

Проведені дослідження з визначення показників надійності пожежної техніки методом статистичного моделювання дозволили зробити такі **висновки**:

1. Запропонований метод визначення показників надійності дозволяє визначати імовірність безвідмовної роботи та коефіцієнт готовності основної пожежної та аварійно-рятувальної техніки, яка використовується на відповідних технологічних операціях. Тому ці показники надійності необхідно враховувати при проведенні бойових дій з гасіння пожежі.

2. Основним показником надійності ремонтпридатної пожежної та аварійно-рятувальної техніки є коефіцієнт готовності, на значення якого впливає, в першу чергу, час, який витрачається на ліквідацію відмови (ремонт) та середнє напрацювання на відмову. Для пожежної та аварійно-рятувальної техніки значення коефіцієнта готовності коливається в межах від 0,87 до 0,88.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дзюба Л.Ф., Зима Ю.В., Лютій Є.М. *Основи надійності машин.* - Львів: Логос, 2002. - 204с.
2. *Надежность и эффективность в технике // Справочник в 10 т. Т.7 // Под редакцией И.В. Апполонова.* - М.: Машиностроение, 1989. - 280с.
3. *Пожежна техніка. Автомобілі гасіння ДСТУ 3286-95 (ГОСТ 26938-95)*
4. *Насоси пожежні відцентрові ДСТУ 3687-98*
5. Бут В.П., Л. Б. Куциций, Б.В. Болібрух, *Практичний посібник з пожежної тактики.* - Л.: СПОЛОМ, 2003. - 122с.
6. *Справочник руководителя тушения пожара/В.П. Иванников, П.П. Кюос* - М.: Стройиздат, 1987. - 110с.
7. Яковенко Ю.Ф., Кузнецов Ю.С. *Техническая диагностика пожарных автомобилей.* - М.: Стройиздат, 1989. с. 289
8. *Огляд стану організації пожежегасіння, пожежно-рятувальних робіт, застосування пожежної та спеціальної техніки пожежно-рятувальними підрозділами МНС України у 2005 році // Звіт відділу пожежегасіння і пожежно-рятувальних робіт Департаменту цивільного захисту населення і територій МНС України, 2006. - 31 с.*

УДК 621.01

*І.М.Ольховий, к.т.н., доцент, Л.Ф.Дзюба, к.т.н., доцент
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЙМОВІРНОСТІ НЕНАСТАННЯ ГРАНИЧНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЇ

Розглядається питання оцінки надійності осесиметричного циліндричного резервуара великої ємності, що знаходиться під дією внутрішнього тиску. Надійність конструкції ємності оцінюється за критерієм міцності величиною ймовірності ненастання граничного стану.

Актуальність задачі. Для уникнення техногенних катастроф та збереження довкілля конструкції резервуарів великої ємностей для зберігання рідин та посудин високого тиску, що використовуються в хімічній та нафтопереробній промисловості, повинні бути високо надійними. Зазвичай надійність за критерієм міцності таких конструкцій оцінюється за допомогою допустимих напружень або запасів міцності [1]. В першому випадку надійність вважається забезпеченою, якщо виконується умова міцності

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma], \quad (1)$$

де σ_{\max} – найбільше діюче напруження в матеріалі конструкції, $[\sigma]$ – допустиме напруження для матеріалу.

В другому випадку умова міцності для простих випадків навантаження записується у вигляді

$$n = \frac{\sigma_{\text{гран}}}{\sigma_{\max}} \geq [n], \quad (2)$$

де n – коефіцієнт умовного запасу міцності; $\sigma_{\text{гран}}$ – граничне напруження; $[n]$ – допустима величина коефіцієнта запасу міцності. Під $\sigma_{\text{гран}}$ у випадку змінних напружень розуміють границю витривалості, у випадку постійних напружень – границю міцності або границю довготривалої міцності. В складніших випадках (нестационарні режими навантаження) для визначення запасу міцності використовують умову сумування пошкоджень.

Умови міцності за допустимими напруженнями та запасом міцності зв'язані співвідношенням

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{гран}}}{n}. \quad (3)$$

Проте недоліком оцінки надійності конструкції за допустимими напруженнями і запасами міцності є детермінований характер умов міцності, коли не враховується неминуче розсіювання граничних і діючих напружень.

Більш точне уявлення про надійність за критерієм міцності можна отримати за ймовірністю ненастання граничного стану конструкції. Згідно з [2], граничний стан характеризує вихід конструкції за межі працездатності, коли її подальша експлуатація неприпустима або недоцільна. За критерій граничного стану приймемо рівність граничного і діючого напружень, коли значення коефіцієнта умовного запасу міцності є рівним одиниці.

Ймовірність ненастання граничного стану і нижній довірчий інтервал цієї ймовірності можна визначити методом статистичного моделювання [3]. Для проведення статистичного моделювання вважаємо, що граничні і діючі напруження змінюються за нормальним законом. Вибірку граничних напружень моделюємо за допомогою нормально розподілених випадкових чисел [3]. Випадкові значення $\sigma_{\text{гран}}$ визначаються за залежністю

$$\sigma_{\text{гран}} = \bar{\sigma}_{\text{гран}} + S_{\text{гран}} \cdot k_i, \quad (3)$$

де $\bar{\sigma}_{\text{гран}}$ - середнє значення граничного напруження, МПа; $S_{\text{гран}}$ - середнє квадратичне відхилення граничного напруження, МПа; k_i - нормально розподілені випадкові числа.

Аналогічно моделюється вибірка значень діючих максимальних напружень

$$\sigma_o = \bar{\sigma}_o + S_o \cdot k'_i, \quad (4)$$

де $\bar{\sigma}_o$ - середнє значення діючого максимального напруження, МПа; S_o - середнє квадратичне відхилення діючого напруження, МПа; k'_i - нормально розподілені випадкові числа.

Вибірку коефіцієнта умовного запасу міцності отримаємо як відношення граничного і діючого напруження

$$n = \frac{\sigma_{\text{гран}}}{\sigma_o}. \quad (5)$$

Якщо граничне і діюче напруження в залежності (5) розподілені за нормальним законом, то і коефіцієнт умовного запасу міцності теж буде розподілений за нормальним законом. Параметри нормального розподілу коефіцієнта умовного запасу міцності:

- середнє значення коефіцієнта запасу міцності

$$\bar{n} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N n_j, \quad (6)$$

де N – об'єм змодельованої вибірки,

- середнє квадратичне відхилення

$$S_n = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (n_j - \bar{n})^2}. \quad (7)$$

При нормальному законі розподілу коефіцієнта умовного запасу міцності ймовірність ненастання граничного стану визначається за залежністю

$$P = P\left(\frac{\bar{\sigma}_{\text{мц}}}{\bar{\sigma}_o} = \bar{n} > 1\right) = \frac{S_n}{\sqrt{2\pi}} \int_1^{\infty} \exp\left[-\frac{(n_j - \bar{n})^2}{2 \cdot S_n^2}\right] dn = 0,5 - \Phi(u), \quad (8)$$

де Φ – функція Лапласа, $u = \frac{1 - \bar{n}}{S_n}$ – квантіля нормального розподілу.

Враховуючи те, що функція Лапласа є непарною, вираз (8) можна записати у вигляді

$$P = P\left(\frac{\bar{\sigma}_{\text{мц}}}{\bar{\sigma}_o} = \bar{n} > 1\right) = 0,5 + \Phi\left(\frac{\bar{n} - 1}{S_n}\right). \quad (9)$$

Нижню довірчу границю ймовірності ненастання граничного стану можна вважати гамма-відсотковою ймовірністю при $\gamma = 95\%$ і визначити за залежністю

$$P_{\gamma=95} = 0,5 + \Phi\left(u - \frac{u_\gamma}{\sqrt{N}} \cdot \sqrt{1 + \frac{u^2}{2}}\right), \quad (10)$$

де $u_\gamma = 1,645$ – квантіля нормального розподілу, що відповідає значенню функції Лапласа $\Phi(u_\gamma) = 0,45$.

За наведеною методикою проведено розрахунок ймовірності ненастання граничного напруженого стану тонкостінного зварного резервуара для зберігання нафти. Розрахунковою моделлю при визначенні і дослідженні напружень є циліндрична осесиметрична оболонка з наступними параметрами [4]: радіус оболонки $R = 750 \text{ см}$, висота оболонки $h = 900 \text{ см}$, товщина стінки $\delta = 0,8 \text{ см}$, матеріал – сталь Ст3, середнє значення границі міцності $\sigma_{\text{мц}} = 425 \text{ МПа}$, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,3$. Резервуар, що опирається на днище, наповнений нафтою (питома вага нафти $\gamma = 0,76 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$). Розрахунки, наведені в [4], вказують на те, що у випадку дії лише гідравлічного тиску (внаслідок заповнення нафтою) біля днища резервуару виникають напруження: меридіональне $\sigma_m^q = 117 \text{ МПа}$, окружне $\sigma_\theta^q = 36 \text{ МПа}$. При одночасній дії гідравлічного тиску q і додаткового газового тиску $p = 1 \text{ атм}$, зв'язаного з невідрегульованістю або несправністю запобіжного клапана, напруження значно зростають і стають рівними $\sigma_m^{q+p} = 259 \text{ МПа}$, $\sigma_\theta^{q+p} = 80 \text{ МПа}$, $\sigma_r = 0 \text{ МПа}$. Оцінюючи міцність резервуара за третьою теорією міцності можна вважати, що діючі напруження становлять $\sigma_o = 259 \text{ МПа}$. Якщо прийняти, що розрахунок проведений з прийнятною для інженерних розрахунків десятивідсотковою (10%) точністю, то середньоквадратичне відхилення діючого напруження становить $S_o = 26 \text{ МПа}$. За граничне напруження приймемо границю міцності, яка для сталі Ст3 знаходиться в межах $\sigma_o = 380 - 470 \text{ МПа}$. За середнє значення границі міцності приймемо значення $\bar{\sigma}_{\text{гран}} = \bar{\sigma}_{\text{мц}} = 425 \text{ МПа}$, середнє квадратичне відхилення граничного напруження рівне $S_{\text{гран}} = S_{\text{мц}} = 15 \text{ МПа}$. Криві густини нормального розподілу діючого та граничного напруження наведені на рис. 1.

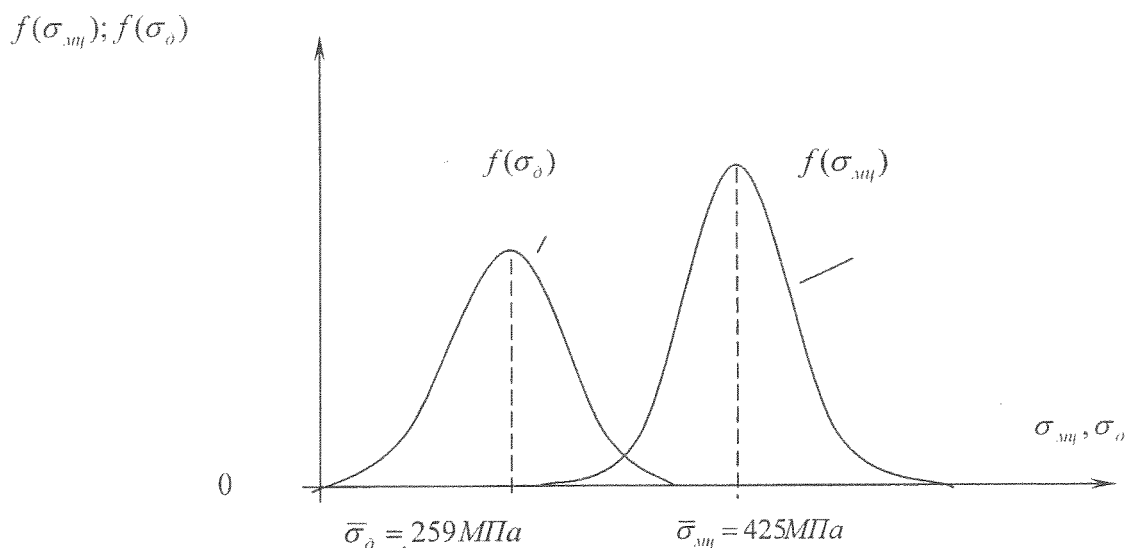


Рис. 1. Криві густини розподілу напружень

Для вибору випадкових нормально розподілених чисел використано таблиці [3]. Розраховані за залежностями (3)-(5) вибірки значень граничного і діючого напружень та умовного коефіцієнта запасу міцності наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення граничного, діючого напружень та умовного коефіцієнта запасу міцності

№ реалізації	σ_{mj} МПа	σ_{0j} МПа	n_j	№ реалізації	σ_{mj} МПа	σ_{0j} МПа	n_j
1	226	408	1,805	26	247	434	1,757
2	251	435	1,733	27	256	417	1,629
3	223	405	1,816	28	250	411	1,644
4	320	433	1,353	29	295	434	1,471
5	229	419	1,829	30	255	419	1,643
6	270	436	1,615	31	242	415	1,715
7	246	439	1,784	32	216	414	1,917
8	286	431	1,507	33	230	420	1,826
9	268	424	1,582	34	258	430	1,674
10	277	420	1,516	35	275	420	1,527
11	227	408	1,797	36	243	419	1,724
12	238	435	1,828	37	262	432	1,649
13	226	405	1,792	38	278	445	1,601
14	259	419	1,618	39	269	419	1,558
15	268	434	1,619	40	237	416	1,755
16	260	439	1,688	41	225	442	1,964
17	332	431	1,296	42	281	405	1,441
18	274	424	1,547	43	248	421	1,697
19	247	431	1,745	44	256	439	1,715
20	216	420	1,944	45	206	437	2,12
21	272	428	1,574	46	217	418	1,926
22	348	420	1,207	47	212	424	2
23	278	418	1,514	48	277	386	1,394
24	227	425	1,872	49	278	413	1,486
25	279	447	1,602	50	270	425	1,574

Середнє значення коефіцієнта запасу міцності, обчислене за залежністю (5), дорівнює $\bar{n} = 1,672$, середнє квадратичне відхилення, обчислене за залежністю (6), рівне $S_n = 0,185$. За цими параметрами розподілу коефіцієнта запасу міцності відповідно до (9) ймовірність того, що не настане граничний стан ємності, рівна

$$P = 0,5 + \Phi\left(\frac{1,672 - 1}{0,185}\right) = 0,5 + \Phi(3,622) = 0,99984.$$

Нижня границя оцінки цієї ймовірності відповідно до (10) рівна

$$P_{\gamma=95} = 0,5 + \Phi\left(3,622 - \frac{1,645}{\sqrt{50}} \cdot \sqrt{1 + \frac{3,622^2}{2}}\right) = 0,5 + \Phi(2,982) = 0,9986.$$

Висновки. Ймовірність ненастання граничного стану як характеристика міцнісної надійності більш точно відображає якісні особливості задачі надійності за критерієм міцності. Вона зростає при збільшенні запасу міцності і зменшенні розсіювання навантажень та граничних напружень матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет деталей машин на прочность. Справочник. - М.: Машиностроение, 1979. - 702 с.
2. Дзюба Л.Ф., Зима Ю.В., Лютый С.М. Основы надійності машин. - Львів: Логос, 2003. - 204с.
3. Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10 т. Т.7. Качество и надежность в производстве/Под ред. И.В. Апполонова. - М.: Машиностроение, 1989. - 280 с.
4. Ольховий І.М., Ліщинська Х.І. Про вплив краєвих сил і додаткового газового тиску на міцність тонкостінних циліндричних резервуарів великої ємності // Пожежна безпека: збірник наукових праць. - 2005. - №7.

Prof. dr hab. inż. Jerzy ORŁOWSKI, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Polska

Dr inż. Zenon DRABOWICZ, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Polska

Dr inż. Taras SZNAL, Politechnika Lwowska we Lwowie, Ukraina

Dr inż. Jerzy Pawluk, Lwowsky Państwowy Uniwersytet Bezpieczeństwa i Ochrony Ludność, Ukraina

ZABEZPIECZANIE KONSTRUKCJI METALOWYCH PRZED POŻAREM ZA POMOCĄ FARB PĘCZNIEJĄCYCH

Przedmiotem badań było zabezpieczenie konstrukcji metalowych, szczególnie aluminiowych przed pożarem za pomocą farb pęczniejących. Badano płyty aluminiowe stosowane w inżynierii lądowej. Elementy konstrukcyjnej wykonane były ze stopów aluminium AMg-62T. Badania wykonane były w komorach ogniowych zgodnych z wymaganiami ISO 834. Odporność pożarowa elementów aluminiowych była równa 1 godzinie. Zaproponowano sposób obliczania odporności ogniowej konstrukcji metalowych.

1. Zastosowanie konstrukcji metalowych w budownictwie.

Konstrukcje aluminiowe stosuje się coraz częściej w budownictwie ze względu na ich zalety, do których należą przede wszystkim mały ciężar oraz duża odporność na korozję. Odporność na korozję wielokrotnie przewyższa odporność stosowanych w budownictwie gatunków stali. Powszechnie stosowane są lekkie kształtowniki i blachy aluminiowe jako elementy konstrukcyjne ścian osłonowych i przekryć dachowych w obiektach użyteczności publicznej.