

СТОХАСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВАРТІСНОГО ФІЗИЧНОГО ЗНОСУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ, ЩО НЕ ВІДНОВЛЮЮТЬСЯ

У статті розроблено методичний підхід до визначення вартісного фізичного зносу об'єкта оцінки, що може бути розглянутий як технічна система, що не відновлюється, який заснований на стохастичному моделюванні залишкового терміну напрацювання до відмови об'єкта оцінки та напрацювання до відмови нового об'єкта, подібного об'єкту оцінки. Коефіцієнт придатності визначається як математичне сподівання випадкової величини, що є результатом відношення відповідних випадкових величин – напрацювань до відмови. Визначені моделі для декількох типів законів розподілу.

В статье разработан методический подход определения стоимостного физического износа объекта оценки, который может рассматриваться как невосстанавливаемая техническая система, основанный на стохастическом моделировании остаточного срока наработки на отказ объекта оценки и наработки на отказ нового объекта, подобного объекту оценки. Коэффициент пригодности определяется как математическое ожидание случайной величины, являющейся результатом деления соответствующих случайных величин, – наработок на отказ. Определены модели для нескольких типов законов распределения.

A methodical approach for determination of cost physical wear of object of estimation, which can be examined as an unrestorable technical system, is developed in the article. This approach is based on the stochastic design of remaining time of the operation-to-failure of object of estimation and the operation-to-failure time of a new object similar to the object of estimation. The coefficient of suitability is determined as the expected casual value as a result of division of the proper casual values – the operation-to-failure times. The models for a few types of distributive laws are developed.

Постановка проблеми

При оцінці майна у матеріальній формі, як правило, постає задача визначення зносу об'єкта оцінки. Ця операція є однією з оціночних процедур витратного підходу [1]. При реалізації ж порівняльного або доходного підходів визначення зносу може бути потрібне для внесення коригувань до цін або орендних плат об'єктів порівняння. Отже, визначення зносу об'єкта оцінки (у вартісній формі) є однією з основних складових оціночних робіт з незалежної оцінки майна.

Особливо важливим та відповідальним з точки зору кінцевого результату є визначення зносу спеціалізованого (у розумінні стандартів оцінки) майна. Для такого майна характерним є відсутність ринкової інформації щодо подібних об'єктів, що не дозволяє визначити ринкові оцінки зносу. У цьому випадку основним є витратний оціночний підхід, а розмір зносу, що встановлює оцінювач, безпосередньо визначає кінцевий результат оцінки – залишкову вартість заміщення (відтворення).

За визначенням національних стандартів оцінки під зносом розуміється «втрата вартості майна порівняно з вартістю нового майна. Знос за ознаками його виникнення поділяють на фізичний, функціональний та економічний (зовнішній)» [1]. У цій роботі розглядається моде-

лювання фізичного зносу, під яким розуміють «знос, зумовлений частковою або повною втраченою первісних технічних та технологічних якостей об'єкта оцінки» [1]. Тобто фізичний знос у цій роботі розглядається саме як втрата вартості внаслідок зміни технічних та технологічних якостей (економічна категорія), а не як технічна категорія, що відбиває ступень зміни цих технічних та технологічних якостей. Вплив функціонального та економічного зносу у цій роботі не розглядається.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На теперішній час відомо багато методів визначення фізичного зносу об'єктів оцінки у матеріальній формі [2, с. 161-170, 306-316, 356-359]:

– нормативний – оцінка фізичного зносу за його зовнішніми ознаками та встановленими нормативами;

– вартісний – фізичний знос визначається витратами на його усунення;

– метод ефективного віку – фізичний знос визначають співвідношенням хронологічного віку або ефективного віку із загальним терміном економічного життя об'єкта оцінки;

– метод експертного аналізу фізичного стану – фізичний знос визначається методом експертних оцінок. При цьому використовують

певні типові шкали, що відрізняються для різни типів об'єктів;

– метод втрати продуктивності – фізичний знос визначається за співвідношенням продуктивності об'єкта оцінки з продуктивністю нового подібного об'єкту з урахуванням дії закону економії на масштабі;

– метод втрати прибутковості – фізичний знос визначається за співвідношенням прибутковості об'єкта оцінки з прибутковістю нового подібного об'єкта;

– метод стадії ремонтного циклу та інші.

Вказані методи мають суттєві недоліки. Так, нормативний метод може застосовуватись лише для об'єктів, щодо яких розроблені нормативи зносу. Вартісний метод за своєю суттю не враховує знос, який не усувається. Метод експертного аналізу фізичного стану характеризується великим суб'єктивізмом. Методи втрати продуктивності та зменшення доходності можуть застосовувати лише для об'єктів, продуктивність та доходність яких у процесі експлуатації зменшується поступово. Метод стадії ремонтного циклу розроблений лише для об'єктів, що експлуатуються за системою планово-попереджувальних ремонтів. Найбільш загальним методом визначення фізичного зносу, на наш погляд, є метод ефективного віку, бо саме цей метод встановлює відповідність фізичного зносу із зменшення ресурсу об'єкта оцінки. Однак потребують суттєвого удосконалення методи встановлення залишкового та загального термінів економічного життя. Необхідно враховувати той факт, що обидва ці показники стосуються майбутнього. Тому вони мають невизначену природу і не можуть бути встановлені точно, а прогноуються.

Формулювання цілі статті

Задачею цієї роботи є розробка методу визначення фізичного зносу об'єкта оцінки у матеріальній формі, який класифікується як технічна система, що не відновлюється. Вказаний метод ґрунтується на стохастичній моделі економічного строку життя об'єкта оцінки, що дозволяє застосовувати добре розроблений інструментальний апарат теорії надійності технічних систем для цілей оцінки майна.

Виклад основного матеріалу та обґрунтування отриманих результатів

В основу найпростішої стохастичної моделі фізичного зносу об'єкта оцінки покладені такі передумови:

1. Об'єкт оцінки розглядається як технічна система, що складається з одного елемента.

2. Об'єкт оцінки є технічною системою, що не відновлюється.

3. Об'єкт оцінки досягає граничного стану (у термінах теорії надійності систем [3, с. 6]) у момент першої відмови (наслідок перших двох передумов).

Розмір фізичного зносу характеризує коефіцієнт придатності, який функціонально зв'язаний з відносним фізичним зносом (визначається як різниця між одиницею і відносним фізичним зносом, вираженим у частках). Слід відзначити, що залишкова вартість заміщення не може бути менша за вартість ліквідації, тому першу доцільно визначити за формулою:

$$B_{звз} = B_{л} + K_{п} \cdot (B_{з} - B_{л}), \quad (1)$$

де $B_{звз}$ – залишкова вартість заміщення (відтворення), грн;

$B_{л}$ – вартість ліквідації (якщо $B_{л} \leq 0$, слід прийняти $B_{л} = 0$), грн;

$B_{з}$ – вартість заміщення (відтворення), грн;

$K_{п}$ – коефіцієнт придатності, який змінюється у діапазоні $0 \leq K_{п} \leq 1$, та відбиває залишковий ресурс об'єкта оцінки.

Коефіцієнт придатності повинен визначатись, виходячи з порівняння ресурсу об'єкта оцінки з ресурсом нового подібного об'єкта, за яким встановлено вартість заміщення (відтворення). При цьому в основі визначення ресурсів повинно бути покладено припущення про майбутню експлуатацію цих об'єктів у однакових умовах, які є типовими для подібних об'єктів (вони можуть відрізнятись від умов, у яких фактично експлуатувався об'єкт оцінки до дати оцінки).

Загальним вимірником ресурсу технічної системи є час, упродовж якого вона зберігає працездатність. Для передумов, вказаних вище, це буде напрацювання до відмови. Тобто, для випадку, що розглядається, термін економічного життя є напрацюванням до відмови.

Відмова – це випадкова подія, яка полягає у порушенні працездатності технічної системи під впливом ряду випадкових факторів [3, с. 7]. Таким чином, напрацювання до відмови – це випадкова величина, яка є проміжком часу від початку експлуатації технічної системи до першої відмови [3, с. 11].

Таким чином, загальний ресурс (термін економічного життя) нового об'єкта, подібного до об'єкта оцінки, який є носієм вартості заміщення (відтворення), відбиває випадкова величина

на – напрацювання до відмови. Відповідно, залишковий ресурс об'єкта оцінки (залишковий термін економічного життя) відбиває інша випадкова величина, яку за аналогією можна назвати залишкове напрацювання на відмову. Слід відзначити, що ці випадкові величини є незалежними, оскільки об'єкт оцінки і новий об'єкт – носій вартості заміщення (відтворення), є різними об'єктами.

Таким чином, коефіцієнт придатності також є випадковою величиною, яка визначається відношення випадкових величин – залишкового напрацювання до відмови об'єкта оцінки та напрацювання до відмови нового об'єкта – носія вартості заміщення (відтворення). На наш погляд, для цілей оцінки доцільно визначити коефіцієнт придатності як математичне сподівання вказаної випадкової величини:

$$K_n = M\left(\frac{Y}{T}\right), \quad (2)$$

де Y – випадкова величина – залишкове напрацювання до відмови об'єкта оцінки;

T – випадкова величина – напрацювання до відмови нового об'єкта, подібного об'єкту оцінки, який є носієм вартості заміщення (відтворення).

Відомо, що математичне сподівання добутку двох незалежних випадкових величин визначається як добуток їх математичних сподівань. Тому формула (2) приймає вигляд:

$$K_n = M(Y) \cdot M\left(\frac{1}{T}\right). \quad (3)$$

Формула (3) дозволяє визначити коефіцієнт придатності без визначення закону розподілу відповідної випадкової величини у явному вигляді за законами розподілу випадкових величин Y та T .

За своєю природою випадкові величини Y та T є безперервними та ненегативними. Інтегральні функції розподілу цих величин відбивають так звані функції ненадійності, а диференціальній – щільності розподілу часу безвідмовної роботи [3, с. 12].

Для визначення математичного сподівання випадкової величини T^{-1} доцільно виразити її щільність розподілу через щільність розподілу випадкової величини T . Припустимо, що $F_T(t)$ є інтегральною функцією розподілу випадкової величини T . Тобто ймовірність $P(T < t) = F_T(t)$. Тоді щільністю розподілу ви-

падкової величини T є функція $f_T(t) = \frac{dF_T(t)}{dt}$.

Справедливим є рівність $P(T < t) = P\left(\frac{1}{T} > \frac{1}{t}\right)$.

Тоді ймовірність $P\left(\frac{1}{T} < \frac{1}{t}\right) = 1 - P\left(\frac{1}{T} > \frac{1}{t}\right) = 1 - P(T < t)$. Тобто, при заміні змінної $x = t^{-1}$ інтегральна функція розподілу випадкової величини T^{-1} має вигляд $F_{T^{-1}}(x) = 1 - F_T(t) = 1 - F_T\left(\frac{1}{x}\right)$. Таким чином, щільність розподілу

випадкової величини T^{-1} визначається як:

$$f_{T^{-1}}(x) = \frac{d\left(1 - F_T\left(\frac{1}{x}\right)\right)}{dx} = \frac{1}{x^2} \cdot f_T\left(\frac{1}{x}\right). \quad (4)$$

Таким чином, формула (3) приймає вигляд:

$$K_n = \left(\int_0^{+\infty} t \cdot f_Y(t) \cdot dt\right) \cdot \left(\int_0^{+\infty} \frac{1}{x} \cdot f_T\left(\frac{1}{x}\right) \cdot dx\right). \quad (5)$$

Вид та параметри щільностей розподілів $f_Y(t)$ та $f_T(t)$ встановлюються шляхом проведення апіорного та/або апостеріорного аналізів надійності [3, с. 10].

Розглянемо аналітичні вирази формули (5) для декількох типів розподілу.

Рівномірний розподіл.

При такому типі розподілів щільності розподілів випадкових величин Y та T мають вигляд:

$$f(t) = \begin{cases} 0, & t < a; \\ \frac{1}{b-a}, & a \leq t \leq b; \\ 0, & t > b. \end{cases}$$

Тоді коефіцієнт придатності визначається за формулою:

$$K_n = \left(\int_{a_Y}^{b_Y} \frac{t}{b_Y - a_Y} \cdot dt\right) \cdot \left(\int_{\frac{1}{b_T}}^{\frac{1}{a_T}} \frac{1}{x} \cdot \frac{1}{b_T - a_T} \cdot dx\right) = \frac{a_Y + b_Y}{2} \cdot \frac{\ln b_T - \ln a_T}{b_T - a_T}. \quad (6)$$

Трикутний розподіл (або Δ -розподіл).

При такому типі розподілів щільності розподілів випадкових величин Y та T мають вигляд:

$$f(t) = \begin{cases} 0, & t < a; \\ \frac{2 \cdot (t-a)}{(b-a) \cdot (c-a)}, & a \leq t \leq c; \\ \frac{2 \cdot (b-t)}{(b-a) \cdot (b-c)}, & c < t \leq b; \\ 0, & t > b. \end{cases}$$

Параметрами трикутного закону розподілу є межі, у яких випадкова величина приймає значення (a, b) , та мода щільності розподілу (c) .

У цьому випадку коефіцієнт придатності задається формулою:

$$K_{\Pi} = \left(\int_{a_Y}^{c_Y} t \cdot \frac{2 \cdot (t-a_Y)}{(b_Y-a_Y) \cdot (c_Y-a_Y)} \cdot dt + \int_{c_Y}^{b_Y} t \cdot \frac{2 \cdot (b_Y-t)}{(b_Y-a_Y) \cdot (b_Y-c_Y)} \cdot dt \right) \times$$

$$\times \left(\int_{\frac{1}{c_T}}^{\frac{1}{a_T}} \frac{1}{x} \cdot \frac{2 \cdot \left(b_T - \frac{1}{x}\right)}{(b_T-a_T) \cdot (b_T-c_T)} \cdot dx + \int_{\frac{1}{b_T}}^{\frac{1}{a_T}} \frac{1}{x} \cdot \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{x} - a_T\right)}{(b_T-a_T) \cdot (c_T-a_T)} \cdot dx \right) =$$

$$= \frac{a_Y + c_Y + b_Y}{3} \cdot \frac{2}{b_T - a_T} \times$$

$$\times \left(b_T \cdot \frac{\ln b_T - \ln c_T}{b_T - c_T} - a_T \cdot \frac{\ln c_T - \ln a_T}{c_T - a_T} \right). \quad (7)$$

Експоненціальний закон розподілу.

Для цього закону розподілу характерним є постійне значення інтенсивності відмов, яка дорівнює зворотній величині середнього напрацювання на відмову (математичне сподівання напрацювання до відмови) [3, с. 16-17].

У цьому випадку щільності розподілів випадкових величин Y та T задаються функціями:

$$f_Y(t) = \lambda_Y \cdot e^{-\lambda_Y \cdot t};$$

$$f_T(t) = \lambda_T \cdot e^{-\lambda_T \cdot t}.$$

Параметр λ експоненціального розподілу характеризує інтенсивність відмов технічної системи.

Для такого випадку коефіцієнт придатності дорівнює:

$$K_{\Pi} = \left(\int_0^{+\infty} \lambda_Y \cdot t \cdot e^{-\lambda_Y \cdot t} \cdot dt \right) \cdot \left(\int_0^{+\infty} \frac{\lambda_T}{x} \cdot e^{-\frac{\lambda_T}{x}} \cdot dx \right) =$$

$$= \frac{\lambda_T}{\lambda_Y} \cdot \int_0^{+\infty} \frac{e^{-\frac{\lambda_T}{x}}}{x} \cdot dx. \quad (8)$$

Інтеграл у формулі (8) не виражається в елементарних функціях.

Слід відзначити, що закони розподілу випадкових величин Y та T можуть відрізнятися не лише за параметрами, а і за типами. Тоді можна привести різні комбінації формул (6)–(8). У теорії надійності систем розглядаються і інші типи законів розподілу [3, с. 31-45]. Ідентифікація та визначення параметрів цих законів розподілу, багато у чому, залежить від вихідних даних, що має оцінювач, та методів, які він використовує. У загальному випадку, для визначення коефіцієнта придатності зручним є застосування методу статичних випробувань, які проводяться за моделлю (2).

Висновки

Розроблена у роботі стохастична модель дозволяє визначати коефіцієнт придатності фізичного зносу за параметрами щільностей розподілів напрацювання до відмови, що дає змогу визначити взаємозв'язок показників надійності технічних систем та фізичного зносу об'єкта оцінки як економічної категорії. Цей взаємозв'язок дозволяє використовувати у процесі незалежної оцінки майна методи апіорного та апостеріорного аналізу надійності технічних систем.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Національний стандарт № 1 «Загальні засади оцінки майна і майнових прав» [Текст] : Затв.: Постанова Кабінету Міністрів України від 10.09.2003 № 1440.
2. Оценка имущества и имущественных прав [Текст] / Ю. Гарбар и др.; под общ. ред. С. Скрынько. – К.: ООО «УКЦ «Эксперт-Л», 2007. – 746 с.
3. Матвеевский, В. Р. Надежность технических систем [Текст] : учеб. пособие / В. Р. Матвеевский; Московский гос. ин-т электроники и математики. – М., 2002. – 113 с.

Надійшла до редколегії 23.02.2010.

Прийнята до друку 26.02.2010.