tilde{Y} = Y(t; \tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \dots, \tilde{X}_n). \quad (7)$$

Якщо розглядати визначення надійності в техніці випадкових величин за умови безвідмовності

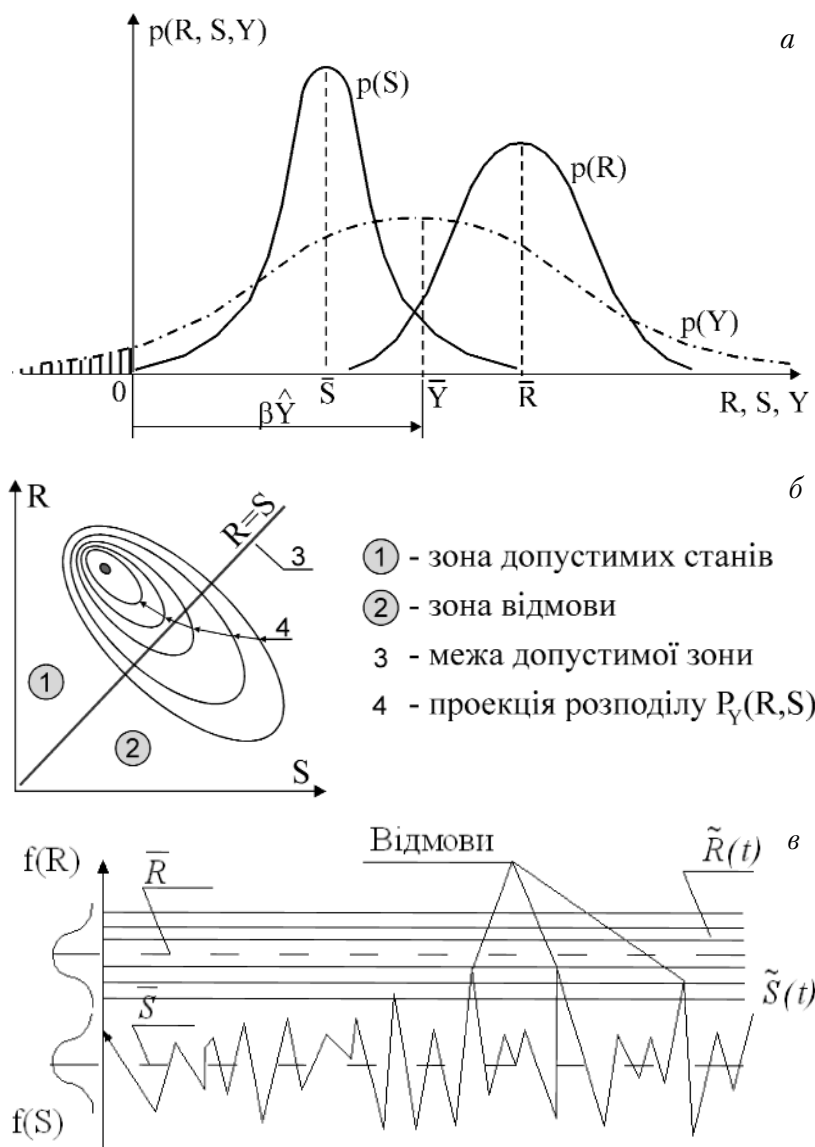


Рис.1. Визначення ймовірності відмови будівельних конструкцій: а – за О.Р. Ржанициним; б – оцінювання надійності у техніці випадкових величин; в – відмови елемента при навантаженні у формі випадкового процесу

елемента (6), можна спочатку розглядати ці параметри без обліку часу. Таке уявлення доречно при дії навантажень, мало змінних у часі (постійних і деяких технологічних) або тих, що мають одноразовий характер.

Зону допустимих станів складає множина, для кожного елемента котрої виконується наведена нерівність: $\Omega = \{Y : y = (r - s) \geq 0\}$.

У координатах $R=S$ область має трикутну форму та розташовується вище прямої $R=S$ (рис.1, б).

У даному випадку імовірність безвідмовної роботи дорівнює:

$$P = \int_{\Omega} f(Y) dY. \quad (8)$$

В [4] відмовою елемента вважається перехід резерву несучої здатності до від'ємної області. Необхідно відмітити, що кількість викидів випадкового процесу $\tilde{Y}(t)$ до від'ємної області дає оцінку ймовірності відмови (рис.1, в), яку було представлено в такому вигляді:

$$Q(t) = \frac{\omega_g \cdot f_y(\beta) \cdot t}{\beta_{\omega} \cdot \sqrt{2\pi}}, \quad (9)$$

де ω_g – ефективна частота розподілення ординати випадкового процесу $\tilde{Y}(t)$;

$f_y(\beta)$ – щільність розподілення ординати випадкового процесу $\tilde{Y}(t)$;

β_{ω} – коефіцієнт широкосмуговості випадкового процесу $\tilde{Y}(t)$;

t – наробіток елемента $\tilde{Y}(t)$.

Коефіцієнт широкосмуговості випадкового процесу $\tilde{Y}(t)$, який враховує спектр частот реальних навантажень, можна записати у наступному вигляді:

$$\beta_{\omega} = \frac{\beta_i \sqrt{1+k^2}}{k}, \quad (10)$$

де $k = \frac{\hat{S}}{\bar{R}}$ – співвідношення стандартів;

β_i – коефіцієнт широкосмуговості випадкового процесу навантаження.

У випадку, коли навантаження та міцність відповідають нормальному закону розподілення, ймовірність відмови визначається за спрощеною формулою, яка набуває такого вигляду:

$$Q(t) = \omega_g \cdot t \frac{\exp(-0,5\beta^2)}{2\pi \cdot \beta_{\omega}}. \quad (11)$$

Для того, щоб визначити зону допустимих станів з урахуванням часу роботи, розрахуємо параметри, що характеризують надійність об'єкта.

Ефективна частота для нормального стаціонарного випадкового процесу:

$\omega_k = 71$ один/год. для режимів роботи крана 4К-6К (візьмемо цей випадок як найпоширеніший);

$\bar{\sigma} = 1$; $V_{\sigma} = 0,1$ – числові характеристики межі міцності сталі (межа міцності задається відносно 1).

$\bar{a} = \bar{\sigma} \cdot a$; $V_a = 0,2$ – числові характеристики навантаження.

a — відношення математичного очікування навантаження до математичного очікування міцності (величина задається).

Наступним кроком визначимо характеристики резерву несучої здатності:

- математичне очікування несучої здатності $R=1$;
- стандарт несучої здатності $\hat{R}=0,1 \cdot 1=0,1$;
- математичне очікування навантаження $\bar{S} = \bar{R} \cdot a = a$;
- стандарт навантаження $\hat{S}=0,2 \cdot a$;
- математичне очікування резерву міцності $\bar{Y}=1-a$;
- стандарт резерву міцності $\hat{Y} = \sqrt{0,1^2 + (0,2a)^2}$;

- характеристика безпеки $\beta = \frac{1-a}{\sqrt{0,1^2 + (0,2a)^2}}$;

Для того, щоб розрахувати імовірність відмови з урахуванням параметра часу, визначимо:

а) ефективну частоту ВП (випадкового процесу) резерву несучої здатності $\tilde{Y}(t)$:

$$\omega_q = \frac{\omega_k \cdot \hat{S}}{\hat{Y}} = \frac{71 \cdot 0,2a}{\sqrt{0,1^2 + (0,2a)^2}} = \frac{14,2a}{\sqrt{0,1^2 + (0,2a)^2}} \text{ (один./год.)};$$

б) коефіцієнт ширококутності (10):

$$\beta_{ss} = \frac{3 \cdot \sqrt{1+4a^2}}{2a}$$

$$\text{де } k = \frac{\hat{S}}{\hat{R}} = \frac{0,2a}{0,1} = 2a ;$$

3 — коефіцієнт ширококутності навантаження.

в) імовірність відмови за термін роботи t (задається від 0 до 50 років) (9):

$$Q(t) = \frac{14,2a}{\sqrt{0,1^2 + (0,2a)^2}} \cdot e^{\left(-0,5 \left(\frac{1-a}{\sqrt{0,1^2 + (0,2a)^2}}\right)^2\right)} \cdot (роки) \cdot 8 \cdot 3 \cdot 365$$

$$2 \cdot 3 \cdot 14 \cdot \frac{3 \cdot \sqrt{1+4a^2}}{2a}$$

Якщо проаналізувати отримані чисельні значення імовірностей відмови з урахуванням параметра часу (рис. 2) та (табл.1) можна відмітити, що зона допустимих станів з урахуванням часу роботи обмежується співвідношенням математичних очікувань навантаження і міцності 0,4 і менше та характеристикою безпеки 4,6 і більше. Врахування часу для будівельних конструкцій з великим терміном експлуатації обмежує значення характе-

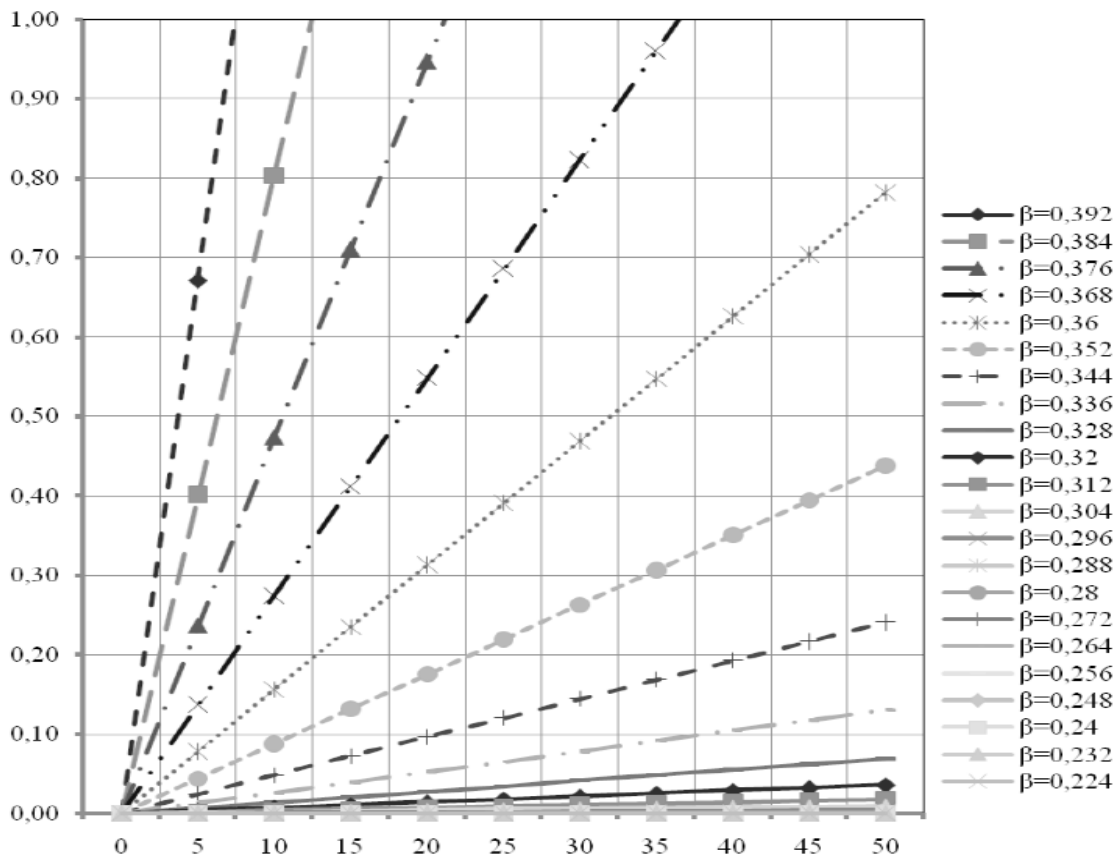


Рис. 2. Графік залежностей імовірності відмови від років експлуатації конструкції

Таблиця 1. Визначення імовірнісних характеристик об'єкта з урахуванням параметра часу

а	β	Роки експлуатації										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0,4	4,69	0	1,102E+00	2,204E+00	3,306E+00	4,408E+00	5,510E+00	6,613E+00	7,715E+00	8,817E+00	9,919E+00	1,102E+01
0,392	4,78	0	6,709E-01	1,342E+00	2,013E+00	2,684E+00	3,354E+00	4,025E+00	4,696E+00	5,367E+00	6,038E+00	6,709E+00
0,384	4,89	0	4,019E-01	8,037E-01	1,206E+00	1,607E+00	2,009E+00	2,411E+00	2,813E+00	3,215E+00	3,617E+00	4,019E+00
0,376	4,99	0	2,368E-01	4,736E-01	7,104E-01	9,472E-01	1,184E+00	1,421E+00	1,658E+00	1,894E+00	2,131E+00	2,368E+00
0,368	5,09	0	1,372E-01	2,744E-01	4,117E-01	5,489E-01	6,861E-01	8,233E-01	9,605E-01	1,098E+00	1,235E+00	1,372E+00
0,36	5,19	0	7,818E-02	1,564E-01	2,345E-01	3,127E-01	3,909E-01	4,691E-01	5,473E-01	6,254E-01	7,036E-01	7,818E-01
0,352	5,30	0	4,378E-02	8,757E-02	1,313E-01	1,751E-01	2,189E-01	2,627E-01	3,065E-01	3,503E-01	3,940E-01	4,378E-01
0,344	5,40	0	2,410E-02	4,819E-02	7,229E-02	9,638E-02	1,205E-01	1,446E-01	1,687E-01	1,928E-01	2,169E-01	2,410E-01
0,336	5,51	0	1,303E-02	2,606E-02	3,909E-02	5,212E-02	6,515E-02	7,817E-02	9,120E-02	1,042E-01	1,173E-01	1,303E-01
0,328	5,62	0	6,921E-03	1,384E-02	2,076E-02	2,768E-02	3,460E-02	4,152E-02	4,844E-02	5,537E-02	6,229E-02	6,921E-02
0,32	5,73	0	3,611E-03	7,221E-03	1,083E-02	1,444E-02	1,805E-02	2,166E-02	2,527E-02	2,888E-02	3,249E-02	3,611E-02
0,312	5,84	0	1,850E-03	3,700E-03	5,549E-03	7,399E-03	9,249E-03	1,110E-02	1,295E-02	1,480E-02	1,665E-02	1,850E-02
0,304	5,95	0	9,306E-04	1,861E-03	2,792E-03	3,722E-03	4,653E-03	5,584E-03	6,514E-03	7,445E-03	8,375E-03	9,306E-03
0,296	6,06	0	4,597E-04	9,194E-04	1,379E-03	1,839E-03	2,298E-03	2,758E-03	3,218E-03	3,677E-03	4,137E-03	4,597E-03
0,288	6,17	0	2,229E-04	4,459E-04	6,688E-04	8,917E-04	1,115E-03	1,338E-03	1,561E-03	1,783E-03	2,006E-03	2,229E-03
0,28	6,28	0	1,062E-04	2,123E-04	3,185E-04	4,246E-04	5,308E-04	6,369E-04	7,431E-04	8,492E-04	9,554E-04	1,062E-03
0,272	6,39	0	4,963E-05	9,925E-05	1,489E-04	1,985E-04	2,481E-04	2,978E-04	3,474E-04	3,970E-04	4,466E-04	4,963E-04
0,264	6,51	0	2,278E-05	4,556E-05	6,835E-05	9,113E-05	1,139E-04	1,367E-04	1,595E-04	1,823E-04	2,050E-04	2,278E-04
0,256	6,62	0	1,027E-05	2,054E-05	3,081E-05	4,108E-05	5,135E-05	6,162E-05	7,189E-05	8,216E-05	9,243E-05	1,027E-04
0,248	6,74	0	4,547E-06	9,094E-06	1,364E-05	1,819E-05	2,274E-05	2,728E-05	3,183E-05	3,638E-05	4,092E-05	4,547E-05
0,24	6,85	0	1,978E-06	3,956E-06	5,934E-06	7,912E-06	9,890E-06	1,187E-05	1,385E-05	1,582E-05	1,780E-05	1,978E-05
0,232	6,97	0	8,454E-07	1,691E-06	2,536E-06	3,381E-06	4,227E-06	5,072E-06	5,918E-06	6,763E-06	7,608E-06	8,454E-06
0,224	7,08	0	3,551E-07	7,102E-07	1,065E-06	1,420E-06	1,775E-06	2,131E-06	2,486E-06	2,841E-06	3,196E-06	3,551E-06

ристик безпеки за нижньою межею близько 5 років (рис.2).

Висновки. Зона допустимих станів з урахуванням часу роботи обмежується співвідношенням математичних очікувань навантаження та міцності 0,4 і менше, а також характеристикою безпеки 4,6 і більше.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А.Р. Ржаницын. — М.: Стройиздат, 1978. — 239 с.
2. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В.В. Болотин. — М. Стройиздат, 1982. — 352 с.
3. Пичугин С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий : автореф. дис. на соискание уч. степени доктора техн. наук : 05.23.01 "Строительные конструкции, здания и сооружения" / С.Ф. Пичугин. — К., 1994. — 32с.
4. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. / А.В. Перельмутер. — 2-е изд., перераб. и доп. К.: УкрНИИПроектстальконструкция, 2000. — 216 с.

5. Райзер В.Д. Теория надежности сооружений / В.Д. Райзер. — М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. — 384 с.

6. Пашинский В.А. Методология нормирования навантажень на будівельні конструкції : автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук : спец. 05.23.01 "Строительные конструкции, здания и сооружения" / В.А. Пашинский. — Полтава, 1999. — 33 с.

АННОТАЦІЯ

Решается вопрос определения границы допустимых соотношений нагрузки и прочности для получения вероятности отказа с учетом параметра времени работы объекта.

Ключевые слова: вероятность отказа, параметр времени, характеристика безопасности.

ANNOTATION

Question decides, in relation to the receipt of possible correlations of loading and durability are determined for the receipt of probability of refuse taking into account the parameter of burn-time object.

Keywords: probability of refuse, parameter of time, description of safety.