

УДК 624.046.5:69.059.4

## ОЦІНКА ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ З УРАХУВАННЯМ ПРОВЕДЕННЯ ЇХ РЕМОНТІВ

Клименко Є.В. (Одеська державна академія будівництва та архітектури), Овсій М.О. (ППП "Будекспертиза", м. Полтава)

Запропонована методика оцінки відповідальності будівельних конструкцій (елементів) за двома оптимальними критеріями (мінімальними витратами на їх ремонт, які можуть виникнути в результаті чітких і нечітких відмов, та їх надійністю) дозволяє визначити оптимальну періодичність проведення поточних і капітальних ремонтів по ліквідації їх фізичного зносу за визначений період їх експлуатації. Дана методика базується на коефіцієнті відповідальності  $\gamma_{nr}$ , який враховує ремонтпридатність конструкції (елемента системи) будівлі (споруди): циклічність та об'єм профілактичних (поточних) і капітальних ремонтів; термін та умови їх проведення з мінімальними витратами, за можливості, без перерви експлуатації об'єкта. Коефіцієнт відповідальності  $\gamma_{nr}$  дає можливість координувати коефіцієнт відповідальності  $\gamma_n$ , який оцінює економічні та неекономічні втрати в сталих, перехідних та аварійних розрахункових ситуаціях конструкцій (елементів), а також більш точно оцінити вплив термінів проведення поточних і капітальних ремонтів на їх довговічність.

**Постановка проблеми.** Зв'язок з науковими і практичними завданнями. На сьогодні відбувається інтенсивний розвиток теорії надійності будівельних конструкцій. Так в проекті нових норм [3, 4], порівняно з діючими [2], запропоновані нові значення коефіцієнта відповідальності конструкцій (елементів)  $\gamma_n$  залежно від класу будівлі (споруди), її значимості і придатності в її несущій загальній експлуатаційній системі, впливу їх на інші її конструкції (елементи), можливості виникнення втрат в результаті їх відмов та типу граничного стану. Коефіцієнти відповідальності, які наведені в нових положеннях нормативних документів [3, 4], оцінюють неекономічні втрати, які пов'язані з життям і здоров'ям людей, і економічні витрати, що можуть виникнути при досягненні конструкцій (елементів) граничного стану.

В той же час стан конструкції (елемента) при періодичному (своєчасному) проведенні поточних (профілактичних) і капітальних ремонтів не завжди може досягнути граничного стану, коли економічна шко-

да буде максимальною. Тому на теперішньому етапі виникла необхідність удосконалення методики оцінки їх відповідальності з урахуванням періодичності (циклічності) проведення і об'єму поточних і капітальних ремонтів.

**Аналіз публікацій. Виділення невирішених питань.** З методологічної і практичної точок зору необхідно розрізняти, як відмічає А.В. Перельмутер в роботі [16, с.69], два можливих випадки появи шкоди за визначений термін часу:

- миттєве утворення шкоди при першому ж виникненні відмовного стану;
- поступове накопичення шкоди, яка пов'язана з загальною тривалістю перебування у стані відмови.

Розрахунку економічних та інших (неекономічних) витрат при миттєвій відмові конструкції присвячені роботи А.В. Перельмутера [15, с.46-47], С.Ф. Пічугіна і О.В.Семка [16, 25, 26], О.Р. Ржаніцина [20], а в роботах О.Р. Ржаніцина [21-24], Б.Й. Снаркіса [22], Ю.Д. Сухова [22, 27-30], А.Я. Дрвінга [9, 10], А.П. Буличьова [2], А.В. Перельмутера [16] та інших учених приведені методики розрахунку витрат при поступовому накопиченню шкоди при одній і більше відмов за певний період часу експлуатації конструкції (елемента).

Видатна роль в розвитку сучасних принципів економічних та ймовірно-економічних методів оптимального проектування та оцінки надійності конструкцій (елементів) належить О.Р. Ржаніцину. Так в роботі [21] О.Р. Ржаніцин вперше запропонував економічно оцінювати надійність конструкцій за залежністю:

$$C=C_0+P/(1-P)\times C_B=\min, \quad (1)$$

де  $C_0$ – першочергова вартість виготовлення конструкції;  $P$ – вірогідність руйнування конструкції;  $C_B$ – вартість робіт по відновленню конструкції після її руйнування та втрат, які пов'язані з її тимчасовою непрацездатністю.

При подальшому розвитку ймовірно-економічних методів формула (1) середньоочікуваних витрат на улаштування і експлуатацію конструкції була удосконалена. Залежності для визначення середньоочікуваних витрат, які були запропоновані іншими вченими, приведені в табл. 1.

Проведений аналіз вищезазначених оптимізаційних ймовірно-економічних методик розрахунку будівельних конструкцій (елементів) виявив ряд недоліків, які не дозволяють в повній мірі оцінити їх надійність у визначений термін часу на протязі експлуатації:

- відсутність визначених (чітких) критеріїв оптимізації конструкцій (елементів) на різних рівнях їх безвідмовної роботи. Цей недолік також

відмічають в своїх роботах А.В. Перельмутер [15, с.6], Ю.М. Почтман і Л.Е. Харітон [19, с.8]. Ю.Д. Сухов пропонує в роботах [29, 30] в практичних цілях розрахунок вести по двом граничним функціям надійності  $W_n(I_{\min})$  і  $W_n(I_{\max})$  при індикаторі (критерії) відмови  $I_{\min}$ , при якому появляється мінімальна шкода в результаті початкового зносу конструкції (елемента), та при індикаторі (критерії) відмови  $I_{\max}$ , при якому відбувається повне вичерпування її несучої здатності;

• оптимізація забезпечення надійності конструкцій (елементів) із економічних міркувань здійснюється на сьогодні тільки за одним критерієм шляхом математичного програмування цільової функції, в якій шукається мінімальне значення ваги конструкції або її очікуваної вартості. Так у більшості випадків, як відзначають автори роботи [19], відбувається вирішення подвійної оптимальної задачі: знаходиться мінімальне значення вартості конструкції при ймовірності відмови, яка залежить від її конструктивних змінних і більша за допустиме значення; знаходження максимальної надійності конструкції, яка залежить від конструктивних її змінних, при умові, що її вартість менша за граничну, допустиму;

Таблиця. 1

Залежності для отримання середньоочікуваних витрат на улаштування і експлуатацію конструкції

Автори та джерело	Формули для розрахунку середньоочікуваних витрат на улаштування і експлуатацію конструкції	№ форм.
Дривінг А.Я. [10]	$C = C_0 + \sum_{i=1}^n \bar{U}_i = C_0 + \sum_{i=1}^n H_i(t_0) u_i,$ <p>де <math>C_0</math> – вартість конструкції при виготовленні; <math>u_i</math> – вартість шкоди, яка усувається; <math>H_i(t_0)</math> – середньоочікуване число відмов за розрахунковий період; <math>n</math> – число відмов різного виду</p>	(2)
Дривінг А.Я. [9]	$\bar{C} = C_0 + n(C_0 + u^*) - \min,$ <p>де <math>\bar{C}</math> – мінімум середніх витрат; <math>n</math> – середньовірогідне число відмов за розрахунковий період; <math>u^*</math> – середньоочікувана вартість усунення наслідків відмов; <math>C_0</math> – вартість конструкції при виготовленні</p>	(3)

## Продовження таблиці 1

Автори та джерело	Формули для розрахунку середньоочікуваних витрат на улаштування і експлуатацію конструкції	№ форм.
Ржаніцин О.Р., Снарскіс Б.Й., Сухов Ю.Д. [22]	$Ц = C + \sum_{j=1}^m \Pi_j = C_0 + \sum_{j=1}^m \int_0^T e^{-\epsilon t} u_j(t) dt,$ <p>де <math>C</math> – очікувана величина одночасних витрат на улаштування конструкції; <math>m</math> – число різних видів відмов; <math>T</math> – термін експлуатації будівлі; <math>u_j(t)</math> – очікувана швидкість накопичення шкоди в результаті відмов <math>j</math>-го виду; <math>\epsilon = \ln(1 + E_{н.п})</math> – коефіцієнт, який враховує віддаленість витрат за часом; <math>E_{н.п}</math> – норматив приведення різночасових витрат</p>	(4)
Сухов Ю.Д. [30]	$C_N = C_0 + U \sum_{n=1}^N \beta^n h_n,$ <p>де <math>C_N</math> – середні очікувані витрати; <math>C_0</math> – одноразові витрати на улаштування конструкції; <math>U</math> – витрати на ліквідацію наслідків відмови; <math>\beta^n h_n</math> – приведена інтенсивність відмов; <math>\beta^n = 1/(1+E)^n</math> – коефіцієнт приведення витрат на ліквідацію наслідків <math>n</math>-ої відмови до одноразових</p>	(5)
Сухов Ю.Д. [28]	$C_N = C_0 + \sum_{m=1}^M \Pi_{Nm} = C_0 + \sum_{m=1}^M U_m \times \beta_m^n \times \sum_{n=1}^{N-1} p_n,$ <p>де <math>C_N</math> – середні очікувані витрати; <math>C_0</math> – одноразові витрати на улаштування конструкції; <math>U_m \beta_m^n</math> – приведені одноразові витрати від відмови в <math>n</math>-ому році експлуатації; <math>\beta^n = 1/(1+E)^n</math>; <math>M</math> – число можливих видів відмов; <math>p_n</math> – ймовірність <math>n</math>-ої відмови</p>	(6)
Перельмутер А.В. [15, с.47-48]	$C = C_K + C(T) =$ $= C_K + \int_0^T \{Y_K(t)p(t) - B(t)[1 - p(t)]\} \times e^{-rt} dt,$ <p>де <math>C_K</math> – вартість конструкції при її улаштуванні; <math>C(T)</math> – сумарні витрати за час її експлуатації; <math>Y_K(t)</math> – витрати від відмови, яка відбулася в момент часу <math>t</math>; <math>p(t)</math> – вірогідність відмови на інтервалі часу від <math>t</math> до <math>(t+dt)</math>; <math>B(t)</math> – дохід, який приносить об'єкт при безвідмовній роботі; <math>e^{-rt}</math> – коефіцієнт віддалення витрат; <math>r</math> – параметр дисконтування: <math>r = \ln(1+r_0)</math>; <math>r_0</math> – ставка дисконтування</p>	(7)

- існуючі на сьогодні ймовірно-економічні методи [15, 19, 22, 23, 29, 30] визначення оптимальної надійності конструкції (елемента) на основі мінімального значення повних витрат, які пов'язані з її улаштуванням і експлуатацією на протязі визначеного терміну часу будівлі, при прогнозуванні (очікуванні) відмов чи віддаленості витрат використовують коефіцієнт (параметр) дисконтування:  $(1+r_0)^t = e^{-rt}$  [15, с.48];  $e^{-vt}$  [19, с.13];  $e^{-\epsilon t} = (1+E_{н.п.})^t$  [22, с.68];  $e^{-\epsilon t} = (1/(1+E))^t$ ;  $\epsilon^t = \ln(1+E)^t$  [23, с.223];  $\beta^n = (1/(1+E_{н.п.}))^n$  [29, 30]. Витрати, які розраховуються за допомогою вище зазначених коефіцієнтів приведення, на практиці не співпадають з реальними витратами на ремонт конструкції (елемента): так на початковому етапі експлуатації конструкції (елемента) після її улаштування чи проведення капітального ремонту з повною ліквідацією її фізичного зносу витрати значні, а на кінцевому етапі, коли знос конструкції (елемента) значний, – витрати, що розраховуються за вище перерахованими методиками, становлять від 0,1 до 10% вартості конструкції (елемента) на її улаштування. Характер вище зазначеної зміну витрат наглядно приведено на графіках залежності витрат від рівня надійності у роботі [15, рис.3.3] та у роботі [29, рис.4].

Таким чином, невирішеною частиною загальної проблеми оптимізації надійності конструкцій (елементів) будівель і споруд, якій би відповідали мінімальні загальні витрати, є відсутність методики оцінки їх відповідальності з урахуванням періодичності проведення ремонтів та об'єму витрат за період їх експлуатації.

**Загальна мета досліджень** полягає у розробці методики оцінки відповідальності будівельних конструкцій (елементів) з урахуванням терміну та періодичності проведення їх поточних і капітальних ремонтів по ліквідації їх фізичного зносу в різних умовах їх експлуатації на основі оптимізації мінімальних значень витрат та їх надійності.

**Викладення основного матеріалу. Обґрунтування отриманих результатів.** Дійсним заходом підвищення довговічності конструкцій (елементів) в економічно доцільних межах є регулярне проведення профілактичних поточних їх ремонтів, в результаті яких періодично чи безпосередньо усуваються їх пошкодження і дефекти, тобто ліквідується фізичний їх знос. Важливою задачею поточних ремонтів являється попередження можливих ушкоджень, дефектів – фізичного зносу конструкцій (елементів). Своєчасне проведення поточних ремонтів конструкцій (елементів) з повною ліквідацією фізичного зносу відтерміновує початок проведення їх капітального ремонту, збільшуючи нормативний термін ( $T_K$ ) їх експлуатації до його проведення.

В нормативних документах [7, 18] приведені основні визначення поточного і капітального ремонтів та їх функцій:

- ◆ поточний ремонт будівлі ведеться з метою відновлення справності (працездатності) її конструкцій та систем інженерного обладнання, а також підтримання їх експлуатаційних якостей. Поточні ремонти проводяться в межах між двома капітальними ремонтами;

- ◆ капітальний ремонт будівлі проводиться з метою відновлення ресурсів її конструкцій (елементів), а при необхідності, з їх заміною, а також з метою поліпшення їх експлуатаційних якостей.

Залежно від специфіки проведення ремонтів, їх періодичності та нормативного терміну експлуатації конструкції (елемента) ( $T_K$ ), значення яких приводяться в нормативних документах [11, 18], усі конструкції (елементи) маємо можливість поділити на два основних типи:

- ◆ конструкції (елементи), які мають довготривалий нормативний термін експлуатації до капітального ремонту  $T_K > 20$  років;

- ◆ швидкозношувальні конструкції (елементи), які мають нормативний термін експлуатації до капітального ремонту  $T_K \leq 20$  років.

Ряд конструкцій (елементів) будівлі (споруди) залежно від середовища експлуатації і значень нормативного терміну експлуатації до капітального ремонту можуть одночасно відноситися до обох типів. Крім того на етапі експлуатації до капітального ремонту кожна конструкція чи елемент може залежно від середовища функціонування, яке також з часом може змінюватися, мати різний характер фізичного зносу: регресивний, прогресивний чи пропорційний. На рис.1 і рис.2 приведені види фізичного зносу несучих цегляних стін, які експлуатуються під впливом агресивного середовища при перезволоженні і в нормальних умовах з періодичністю проведення капітальних ремонтів за [11] відповідно  $T_K = 15 \dots 18$  років і  $T_K = 20 \dots 25$  років.

Регресивний знос конструкції (елемента) характеризується відносно високим темпом зносу на початковій стадії експлуатації з поступовим його затуханням. При регресивному зносі приріст зносу за кожний наступний рік зменшується в порівнянні з попереднім роком. Такий графік віддзеркалює можливість досить довгої експлуатації в значній мірі конструкцій (елементів), які мають дуже високий процент фізичного зносу.

Прогресивний знос характеризується приростом швидкості зношення конструкції (елемента) під час її експлуатації. При прогресивному зносі приріст зносу за кожний наступний рік збільшується в порівнянні з попереднім роком.

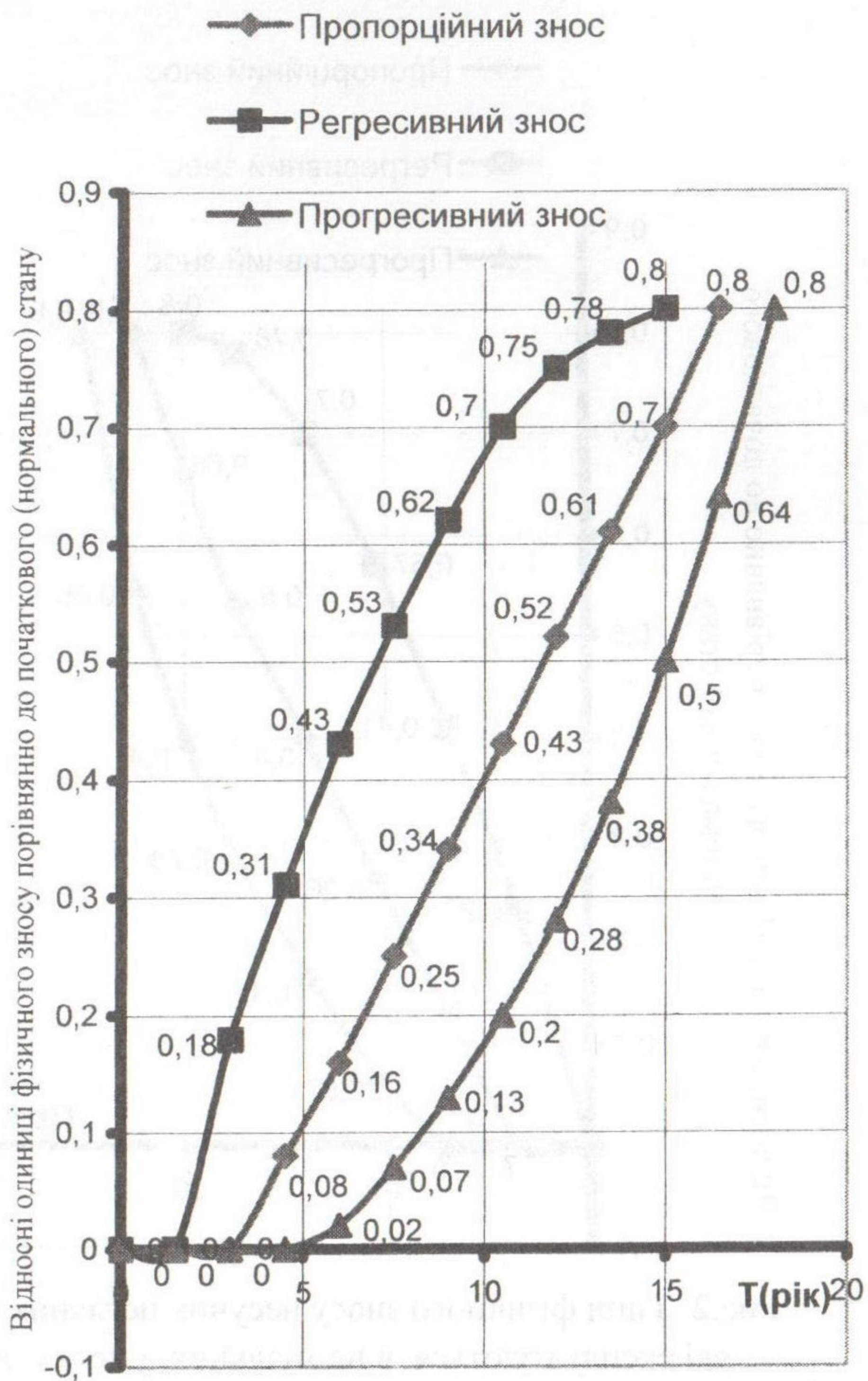


Рис.1. Типи фізичного зносу несучих цегляних стін будівель, які експлуатуються до капітального ремонту з періодичністю  $T_k=15...18$  років в агресивному середовищі з перезволоженням

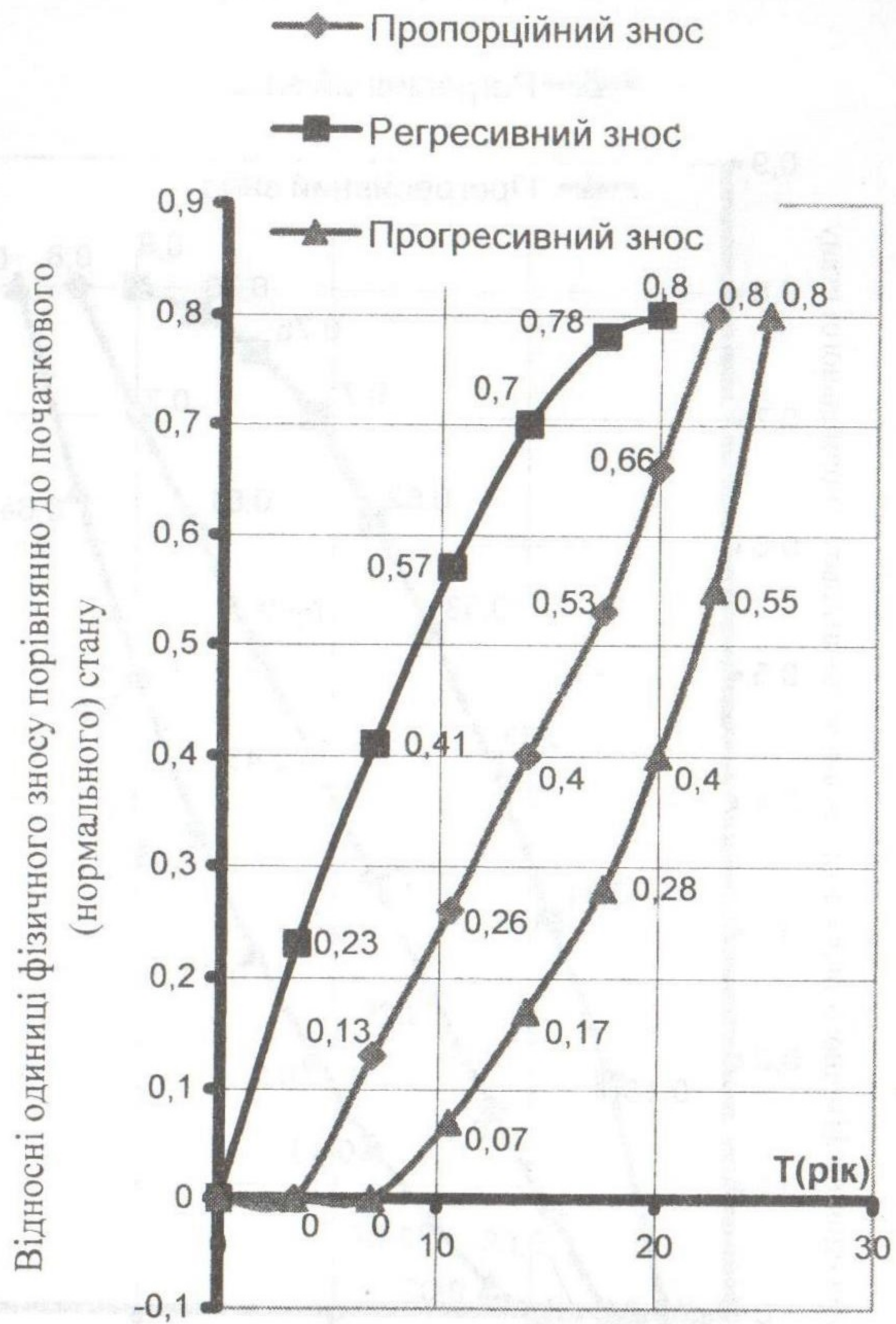


Рис.2. Типи фізичного зносу несучих цегляних стін, які експлуатуються в нормальних умовах до капітального ремонту з періодичністю  $T_k=20\dots25$  років



В реальних умовах експлуатації конструкції (елементи) мають більш складніший графік зносу, в якому комбінуються (поєднуються) різні типи фізичного зносу в різні моменти терміну їх експлуатації.

Отримання чисельних оптимальних (мінімальних) значень витрат ( $B(I)$ ) від відмов конструкції (елемента), які використовують на її ремонт, є задача вельми складна, яка залежить від імовірності та кількості відмов, часу їх виникнення, умов експлуатації конструкції, які впливають на характер її зносу. Для вирішення цієї задачі були прийняті наступні передумови:

♦ під чіткою відмовою конструкції (елемента) будівлі (споруди), яка експлуатується в межах часу від початку експлуатації до капітального ремонту або між двома капітальними ремонтами, пропонується приймати такі ознаки фізичного зносу та критерії, при яких подальша її експлуатація може призвести до її відмови (економічних витрат): втрати несучої здатності за граничним станом I-ої групи та нечіткої втрати своїх експлуатаційних якостей за критеріями та ознаками, які відповідно нормативних документів (СНиП, ДБН) класифікують їх граничний стан за II-ою групою. Вперше стан конструкцій при критичних, що перевищують граничні, значеннях деформацій та ширини розкриття тріщин, при яких утрудняється їх нормальна експлуатація, запропонував класифікувати, як граничний, М.С. Стрелецькій [32]. Вичерпну класифікацію граничних станів конструкцій залежно від видів порушень їх експлуатації та їх ознак, проаналізувавши вітчизняні методики проектування та методики міжнародних організацій ЕКВ і ISO, дав в своїй роботі [31] М.М. Стрелецькій, в якій він відмітив, що комплексний розвиток методу граничних станів дозволить отримати не тільки технічний, але й науково обґрунтований економічний ефект. Автори роботи [22] дають свою класифікацію чітких та нечітких відмов конструкцій залежно від ступеня і характеру росту показника середньомірної ваги наслідків, відмічаючи, що високі рівні розвитку механічних явищ зносу конструкцій призводять до шкоди, ліквідація якої потребує витрат;

♦ під нечіткою відмовою конструкції (елемента) будівлі (споруди), яка експлуатується в межах часу від початку експлуатації до капітального ремонту або між двома капітальними ремонтами, пропонується приймати такі ознаки фізичного її зносу та критерії, при яких подальша її експлуатація може призвести до її відмови (економічних витрат) або явища, в результаті якого виникли вищезазначені ознаки та критерії, які кваліфікують відповідно [8, 11] стадію фізичного зносу конструкції (елемента), як непридатну для нормальної експлуатації (III) (непрацездатний стан). Величини ознак чи критеріїв, які класифі-

кують чітку чи нечітку відмову за нормативними документами (СНиП, ДБН та іншими), не співпадають з вимогами нормативних документів [8, 11], по яким на сьогодні здійснюється аналіз технічного стану конструкцій (елементів), що експлуатуються. В результаті неузгодження граничних величин ознак і критеріїв відмов відбувається завищення одних порівняно з іншими або й зовсім відсутність окремих, в результаті чого аналіз технічного стану конструкцій оцінюється непридатним для експлуатації далеко від їх граничних станів, але для подальшої надійної експлуатації вона потребує проведення ремонтних робіт. Так, наприклад, за табл. 10 п.5.3 [8] гранична величина вигину окремого елемента сталюї ферми із її площини, який працює в справному технічному стані, становить  $f_x/l \leq 1/750$  і  $f_x \leq 15$  мм, коли в той же час автори роботи [17] пропонують визначати граничний стан таких елементів із спарених кутиків за трьома критеріями: вигинами  $f_x/l$  і  $f_y/l$  та відношенням діючого в них напруження до граничного  $\sigma/(\varphi R_y)$  (див. додаток 2 в [17]);

◆ кожна відмова конструкції (елемента) пов'язана з визначеною шкодою, в той же час набуття конструкцією (елементом) ознак фізичного зносу граничного стану фізичного зносу III за нормами [11] не призводить до вичерпування нею повної несучої здатності, але призводить до відмови із шкодою, яка буде рівна якійсь частці від вартості ремонтних робіт конструкції (елемента), які необхідно провести для повної ліквідації її фізичного зносу чи заміни. Для визначення цих витрат необхідно знати платіжну функцію  $V(I)$ , яка буде в проміжку від  $I_{\min}$  до  $I_{\max}$  зростати від 0 до  $V_K$ . Тут приймаються наступні позначення:  $V$  – шкода від однієї відмови;  $I$  – індикатор відмови (величина, яка характеризує фізичний стан конструкції чи елемента, коли необхідно проводити ремонт);  $I_{\min}$  – мінімальне значення індикатора відмови, при якому виникає шкода;  $I_{\max}$  – значення індикатора, яке відповідає повній втраті несучої спроможності конструкції чи елемента, коли необхідно провести капітальний ремонт з визначеними витратами  $V_K$ . Витрати  $V_K$  на улаштування та капітальний ремонт конструкції (елемента) приймаємо попередньо рівними. Кожному значенню індикатора відмови ( $I$ ) відповідає своя ймовірність його досягнення за визначений час  $T$  (роки), тобто своя функція надійності  $Q(I)$ ;

◆ приймаємо наступні залежності для платіжної функції  $V(I)$  залежно від ознак фізичного зносу конструкції (елемента), індикатора  $I$ :

$V(I)=0$  при  $I < I_{\min}$ ;  $V(I)=k \times V_K$  при  $I_{\min} \leq I \leq I_{\max}$ ;  $V(I)=V_K$  при  $I > I_{\max}$ , де  $k$  – коефіцієнт, який визначає степеневу чи показникову залежність між витратами на ремонт конструкції (елемента) та ступенем її фізичного зносу. Платіжна функція  $V(I)$  залежно від величин проміжних

витрат може мати, як і фізичний знос конструкції, пропорційний, регресивний чи прогресивний характер. На рис.3 приведений графік можливих характерів розподілу витрат на необхідний поточний ремонт (у відносних одиницях до витрат  $V_K$  на капітальний ремонт) відповідно для несучих цегляних стін, які експлуатуються до капітального ремонту в нормальних умовах з нормативною періодичністю  $T_K=20$  років;

◆ для більш чіткого розрахунку ймовірності  $Q(I)$  виникнення чіткої чи нечіткої відмов термін експлуатації конструкції (елемента) до поточного (профілактичного) чи капітального ремонтів, чи її заміни ділимо на три інтервали:

I-й часовий інтервал: від початку експлуатації конструкції (елемента), коли  $Q(I)=1,0$ , до появи перших ознак її фізичного зносу, коли ймовірність відмов становить  $Q(I_{min})$ ;

II-й часовий інтервал: від появи перших ознак фізичного зносу конструкції (елемента), коли ймовірність відмов становить  $Q(I_{min})$ , до терміну її експлуатації, коли в конструкції (елементі) появились або вона отримала такі ознаки фізичного зносу, які кваліфікують її стан, як граничний (непридатний для нормальної експлуатації (III)), відповідно [8, 11], тоді ймовірність відмов становить  $Q(I_{gr})$ , де  $I_{gr}$  – значення індикатора нечіткої чи чіткої відмов, при якому необхідно виконувати поточний ремонт,;

III-й часовий інтервал: від появи ознак фізичного зносу конструкції (елемента), коли ймовірність відмови становить  $Q(I_{gr})$  і коли конструкція (елемент) має такі ознаки фізичного зносу, які кваліфікують її стан, як граничний (непридатний для нормальної експлуатації (III)), відповідно [8, 11], до повного вичерпування нею її несучої здатності, факторами якого є її руйнування або набуття таких ознак фізичного зносу, які кваліфікують її стан, як критичний (аварійний (IV)), відповідно [8, 11]), коли ймовірність відмови конструкції (елемента) становить  $Q(I_{max})$  і коли необхідно виконувати її капітальний ремонт чи заміну.

Розглянувши два графіка на рис.2 і рис.3 можемо установити наступні часові інтервали фізичного зносу за термін експлуатації несучих цегляних стін, на яких маємо можливість розраховувати витрати на їх ремонт (у відносних одиницях до витрат  $V_K$  на капітальний ремонт), так:

◆ I-й часовий інтервал буде становити: при регресивному характері зносу стін від 0 до  $T=2$  років; при пропорційному – від 0 до  $T=5$  років; при прогресивному – від 0 до  $T=14$  роки;

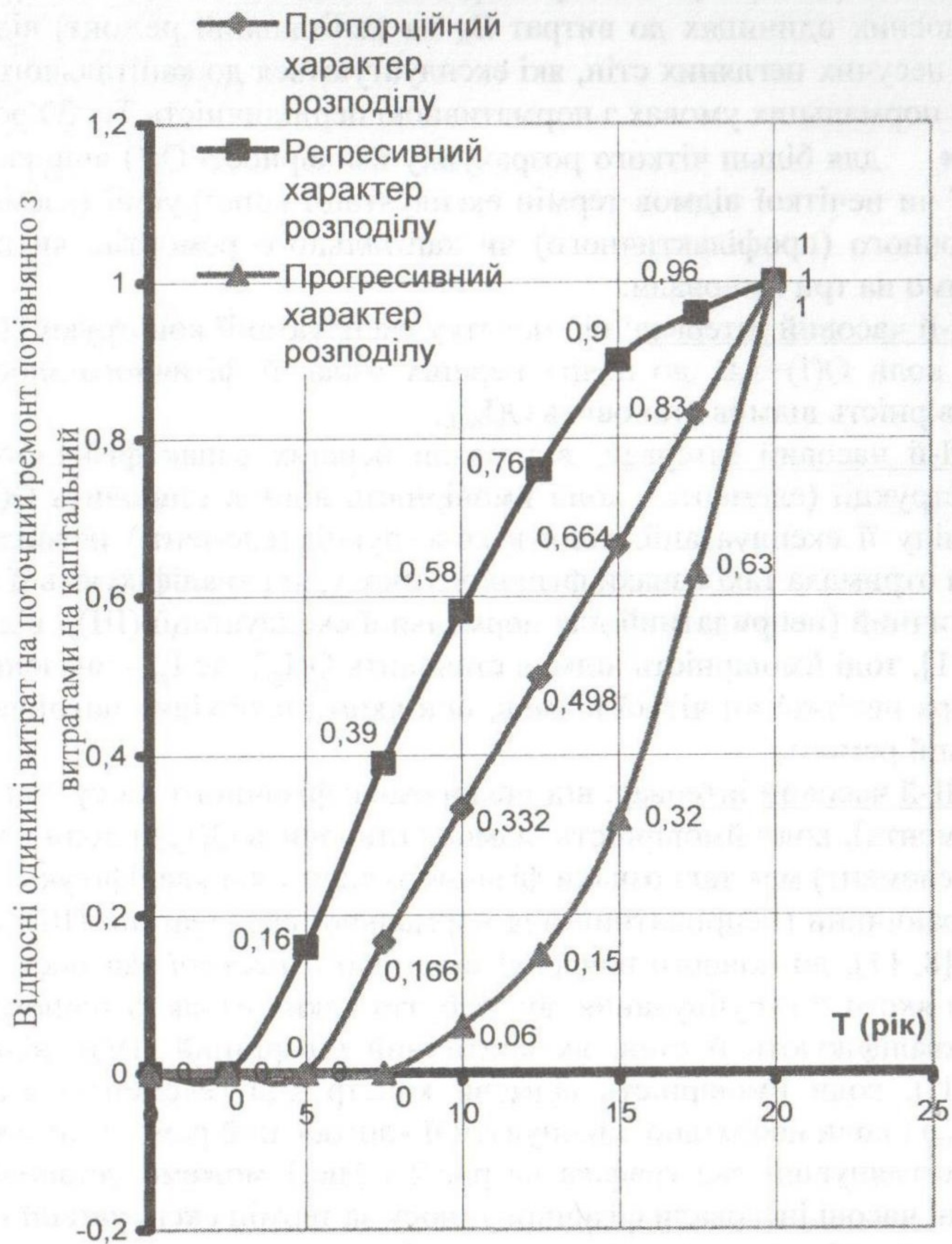


Рис.3. Характер розподілу витрат (у відносних одиницях) на потребуєний поточний ремонт несучих цегляних стін, які експлуатуються в нормальних умовах до проведення капітального ремонту з періодичністю  $T_k=20$  років

◆ II-й часовий інтервал, коли стіни будуть мати фізичний знос від 5-15% до 50-60%, становить: при регресивному характері зносу –  $2 \leq T < 9$  рік; при пропорційному зносі –  $5 \leq T < 17$  рік; при прогресивному зносі –  $14 \leq T < 22$  рік;

◆ III-й часовий інтервал, коли колони будуть мати фізичний знос від 50-60% до 80%, становить: при регресивному характері зносу –  $9 \leq T < 20$  рік; при пропорційному зносі –  $17 \leq T < 22$  рік; при прогресивному зносі –  $22 \leq T < 25$  рік.

Для визначення оптимальної надійності конструкції (елемента), тобто параметрів які визначають цю надійність, необхідно дослідити цільову функцію витрат від її чітких і нечітких відмов, які можуть виникнути на протязі експлуатації її до аварійного стану, в результаті яких необхідно своєчасно виконувати поточні чи капітальні ремонти. Оптимальні (мінімальні) значення витрат  $B(I)$  від чітких та нечітких відмов конструкції (елемента) (витрати на її ремонт), які можуть відбутися за визначений розрахунковий період (термін часу  $T$ , роки) її експлуатації, будемо визначати за формулами (8) за умов дотримання наступних співвідношень:

$$\left. \begin{aligned} B(I) &= B_K + \sum_{i=1}^m R(I)_i \Rightarrow \min; \\ \gamma_n \times \gamma_{nr} &\geq [\gamma_n]; \\ \gamma_{nr} &= 1 - \prod_{i=1}^m Q(I)_i, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

де  $B_K$  – витрати на улаштування конструкції (елемента);  $\gamma_n$  – коефіцієнт відповідальності конструкції (елемента) будівлі чи споруди, який визначається за рекомендаціями нових норм [4, 5] для розрахункових сталих та перехідних ситуацій;  $[\gamma_n]$  – коефіцієнт відповідальності конструкції (елемента) будівлі чи споруди, який визначається за рекомендаціями нових норм [4, 5] для розрахункової аварійної (граничної) ситуації;  $\gamma_{nr}$  – коефіцієнта відповідальності, який враховує ремонтпридатність конструкції (елемента системи) будівлі чи споруди;  $m$  – кількість проведених поточних і капітальних ремонтів, які необхідно провести за визначений період експлуатації конструкції (елемента) в результаті виникнення її чітких і нечітких відмов;  $\prod Q(I)$  – вірогідність сумісного настання двох і більше чітких і нечітких відмов за визначений термін експлуатації конструкції, яка визначається за формулою:

$$\prod_{i=1}^m Q(I)_i = Q(I)_1 \times Q(I)_2 \times \dots \times Q(I)_m, \quad (9)$$

де  $Q(I_1), Q(I_2), \dots, Q(I_m)$  – вірогідність здійснення чітких ( $Q(I_B)$ ) та нечітких ( $Q(I_{NB})$ ) відмов на визначеному етапі (часу  $T$ ) експлуатації конструкції (елемента) при різних її станах, коли виникає можливість чи необхідність проведення її поточного чи капітального ремонтів, визначається за допомогою спеціальної функції Лапласа на кожному інтервалі експлуатації конструкції (елемента) до капітального ремонту залежно від ступеня і характеру її фізичного зносу;

$\sum R(I)$  – сумарний ризик витрат за визначений період експлуатації конструкції (елемента), який визначається за формулою:

$$\sum_{i=1}^m R(I)_i = R(I_1) + R(I_2) + \dots + R(I_m), \quad (10)$$

де  $R(I)_1, R(I)_2, \dots, R(I)_m$  – ризики витрат, які виникають в результаті чітких чи нечітких відмов конструкції (елемента), які визначаються за формулою залежно від їх виду:

$$R(I)_i = Q(I_{NB}) \times V_{\Pi} \text{ (при нечіткій відмові)}, \quad (11)$$

$$R(I)_i = Q(I_B) \times V_K \text{ (при чіткій відмові)}, \quad (12)$$

де  $Q(I_B)$  – вірогідність здійснення чіткої відмови на етапі експлуатації конструкції (елемента) при критичному її стані, коли необхідно проводити її капітальний ремонт;  $Q(I_{NB})$  – вірогідність здійснення нечіткої відмови на етапі експлуатації конструкції (елемента) при задовільному чи граничному її станах, коли маємо можливість провести поточний її ремонт;  $V_{\Pi}$  – витрати на ліквідацію фізичного зносу конструкції (елемента) при нечіткій відмові (витрати на поточний ремонт), які визначаються за формулою:

$$V_{\Pi} = k \times V_K, \quad (13)$$

де  $k$  – коефіцієнт, який визначає залежність між витратами на ремонт конструкції (елемента) та ступенем її фізичного зносу, приймаємо рівним значенню, відповідно теоретичних викладок, які наведені в роботах [12-14]:

$$k = \sum_{i=1}^{m_K} \frac{1}{(1+E)^{T_K - (i-1)a}}, \quad (14)$$

де  $E$  – коефіцієнт капітальних вкладень, який приймається відповідно теоретичних даних робіт [12-14, табл.1] залежно від нормативного періоду  $T_K$  експлуатації конструкції (елемента) до капітального ремонту чи заміни;  $a$  – періодичність (крок) відрахувань коштів на ремонт конструкції (елемента) за нормативний період  $T_K$ , приймається рівним від 1 до 5 років;  $m_K$  – кількість разів відрахувань коштів на ремонт за визначений період часу  $t$ , який менший за нормативного періоду  $T_K$  часу,

терміну ефективної експлуатації конструкції (елемента) до капітального ремонту чи заміни ( $0 \leq t \leq T$ ), є функція цілого числа  $y = E(x) [m_K]$ :

$$m_K = [m_K] = t/a. \quad (15)$$

Чисельна залежність між кількістю поточних ( $n$ ) і капітальних ремонтів ( $kr$ ), які необхідно провести за розрахунковий визначений термін експлуатації конструкції (елемента), можемо визначити за формулами:

$$T = n \times t_{\text{ПР}} + kr \times T_K, \quad m = n + kr \quad (16)$$

де  $T$  – час експлуатації конструкції (елемента) від початку її улаштування до визначеного терміну, на який виконується розрахунок, роки;  $T_K$  – нормативний термін експлуатації конструкції (елемента) до капітального ремонту (періодичність його проведення), роки, приймається за діючими нормами [11, 18];  $t_{\text{ПР}}$  – час експлуатації конструкції (елемента) від початку її улаштування до початку проведення профілактичного (поточного) ремонту чи від кінця проведення останнього капітального ремонту до початку проведення поточного,  $t_{\text{ПР}} < T_K$ , роки, приймається у відсотках від  $T_K$ .

В практиці не завжди чітко маємо можливість отримати значення коефіцієнта ремонтпридатності конструкції (елемента)  $\gamma_{\text{пр}}$ , так як його розрахунок пов'язаний з різними факторами, одним із яких є своєчасне проведення профілактичного (поточного) ремонту. Тому основною задачею, яку ми можемо виконати за запропонованою вище методикою, є отримання мінімального значення витрат на проведення ремонтів конструкцій (елементів), які необхідно проводити в результаті виникнення їх нечітких відмов при умові дотримання достатньої їх відповідальності (надійності).

На рис.4 наведені графіки загальних витрат на ремонт (у відносних одиницях до витрат  $V_K$  на один капітальний ремонт) несучих цегляних стін, які експлуатуються в нормальних умовах з нормативною періодичністю проведення капітальних ремонтів  $T_K = 20$  років [11]. Розрахунок витрат проводився на термін  $T = 60$  років, який був прийнятий рівним орієнтовному терміну експлуатації виробничих і допоміжних будівель, відповідно [4, табл.2] та [6, додаток В]. За верхню границю розподілу витрат на ремонт цегляних стін прийнята умова проведення тільки капітальних ремонтів з періодичністю  $T_K = 20$  років, а за нижню – умова проведення тільки поточних ремонтів з періодичністю  $t_{\text{ПР}} = 15$  років при фізичному зносі цегляних стін від 30 до 60% (див. рис. 4). Приведені на рис.4 графіки розподілу загальних витрат на ремонт несучих цегляних стін за визначений період їх експлуатації  $T = 60$  років є граничними графіками проведення ремонтів, усі інші варіанти графіків проведення ремонтів, і також оптимальний, будуть потрапляти в сектор між двома

граничними графіками. Для наочності запропонованої вище методики приводимо приклад розрахунку витрат та надійності конструкцій цегляних стін на визначений термін експлуатації будівлі залежно від стадії фізичного зносу, середовища експлуатації, терміну і періодичності проведення ремонтів.

**Приклад.** Необхідно розрахувати витрати від чітких та нечітких відмов цегляних стін (витрати на їх ремонт), які можуть відбутися за визначений розрахунковий період експлуатації будівлі  $T=60$  років при дотриманні умов граничної відповідальності (їх надійності) за співвідношеннями (8). Відповідно [11] цегляні стіни промислової будівлі, які експлуатуються під впливом динамічних і вібраційних навантажень, мають нормативну періодичність проведення капітального ремонту  $T_K=12-15$  років, при експлуатації за нормальних умов –  $T_K=20-25$  років, а в агресивному середовищі –  $T_K=15-18$  років. Граничні межі нормативної періодичності проведення капітальних ремонтів цегляних стін становлять  $T_K=12-25$  років, а середнє їх значення відповідно  $T_{K,сер}=18,5$  років. Середньоквадратичне відхилення фактичних термінів проведення ремонтів від терміну проведення ремонту при пропорційній залежності між фізичним зносом і часом експлуатації конструкції до капітального ремонту становить  $\hat{S}=6,5$  років. Несучі цегляні стіни будівлі є головними несучими конструкціями, які відносяться до категорії відповідальності А1 (відповідно [4, п.4]) і експлуатуються в будівлі, яка відноситься до 3-го класу відповідальності відповідно вимог табл.1 [4], для яких  $[\gamma_n]=0,95$ .

**Рішення.** На попередньому етапі розрахунку приймаємо пропорційну залежність між фізичним зносом цегляних стін і часом їх експлуатації до капітального ремонту, розбиваємо термін експлуатації стін  $T_{K,сер}=18,5$  років на три часових інтервали їх фізичного зносу: I часовий інтервал  $0 \leq t \leq 6$  років – фізичний стан конструкції нормальний; II часовий інтервал  $6 < t \leq 12$  років – фізичний стан конструкції задовільний; III часовий інтервал  $12 < t \leq 18,5$  років – фізичний стан конструкції непридатний для нормальної експлуатації.

Визначаємо за [1, формула (64)] ймовірність виникнення нечіткої відмови, наслідком якої є проведення поточного ремонту цегляних стін на III-му часовому інтервалі їх експлуатації в межах  $12 < t \leq 18,5$  років, коли вони будуть мати фізичний знос від 50-60% до 80%, при середньоквадратичному відхиленні фактичного терміну проведення ремонтів від терміну проведення ремонту при пропорційній залежності між фізичним зносом і часом експлуатації конструкції до капітального ремонту  $\hat{S}=6,5$  років:



- При регресивному зносі і проведенні тільки капітального ремонту"
- ◆ При прогресивному зносі і проведенні тільки поточного ремонту на стадії фізичного зносу III (непридатному для нормальної експлуатації)

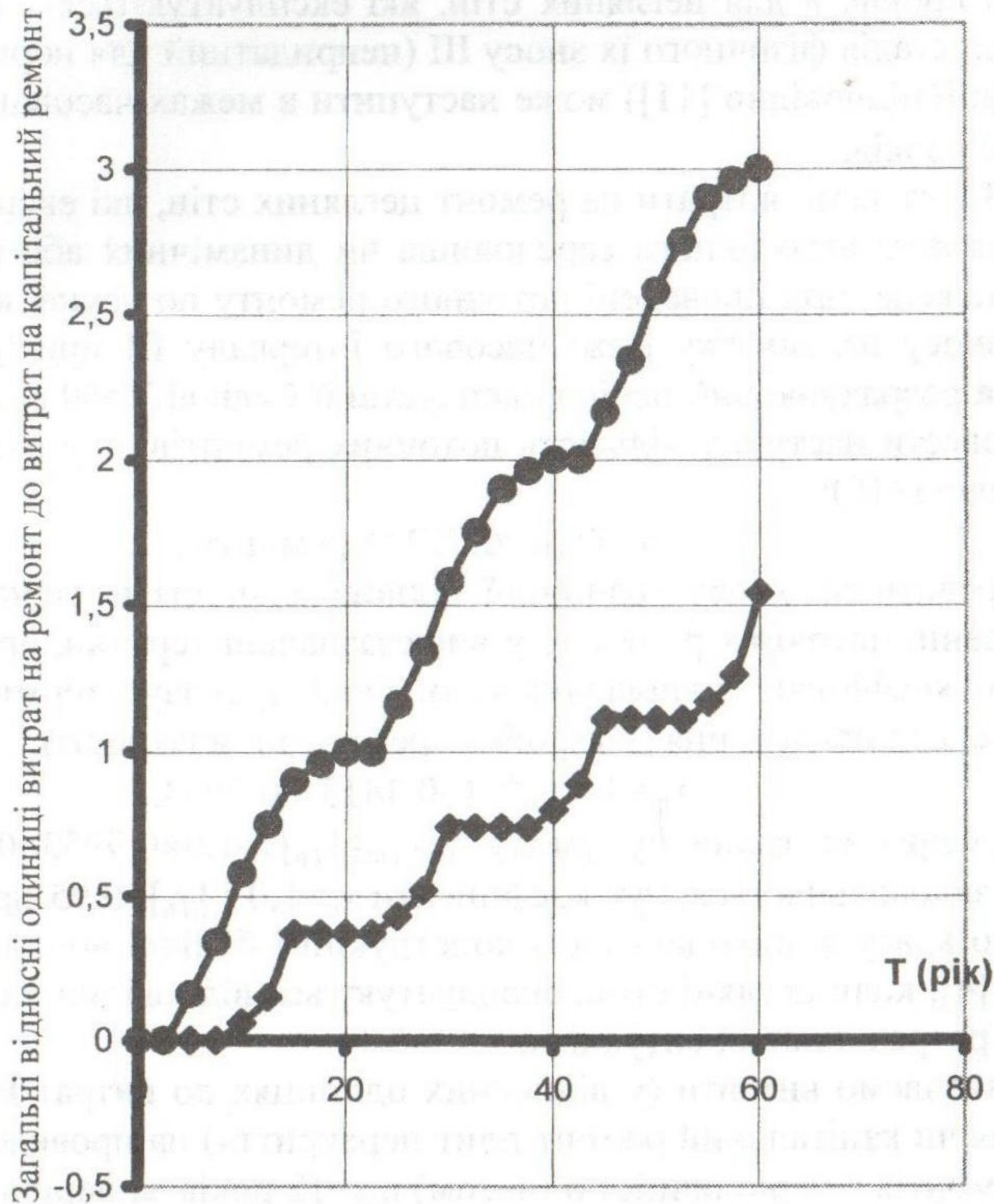


Рис.4. Загальні витрати на ремонт (у відносних одиницях до витрат на один капітальний ремонт) несучих цегляних стін, які експлуатуються в нормальних умовах з періодичністю проведення капітальних ремонтів  $T_k=20$  років

$$Q_{III}=[12 \leq t \leq 18,5]=1/2[\Phi((18,5-18,5)/6,5)-\Phi((12-18,5)/6,5)]=$$

$$=1/2[\Phi(0)-\Phi(-1)]=1/2[0+0,6827]=0,3413.$$

При середньоквадратичному відхиленні  $\bar{S}=6,5$  років фактичного терміну проведення ремонтів від терміну проведення ремонту при пропорційній залежності між фізичним зносом і часом експлуатації цегляних стін до капітального ремонту, які знаходяться під впливом агресивного середовища чи динамічних або вібраційних навантажень, стадія фізичного їх зносу III (непридатний для нормальної експлуатації відповідно [11]) може наступити в межах часового інтервалу  $12 < t \leq 15$  років, а для цегляних стін, які експлуатуються в нормальних умовах, стадія фізичного їх зносу III (непридатний для нормальної експлуатації відповідно [11]) може наступити в межах часового інтервалу  $20 < t \leq 25$  років.

1. Визначаємо витрати на ремонт цегляних стін, які експлуатуються під впливом агресивного середовища чи динамічних або вібраційних навантажень, при проведенні поточного ремонту по усуненню їх фізичного зносу на початку межі часового інтервалу III при  $t_{ГР}=12$  років. Тоді за розрахунковий період експлуатації будівлі  $T=60$  років необхідно провести наступну кількість поточних ремонтів, яку визначаємо за формулою (16):

$$n=T/t_{ГР}=60/12=5 \text{ ремонтів.}$$

Перевіряємо умову граничної відповідальності цегляних стін при проведенні поточних ремонтів у вищезазначені терміни, спочатку знаходимо коефіцієнт відповідальності, який враховує терміни та періодичність їх проведення (коефіцієнт ремонтопридатності):

$$\gamma_{гр}=1-Q_{III}^n=1-0,3413^5=0,9953.$$

Перевіряємо граничну умову  $\gamma_n \times \gamma_{гр} \geq [\gamma_n] \Rightarrow 1,0 \times 0,9953 = 0,9953 > 0,95$ , умова задовольняється, тут коефіцієнти  $\gamma_n=1,0$  і  $[\gamma_n]=0,95$  прийняті відповідно класу відповідальності конструкції і будівлі відповідно вимог табл.4 [4], коли цегляні стіни експлуатуються відповідно в сталій і аварійній розрахункових ситуаціях.

Визначаємо витрати (у відносних одиницях до витрат  $V_K$  на улаштування чи капітальний ремонт плит перекриття) на проведення поточних ремонтів з періодичністю (часом)  $t_{ГР}=12$  років за період експлуатації цегляних стін в агресивному середовищі чи під дією вібраційних або динамічних навантажень  $T=60$  років:

$$\begin{aligned}
V &= V_K + \sum_{i=1}^n Q_{III} \times \sum_{i=1}^{m_K} \frac{V_K}{T_K^{-(i-1)a} (1+E)} = V_K \times (1 + \\
&+ \sum_{i=1}^5 0,3413 \times \sum_{i=1}^4 \frac{1}{(1+0,25)^{15-(i-1) \times 3}}) = V_K \times (1 + 5 \times 0,3413 \times \\
&\times (0,0351 + 0,0687 + 0,1342 + 0,2621)) = 1,853 \times V_K
\end{aligned}$$

де  $T_K=15$  років (відповідно додатку 2.8 [11]),  $a=3$  роки,  $E=0,25$  (відповідно табл.1 [12-14]),  $m_K=t_{IP}/a=12/3=4$  відрахувань.

2.Визначаємо витрати на ремонт цегляних стін, які експлуатуються під впливом агресивного середовища чи динамічних або вібраційних навантажень, при проведенні поточного ремонту по усуненню їх фізичного зносу в кінці межі часового інтервалу III при  $t_{IP}=15$  років. Тоді за розрахунковий період експлуатації будівлі  $T=60$  років необхідно провести наступну кількість ремонтів, яку визначаємо за формулою (16):

$$n=T/t_{IP}=60/15=4 \text{ ремонти.}$$

Перевіряємо умову граничної відповідальності цегляних стін при проведенні поточних ремонтів у вищезазначені терміни, спочатку знаходимо коефіцієнт відповідальності, який враховує терміни та періодичність їх проведення (коефіцієнт ремонтпридатності):

$$\gamma_{mr}=1-Q_{III}^n=1-0,3413^4=0,98643.$$

Перевіряємо граничну умову  $\gamma_n \times \gamma_{mr} \geq [\gamma_n] \Rightarrow 0,95 \times 0,98643 = 0,937 < 0,95$ , умова не задовольняється, тут коефіцієнти  $\gamma_n=0,95$  і  $[\gamma_n]=0,95$  прийняті відповідно класу відповідальності конструкції і будівлі відповідно вимог табл.4 [4], коли цегляні стіни експлуатуються відповідно в перехідній і аварійній розрахункових ситуаціях.

Визначаємо витрати (у відносних одиницях до витрат  $V_K$  на улаштування чи капітальний ремонт цегляних стін) на проведення поточних ремонтів з періодичністю (часом)  $t_{IP}=15$  років за період експлуатації цегляних стін в агресивному середовищі чи під дією вібраційних або динамічних навантажень  $T=60$  років:

$$\begin{aligned}
V &= B_K + \sum_{i=1}^n Q_{III} \times \sum_{i=1}^{m_K} \frac{B_K}{T_K^{-(i-1)a} (1+E)^i} = B_K \times (1 + \\
&+ \sum_{i=1}^4 0,3413 \times \sum_{i=1}^5 \frac{1}{(1+0,25)^{15-(i-1) \times 3}} = B_K \times (1 + 4 \times 0,3413 \times \\
&\times (0,0351 + 0,0687 + 0,01342 + 0,02621 + 0,512)) = 2,381 \times B_K
\end{aligned}$$

де  $T_K=15$  років (відповідно додатку 2.8 [11]),  $a=3$  роки,  $E=0,25$  (відповідно табл.1 [12-14]),  $m_K=[m_K]=t_{IP}/a=15/3=5 \cong 5$  відррахувань.

3. Визначаємо витрати на ремонт цегляних стін, які експлуатуються в нормальних умовах, при проведенні поточного ремонту по усуненню їх фізичного зносу на початку межі часового інтервалу III при  $t_{IP}=20$  років. Тоді за розрахунковий період експлуатації будівлі  $T=60$  років необхідно провести наступну кількість ремонтів, яку визначаємо за формулою (16):

$$n = T/t_{IP} = 60/20 = 3 \text{ ремонти.}$$

Перевіряємо умову граничної відповідальності цегляних стін при проведенні поточних ремонтів у вищезазначені терміни, спочатку знаходимо коефіцієнт відповідальності, який враховує терміни та періодичність їх проведення (коефіцієнт ремонтпридатності):

$$\gamma_{nr} = 1 - Q_{III}^n = 1 - 0,3413^3 = 0,96.$$

Перевіряємо граничну умову  $\gamma_n \times \gamma_{nr} \geq [\gamma_n] \Rightarrow 1,0 \times 0,96 = 0,96 > 0,95$ , умова задовольняється, тут коефіцієнти  $\gamma_n=1,0$  і  $[\gamma_n]=0,95$  прийняті відповідно класу відповідальності конструкції і будівлі відповідно вимог табл.4 [4], коли цегляні стіни експлуатуються відповідно в сталій і аварійній розрахункових ситуаціях.

Визначаємо витрати (у відносних одиницях до витрат  $B_K$  на улаштування чи капітальний ремонт цегляних стін) на проведення поточних ремонтів з періодичністю (часом)  $t_{IP}=20$  років за період експлуатації цегляних стін в нормальних умовах  $T=60$  років:

$$\begin{aligned}
V &= B_K + \sum_{i=1}^n Q_{III} \times \sum_{i=1}^{m_K} \frac{B_K}{T_K^{-(i-1)a} (1+E)^i} = B_K \times (1 + \\
&+ \sum_{i=1}^3 0,3413 \times \sum_{i=1}^4 \frac{1}{(1+0,145)^{25-(i-1) \times 5}} = B_K \times (1 + 3 \times 0,3413 \times \\
&\times (0,0338 + 0,06666 + 0,1312 + 0,2582)) = 1,501 \times B_K
\end{aligned}$$

де  $T_K=25$  років (відповідно додатку 2.8 [11]),  $a=5$  роки,  $E=0,145$  (відповідно табл.1 [12-14]),  $m_K=[m_K]=t_{IP}/a=20/5=4$  відрахувань.

4. Визначаємо витрати на ремонт цегляних стін, які експлуатуються в нормальних умовах, при проведенні поточного ремонту по усуненню їх фізичного зносу в кінці межі часового інтервалу III при  $t_{IP}=25$  років. Тоді за розрахунковий період експлуатації будівлі  $T=60$  років необхідно провести наступну кількість ремонтів, яку визначаємо за формулою (16):

$$n=[n]=T/t_{IP}=60/25=2,4 \approx 2 \text{ ремонти.}$$

Перевіряємо умову граничної відповідальності цегляних стін при проведенні поточних ремонтів у вищезазначені терміни, спочатку знаходимо коефіцієнт відповідальності, який враховує терміни та періодичність їх проведення (коефіцієнт ремонтпридатності):

$$\gamma_{nr}=1-Q_{III}^n=1-0,3413^2=0,8835.$$

Перевіряємо граничну умову  $\gamma_n \times \gamma_{nr} \geq [\gamma_n] \Rightarrow 0,95 \times 0,8835 = 0,84 < 0,95$ , умова не задовольняється, тут коефіцієнти  $\gamma_n=0,95$  і  $[\gamma_n]=0,95$  прийняті відповідно класу відповідальності конструкції і будівлі відповідно вимог табл.4 [4], коли цегляні стіни експлуатуються відповідно в перехідній і аварійній розрахункових ситуаціях.

Визначаємо витрати (у відносних одиницях до витрат  $V_K$  на улаштування чи капітальний ремонт цегляних стін) на проведення цегляних стін з періодичністю (часом)  $t_{IP}=25$  років за період експлуатації цегляних стін в нормальних умовах  $T=60$  років:

$$V = V_K + \sum_{i=1}^n Q_{III} \times \sum_{i=1}^{m_K} \frac{V_K}{T_K - (i-1)a} = V_K \times (1 + \sum_{i=1}^2 0,3413 \times \sum_{i=1}^5 \frac{1}{25 - (i-1) \times 5} = V_K \times (1 + 2 \times 0,3413 \times (0,0338 + 0,06666 + 0,1312 + 0,2582 + 0,5081)) = 1,681 \times V_K$$

де  $T_K=25$  років (відповідно додатку 2.8 [11]),  $a=5$  роки,  $E=0,145$  (відповідно табл.1 [12-14]),  $m_K=[m_K]=t_{IP}/a=25/5=5$  відрахувань.

Результати розрахунків для більш наочного порівняння зводимо в табл.2.

Таблиця 2.

Значення величин, що порівнюються	Середовище експлуатації несучих цегляних стін			
	Агресивне середовище при перезволоженні, при вібраційних і динамічних навантаженнях при часовому інтервалі (межі) експлуатації на стадії фізичного зносу III $12 \leq t \leq 15$ років		За нормальних умов при часовому інтервалі (межі) експлуатації на стадії фізичного зносу III $20 \leq t \leq 25$ років	
	На початку інтервалу	В кінці інтервалу	На початку інтервалу	В кінці інтервалу
$\gamma_{nr}$	0,9953	0,98643	0,96	0,8835
$\gamma_n \times \gamma_{nr} \geq [\gamma_n]$	$0,9953 > 0,95$	$0,937 < 0,95$	$0,96 > 0,95$	$0,84 < 0,95$
$B$	$1,853 \times B_K$	$2,381 \times B_K$	$1,501 \times B_K$	$1,681 \times B_K$

В результаті порівняння отриманих величин: витрат на ремонт  $B$  і умов граничної відповідальності (надійності) конструкцій несучих цегляних стін можемо зробити наступний висновок: своєчасне проведення поточних профілактичних ремонтів на початку часового інтервалу експлуатації конструкцій, коли виникли ознаки їх фізичного зносу, які кваліфікують відповідно [11] їх технічний стан, як непридатний для нормальної експлуатації (III), забезпечує їх несучу здатність за граничними станами I і II груп, тобто достатню їх відповідальність (надійність), з мінімальними витратами.

**Висновок та перспективи подальших розробок.** Проведені дослідження дозволили зробити такий висновок: запропонована методика дозволяє у загальному вигляді оцінити відповідальність конструкцій (елементів) в процесі їх експлуатації до капітального ремонту. Вона враховує об'єм та періодичність проведення ремонтів по ліквідації фізичного зносу конструкцій (елементів) в різних умовах їх експлуатації за визначений термін служби будівлі чи споруди.

Метою подальших досліджень є розробка методики оцінки відповідальності будівель і споруд залежно від їх конструктивного вирішення, пристосованості їх конструкцій (елементів) до періодичних оглядів, поточних і капітальних ремонтів. Вирішення цієї задачі неможливе без попередньої роботи по розподіленню (класифікації) усіх можливих ознак фізичного зносу кожної конструкції (елемента) будівель (споруд) залежно від їх можливих станів та нормованої шкоди.

1. Авиром Л.С. Надёжность конструкций сборных зданий и сооружений. – Л.:Стройиздат, 1971.– 215 с.
2. Булычев А.П. Вероятностно-экономический метод определения эквивалентных нагрузок на несущие элементы покрытия // Строительная механика и расчет сооружений. – 1982. – № 1. – С. 6-9.
3. ГОСТ 27751-88 (СТ СЭВ 384-97). Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчёту. – М.: Изд-во стандартов, 1988.– 10 с.
4. Гордеев В.Н, Микитаренко М.А., Перельмутер А.В. О проекте ДБН «Общие принципы обеспечения надёжности и безопасности зданий, сооружений, строительных конструкций и оснований» // Строительное производство. – межведомственный науч.-техн. сб., вып. 44. К.: 2003. – С. 50-58.
5. ДБН В. 1. 2 – 97. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності і безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. (Проект). – К.: УкрНДПСК, 1997. – 57 с.
6. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування – Затв. наказом Мінбуду України від 03.07.2006 р. №220; Строк введ. в дію з 1 січня 2007 р.– 60 с.
7. ДБН В.3.1-1-2002. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд.– Затв. наказом Держбуду України від 02.12.2002 р. №85; Строк введ. в дію 1 липня 2003 р.– 82 с.
8. ДБН 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації / Держбуд України.– К.: Укрархбудінформ, 1995.– 46 с.
9. Дривинг А.Я. Вероятностно-экономический метод в нормах расчёта строительных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. – 1982. – № 3. – С. 7-11.
10. Дривинг А.Я. Экономический подход к определению оптимальных запасов конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. – 1973. – № 5. – С. 7-10.
11. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. Затверджені спільним наказом Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України та Держнаглядохоронпраці України від 27 листопада 1997р. за № 32/288.
12. Овсій О.Д. Розрахунок експлуатаційних витрат на капітальний ремонт будівлі чи споруди, // Комунальне господарство міст: Економічні науки. Наук.-техн. зб., вип. 62.– К.: Техніка, 2005. – С.187-195.
13. Овсій О.Д., Овсій М.О. Прогнозування витрат на капітальний і поточний ремонт конструкцій, будівель і споруд – один із напрямків розрахунку коштів на відновлення та підвищення їх залишкового ресурсу // Науковий вісник будівництва.– Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ.– 2005.– №33.– С.44-48.
14. Овсий Е.Д. Расчёт эксплуатационных затрат по повышению долговечности конструкции (элемента), здания или сооружения // Бетон и железобетон в Украине.– 2006.– №1.–С.23-28.
15. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надёжности и безопасности строительных конструкций.– К.: Изд-во УкрНИИпроектстальконструкция, 1999. – 212 с.
16. Пічугін С.Ф., Семко О.В. Оптимізація фінансових ризиків при аналізі конструктивних рішень інвестиційних проектів / Економіка і регіон – 2005. – №1 (4). – С. 66-68.
17. Повышение долговечности металлических конструкций промышленных зданий / А.И. Кикин, А.А. Васильев, Б.Н. Кошутин и др.; Под ред. А.И. Кикина.– М.: Стройиздат, 1984.– 301 с.
18. Положение об

организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения. Нормы проектирования: ВСН 58–88(р)/ Госкомархитектуры.– М.: Стройиздат, 1990.– 32 с. **19.** Почтман Ю.М., Харитон Л.Е. Оптимальное проектирование конструкций с учётом надёжности // Строительная механика и расчет сооружений. – 1976. – № 6. – С. 8-14. **20.** Ржаницын А.Р. К проблеме расчётов сооружений на безопасность // Вопросы безопасности и прочности строительных конструкций. Труды института ЦНИИСК.– М.: Госстройиздат, 1952.– С.14-23. **21.** Ржаницын А.Р. Определение характеристики безопасности и коэффициентов запаса из экономических соображений // Вопросы теории пластичности и прочности строительных конструкций. Труды института ЦНИИСК, выпуск 4.– М.: Госстройиздат, 1961.– С.5-21. **22.** Ржаницын А.Р., Снарскис Б.Й., Сухов Ю.Д. Основные положения вероятностно-экономической методики расчёта строительных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. – 1979. – № 3. – С. 67-71. **23.** Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с. **24.** Ржаницын А.Р. Экономический принцип расчёта на безопасность // Строительная механика и расчет сооружений. – 1973. – № 3. – С. 3-5. **25.** Семко О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій. – К.: Сталь. – 2004. – 316 с. **26.** Семко О.В. Застосування теорії ризиків для визначення коефіцієнту надійності за призначенням // Современные строительные конструкции из металла и древесины. Сб. научных трудов. – Одеса.: ОГАСА. – 2005. – С.178-185. **27.** Сухов Ю.Д., Булычёв А.П. Применение теории надёжности для нормирования расчётных значений нагрузок // Строительная механика и расчёт сооружений. – 1976. – №6. – С. 15-19. **28.** Сухов Ю.Д. Вероятностно-экономическая модель процесса эксплуатации строительных конструкций // Строительная механика и расчёт сооружений. – 1975. – №4. – С. 13-16. **29.** Сухов Ю.Д. Методика оценки ответственности статически неопределимых систем // Исследования по строительной механике и надёжности конструкций / Сб. научн. трудов ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, под ред. В.Д. Райзера и Г.А. Гениева. – М.: ПЭМ ВНИИИС Госстроя СССР, 1986. – С. 89-109. **30.** Сухов Ю.Д. Некоторые особенности теории надёжности строительных конструкций // Строительная механика и расчёт сооружений. – 1975. – №2. – С. 6-10. **31.** Стрелецкий Н.Н. Первоочередные вопросы развития методики предельных состояний // Развитие методики расчёта по предельным состояниям.– М.: Стройиздат, 1971.– С.87-95. **32.** Стрелецкий Н.С. Развитие методики расчёта по предельным состояниям // Развитие методики расчёта по предельным состояниям.– М.: Стройиздат, 1971.– С.5-43.