

УДК 69.059

А.Д. Єсипенко, к.т.н., с.н.с.

Науково-дослідний інститут будівельного виробництва Держбуду України

РОЗРОБЛЕННЯ НАУКОВИХ ОСНОВ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ Й БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬ, СПОРУД

Розглянуто наукові основи та організаційно-технологічне забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівель, споруд, а також теоретичні методи розрахунку потоку відмов у разі експлуатаційного зносу їх конструкцій, елементів і систем для розробки концепції й науково обґрунтованих методів попередження і поновлення відмов відповідно до нормативно-технічних вимог при мінімальних витратах ресурсів.

Актуальність проблеми. Надійність та безпечна експлуатація будівель, споруд та інженерних комунікацій, запобігання аваріям на них – це проблема, яка зараз, у перехідний період розвитку економіки у нашій країні, вкрай загострена.

Постанова Кабінету Міністрів України від 05.05.97 № 409 "Про забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж" передбачає широкий комплекс заходів для вирішення цієї актуальної проблеми [1].

Серед них – інвентаризація фактичного стану шляхом проведення обстежень технічного стану і паспортизації всіх існуючих об'єктів виробничого, житлово-цивільного та іншого призначення, інженерно-технічних споруд та інженерних мереж, незалежно від їх підпорядкування і форми власності. Цей захід повинен забезпечити виявлення кількості та підпорядкування об'єктів, що перебувають у незадовільному технічному або аварійному стані, і складання реєстру цих об'єктів, що є необхідною передумовою розроблення і вживання заходів для виправлення стану [2].

Сучасними вимогами до будівельного виробництва є: системність; безпека; гнучкість; ресурсозбереження; якість; ефективність.

Одночасно зростання обсягів будівництва і як наслідок – збільшення будівельного фонду все наполегливіше ставить завдання необхідності підтримувати і підвищувати якість будівель та споруд шляхом проведення поточних, капітальних ремонтів, модернізації і реконструкції.

При цьому виникають нові проблеми. У системі «проекування–виробництво–експлуатація» утворилася методична роз'єднаність, що ускладнює вибір техніко-економічних та інженерно-технологічних рішень. Практика прийняття рішень без локальної інженерної інформації ускладнює виробничу систему і є гальмом у досягненні ефективного кінцевого результату – забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівель та споруд.

Згідно з Міжнародними нормами (EN 1990:2001 / Eurocode – Basis of structural design) надійність будівельних конструкцій розглядається як поєднання безпеки, придатності до нормальної експлуатації і довговічності. Безпечність розглядається як властивість будівельного об'єкта зберігати придатність до експлуатації впродовж передбаченого терміну без потенційної загрози для життя і здоров'я людей.

Виникло відставання системи вимог чинної нормативно-технічної документації до сучасного рівня будівельно-монтажних робіт.

Одним із важливих аспектів даної роботи є розгляд «інструментів якісного утримання нерухомості», до яких належать дослідження методів визначення експлуатаційного зносу за умов відмови елементів будинків, споруд.

З одного боку, для зниження витрат на відновлення слід домагатися максимально тривалої експлуатації елементів житлових будинків та інженерних систем, найбільш виробляючи їх експлуатаційний ресурс. З іншого боку, для визначення значень допустимих меж зносу, що, звичайно, будуть коливатися в значних межах для елементів і будівель під впливом умов експлуатації і параметрів навколишнього середовища. Існуючі обмеження термінів служби конструкцій у різноманітних агресивних середовищах диктують уже в найближчому майбутньому збільшення обсягів робіт із їх відновлення і посилення, а тому необхідна інформаційна система виявлення і спостереження їх станів, тобто необхідна організація системи моніторингу якості будівель та споруд. Таким чином, актуальним слід вважати дослідження експлуатаційного зносу будівель, споруд та інженерних систем, особливо у великих містах, де стан навколишнього середовища в різних районах викликають значні коливання параметрів тривалості безвідмовної роботи одиничних елементів і вузлів. Розкид у лагах експлуатаційного зносу сягає значних розмірів, що обумовлює у сучасних умовах економічне неефективне використання єдиної системи планово-попереджувальних ремонтів. При цьому доцільним є перехід на встановлення термінів поновлення відмов по фактичній відмові конкретних будівель та споруд, елементів, систем. Ефект їх поновлення за фактичною відмовою потребує науково

обґрунтованого дослідження і відпрацювання принципів організації моніторингу спостереження за станом будівель та споруд, виявлення закономірностей потоків відмов і практичної реалізації раціональної схеми їх відновлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні теоретичні передумови проектування будинків з урахуванням теорії експлуатаційної надійності закладені вченими В.В. Болотиним, В.М. Бондаренком, І.І. Гольденблатом, М.І. Карпенком, О.Р. Ржаніциним, С.А. Семенцовим, А.Ф. Смирновим, М.О. Стрелецьким, В.І. Телеченком.

Подальшого розвитку ці ідеї набули у роботах Л.С. Авірома, Т.П. Дорошука, Е.Л. Дешко, Б.М. Колотилкіна, В.І. Ливчака, А.Г. Ройтмана, Ю.Д. Сухова, Б.Н. Снарскиса, К.Е. Таля. Загальну теорію надійності розробляли Л.І. Берг, Б.В. Гнеденко, І.А. Ушаков, Я.Б. Шор, Ю.М. Хромець та ін.

У роботах [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] при дослідженні кількісних характеристик надійності будівельних елементів будинків враховувалися положення планово-попереджувальних ремонтів, що значно впливають на точність розрахунків.

Постановка задачі. Для розроблення наукових основ та організаційно-технологічного забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівель, споруд, а також концепції й науково обґрунтованих методів попередження і поновлення відмов їх конструкцій, елементів і систем відповідно до нормативно-технічних вимог при мінімальних витратах ресурсів необхідно зокрема провести аналіз і кількісну оцінку експлуатаційного (фізичного і морального) зносу будівель та споруд із установами потоку відмов їх елементів у різних умовах експлуатації;

Величина основних параметрів, застосовуваних для розрахунку надійності будівельних систем і їх елементів, може бути визначена математичними методами.

Викладення основного матеріалу статті. Для встановлення основних параметрів надійності будівельного процесу використовуються ймовірності та статистичні методи. У даній роботі оцінка надійності елементів будинків проводиться за різними показниками.

Розглянемо статистику відмов м'якої покрівлі житлових будинків, яка наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Статистика відмов м'якої покрівлі будинків

Рік від початку експлуатації i	Серія будинків											
	П-18				П-49				І-515			
	n_i	Q_i	F_i	λ_i	n_i	Q_i	F_i	λ_i	n_i	Q_i	F_i	λ_i
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	8	0,02	0,02	0,02	3	0,05	0,05	0,05	3	0,01	0,01	0,01
4	25	0,07	0,09	0,09	5	0,09	0,014	0,09	5	0,02	0,03	0,02
5	43	0,13	0,22	0,22	10	0,17	0,31	0,02	8	0,03	0,06	0,03
6	41	0,12	0,34	0,34	15	0,26	0,57	0,38	21	0,08	0,14	0,09
7	38	0,11	0,45	0,45	11	0,19	0,76	0,46	27	0,11	0,25	0,13
8	36	0,11	0,56	0,56	7	0,12	0,88	0,54	32	0,13	0,38	0,17
9	34	0,1	0,66	0,66	3	0,05	0,94	0,5	36	0,14	0,52	0,23
10	30	0,09	0,75	0,75	3	0,05	1	1	59	0,24	0,76	0,5
11	26	0,08	0,83	0,83	0	0	1	∞	36	0,14	0,90	0,61
12	22	0,07	0,90	0,90	0	0	1	∞	11	0,04	0,94	0,49
13	18	0,05	0,95	0,95	0	0	1	∞	6	0,02	0,97	0,5

Рік від початку експлуатації i	Серія будинків											
	П-18				П-49				I-515			
	n_i	Q_i	F_i	λ_i	n_i	Q_i	F_i	λ_i	n_i	Q_i	F_i	λ_i
14	14	0,04	1	1	0	0	1	∞	2	0,01	0,98	0,33
15	0	0	1	1	0	0	1	∞	4	0,02	1	1
Всього відмов	335				57				250			

Умовне позначення у таблиці 1: n_i – кількість відмов;
 Q_i – імовірність виникнення відмов;
 F_i – функція розподілу відмов;
 λ_i – інтенсивність відмов.

Імовірність безвідмовної роботи $P(\tau)$ – це ймовірність того, що в заданому інтервалі часу τ при заданих параметрах виробництва не буде порушена працездатність системи та її окремих елементів, тобто не відбудеться відмова під впливом якогось аналізованого чинника. Ймовірний безвідмовний час роботи описується формулою:

$$P(\tau) = P(\tau_{cp} \geq \tau). \tag{1}$$

Імовірність відмови $Q(\tau)$ дорівнюватиме:

$$Q(\tau) = 1 - P(\tau). \tag{2}$$

Практичний розв'язок задачі надійності різних елементів здійснюється будівельною системою шляхом збору й опрацювання даних статистичним методом.

Статистична імовірність безвідмовної роботи дорівнює:

$$P_c(\tau) = (N_0 - n(\tau)) / N_0, \tag{3}$$

тоді статистична ймовірність відмови матиме вигляд:

$$Q_c(\tau) = 1 - P_c(\tau), \tag{4}$$

де N_0 – число елементів, що випробовуються на відмову; $n(\tau)$ – число елементів, які вийшли з ладу за час τ .

Графічна модель взаємозв'язку $P(\tau)$ і $Q(\tau)$ подана на рис. 1.

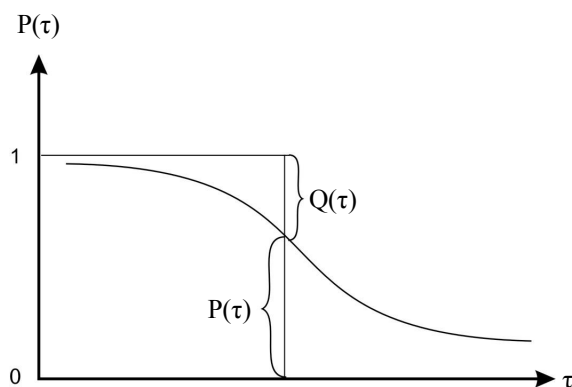


Рис. 1. Залежність у часі $Q(\tau)$ імовірності відмови від будівельного елемента в період його експлуатації.

Спостереженню підлягали три групи елементів: покрівля, перекриття, шви в панельних будинках. Результати спостережень з визначення імовірності безвідмовної роботи панелей перекриттів до першої відмови наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Кількість відмов панелей перекриття в Δt інтервалі часу

Номер інтервалу	Інтервал часу Δt , доби	Число відмов, n_i	Номер інтервалу	Інтервал часу Δt , доби	Число відмов, n_i
1	0–100	1	6	500–600	6
2	100–200	2	7	600–700	4
3	200–300	3	8	700–800	2
4	300–400	4	9	800–900	2
5	400–500	7	10	900–1000	0

У цьому випадку емпірична функція розподілу відмов визначається за формулою:

$$F(\tau_i) = n(\tau) / N_0, \tag{5}$$

де $n(\tau)$ – число всіх відмов за час, менший за τ ; N_0 – число відмов за весь період спостереження. У даному прикладі $N_0 = 31$.

Відповідно до (4.5) наприкінці i -го інтервалу часу маємо:

$$F(\tau_i) = \frac{1}{N_0} \cdot \sum_{p=1}^i n_p, \tag{6}$$

де n_p – число відмов за p -й інтервал часу.

Одержуємо такі значення $F(\tau_i)$:

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\sum n_p$	1	3	6	10	17	23	27	29	31	31
$F(\tau_i)$	0,032	0,097	0,159	0,323	0,549	0,743	0,871	0,932	1,00	1,00

Середній час безвідмовної роботи $\tau_{\text{ср.}}$ – це математичне очікування часу безвідмовної роботи елемента або системи: імовірнісне визначення:

$$\tau_{\text{ср.}} = \int_{-\infty}^{\infty} p'(\tau) d\tau.$$

Розділивши інтервал часу спостереження на n інтервалів довжини Δt , позначивши τ_i час безвідмовної роботи на i -тому інтервалі, одержимо статистичне визначення цього поняття:

$$\tau_{\text{ср.}} = \sum_{i=1}^n \phi_i / n. \tag{7}$$

Припускаючи, що на i -тому інтервалі імовірність $P(\tau)$ постійна і дорівнює $P(\tau_i)$, маємо:

$$\tau_{\text{ср.}} = \sum_{i=1}^n P(\phi_i) \Delta \tau = \Delta \tau \sum_{i=1}^n P(\tau_i). \tag{8}$$

Частота відмов $d(\tau)$ характеризує щільність їх розподілу і визначається за формулою:

$$d(\tau) = dF(\tau) / d\tau. \tag{9}$$

У статистиці частота відмов визначається за формулою:

$$d(\tau) = \Delta n(\tau) / N_0 \Delta \tau,$$

де $\Delta n(\tau)$ – число відмов за час $\Delta \tau$.

У прикладі панелей перекриття: $\Delta \tau = 100$ діб; $\Delta n_i(\tau) = n_i$, і виходить такий розрахунок частоти відмов:

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n_i	1	2	3	4	7	6	4	2	2
$d(\tau)$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	$12,9 \cdot 10^{-4}$	$28,6 \cdot 10^{-4}$	$19,2 \cdot 10^{-4}$	$12,9 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$

Інтенсивність відмов $\lambda(\tau)$ характеризується відношенням частоти відмов $d(\tau)$ до ймовірності $p(\tau)$ безвідмовної роботи елемента в момент часу τ :

$$\lambda(\tau) = d(\tau) / p(\tau) . \tag{10}$$

Статистичне визначення:

$$\lambda(\tau) = \Delta n(\tau) / N_{\tau} \Delta \tau . \tag{11}$$

де N_{τ} – число зразків, що справно працюють до моменту τ .

Інтенсивність відмов системи складається з інтенсивності раптових $\lambda_{\text{рап}}$ і постійних $\lambda_{\text{пос}}$ відмов. Використовуючи формулу (11), знаходимо значення $\lambda(\tau)$:

Δn_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda(\tau)$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$11 \cdot 10^{-4}$	$16 \cdot 10^{-4}$	$33 \cdot 10^{-4}$	$50 \cdot 10^{-4}$	$50 \cdot 10^{-4}$	$50 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	0

Імовірність відновлення $P_{\text{вн.}}(\tau)$ об'єкта після потоку відмов визначається аналогічним методом. Встановлена ймовірність безвідмовної роботи з урахуванням функції розподілу часу відновлення $F_{\text{вн.}}(\tau)$. Процес експлуатації об'єкта з відновленням працездатності рекомендується як послідовність інтервалів, що чергуються з інтервалами простою.

Середній час відновлення об'єкта $\tau_{\text{вн.ср.}}$ характеризує необхідний час на пошук і усунення однієї відмови:

імовірнісне визначення –

$$\tau_{\text{вн.ср.}} = \int_0^{\infty} \tau dF_{\text{вс}}(\tau) ; \tag{12}$$

статистичне визначення –

$$\tau_{\text{вн.ср.}} = \sum_{i=1}^n \tau_{\text{вс}}(i) / n , \tag{13}$$

де $\tau_{\text{вс}}(i)$ – час початку й усунення однієї відмови на i -тому інтервалі часу.

Інтенсивність відновлення будівельного елемента $\mu_{\text{вс}}(\tau)$ розраховується від моменту початку відновлення:

імовірнісне визначення –

$$\mu_{\text{вс}}(\tau) = \frac{1}{1 - F_{\text{вс}}(\tau)} \cdot \frac{dF_{\text{вс}}(\tau)}{d\tau} ; \tag{14}$$

статистичне визначення –

$$\mu_{\text{вс}}(\tau) = \frac{\Delta n_{\text{вс}}(\tau)}{N_{\text{в}}(\tau) \Delta \tau} , \tag{15}$$

де $N_{\text{в}}(\tau)$ – число об'єктів, не відновлених за час τ ; $\Delta n_{\text{в}}(\tau)$ – число об'єктів, відновлених в інтервалі $\Delta \tau$.

Коефіцієнт готовності $K_{\text{г}}$ – це можливість того, що виробнича система (елемент) буде працездатною в довільно обраний момент:

імовірнісне визначення –

$$K_{\text{г}} = \lim_{\tau \rightarrow \infty} K_{\text{г}}(\tau) ; \tag{16}$$

статистичне визначення –

$$K_{\text{г}} = 1 - n/N_0 = \tau_{\text{бср}} / (\tau_{\text{бср}} + \tau_{\text{вср}}) = \tau_{\text{б}} / (\tau_{\text{б}} + \tau_{\text{пр}}) , \tag{17}$$

де $\tau_{\text{б}}$ – час безвідмовної роботи системи; $\tau_{\text{пр}}$ – час вимушених простоїв.

Коефіцієнт простою $K_{\text{п}}$ – це можливість того, що будівельний елемент буде непрацездатний у довільно обраний момент:

імовірнісне визначення –

$$K_{\text{п}} = 1 - K_{\text{г}}(\tau) ; \tag{18}$$

статистичне визначення –

$$K_{\text{п}} = n(\tau) / N_0 = \tau_{\text{пр}} / (\tau_{\text{б}} + \tau_{\text{пр}}) = 1 - K_{\text{г}} . \tag{19}$$

Висновки. Фактичні значення експлуатаційного зносу елементів будівель та споруд за потоками відмов дають змогу визначити ряд характеристик, які показують час очікування різних видів ремонтних робіт. Такими характеристиками є:

- імовірність безвідмовної роботи елемента;
- імовірність відмови під впливом експлуатаційного зносу елементів житлових будинків;
- інтенсивність відмов;

- імовірність відновлення експлуатаційного зносу;
- середній час відновлення зносу елемента.

Зазначені чинники дають змогу прогнозувати час і обсяги залучення матеріальних і грошових ресурсів, необхідних для планового проведення ремонтних робіт і їх раціональної організації. Отримані статистичні значення експлуатаційного зносу елементів будівель та споруд дають змогу визначити ступінь їх відхилення від системи показників планово-попереджувальних ремонтів і на їх основі виявити втрати матеріальних і грошових ресурсів, пов'язаних із розбіжністю систем відновлення експлуатаційного зносу елементів будівель та споруд.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 05.05.97 № 409 "Про забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж".
2. *Балицкий В.С., Романов С.В., Снисаренко В.И. Есипенко А.Д.* и др. Нормативные документы по вопросам обследования, паспортизации, безопасности и надёжной эксплуатации производственных зданий и сооружений. – К.: НИИСП, 1997. – 152 с.
3. *Беляев Е.В., Махоев О.С.* Эксплуатационные недостатки конструкций крупнопанельных домов повышенной этажности и способы их устранения: Научные труды АКХ им. К.Д. Памфилова // Жилищное хозяйство. – № 12. – 1972. – Вып. 91. – 167 с.
4. *Брайнина Е.Ю.* Теплозащитные свойства наружных стен из прокатного ке-рамзитобетона // Строительная теплофизика и акустика. – М.: ГОСИНТИ, 1973. – С. 3–15.
5. *Волженский А.Н., Гладких К.В., Куранов В.П., Зверев И.Н.* Газобетонные стеновые панели в эксплуатационных условиях // Строительные материалы. – № 3. – 1974. – С. 27–30.
6. *Горчаков Г.И., Ориентлихер Л.П., Абрамова П.С.* Климатология и долговечность материала наружных ограждений // Известия ВУЗов / Строительство и архитектура. – Новосибирск, 1973. – № 7. – С. 15–19.
7. *Дашков П.И.* Деформативность фасадов крупнопанельных зданий в зависимости от ориентации и облицовки: Материалы XXI научно-технической конференции Дальневосточного политехнического института. – Владивосток, 1973. – Вып. 8. – 216 с.
8. *Лерман В.И.* Обследование домов серии 1–464 в Тюмени // Жилищное строительство. – № 5, № 4. – 1978. – С. 12–16.
9. *Мухитдинов А.М., Кин В.В.* О состоянии стыков в крупнопанельных домах Узбекистана // Труды ТашИИЖТ. – Ташкент. – № 75. – 1970. – 156 с.
10. Схемы комплексной механизации устройства рулонных и мастичных кровель с применением новых строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1976. – 52 с.
11. *Устинов Б.* Результаты обследования кровель // Жилищное строительство. – № 3. – 1973. – С. 5–8.

ЄСИПЕНКО Алла Дмитрівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувача лабораторією Науково-дослідного інституту будівельного виробництва.

Наукові інтереси:

- проблеми надійності й безпечної експлуатації будівель і споруд;
- дослідження експлуатаційного зносу будівель та споруд;
- розроблення і впровадження принципів і методів організаційних і технічних схем моніторингу прогнозування відмов елементів будівель та споруд залежно від умов експлуатації.

E-mail: jeslplenko@rambler.ru

Тел.: 8(067)5053061

Подано 23.09.2005

УДК 69.059

Розроблення наукових основ та організаційно-технологічного забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівель, споруд /А.Д.Єсипенко/ / Вісник ЖДТУ / Технічні науки – 2005. - №4 (35). – С. : іл.1. – Табл. 2. – Бібліогр.: 11 назв.

Розглянуто наукові основи та організаційно-технологічне забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівель, споруд, а також теоретичні методи розрахунку потоку відмов у разі експлуатаційного зносу їх конструкцій, елементів і систем для розробки концепції й науково обґрунтованих методів попередження і поновлення відмов відповідно до нормативно-технічних вимог при мінімальних витратах ресурсів.

УДК 69.059

Разработка научных основ и организационно-технологического обеспечения надежности и безопасной эксплуатации зданий, сооружений /А.Д.Есипенко/ / Вісник ЖДТУ / Технічні науки – 2005. - №4 (35). – С. : іл.1. – Табл. 2. – Библиогр.: 11 назв.

Рассмотрены научные основы и организационно-технологическое обеспечение надежности и безопасной эксплуатации зданий, сооружений, а также теоретические методы расчета потока отказов в случае эксплуатационного износа их конструкций, элементов и систем для разработки концепции и научно обоснованные методов предупреждения и восстановления отказов в соответствии с нормативно-техническими требованиями при минимальных затратах ресурсов.

УДК 69.059

The development of the scientific bases and organizational – technological maintenance of the reliability and safe operation of buildings and constructions /A.D.Yesipenko / / Вісник ЖДТУ / Технічні науки – 2005. - №4 (35). – P. : ill.1. – Table. 2. – Refs.: 11 titles.

The article is dedicated to the development of the scientific bases and organizational – technological maintenance of the reliability and safe operation of buildings and constructions while substantiating the conception and scientifically proved methods of the prevention and restoration of refusals of their designs, elements and systems are developed according to normative and technical requirements at the minimal resource expenses.