

УДК 624.046.5 : 69.059.4

С.В.КЛИМЕНКО, канд. техн. наук

Одеська державна академія будівництва та архітектури

М.О.ОВСІЙ

ПП «Будекспертиза», м.Полтава

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ З УРАХУВАННЯМ ПРОВЕДЕННЯ ЇХ РЕМОНТІВ

Пропонується методика оцінки відповідальності будівельних конструкцій (елементів) на основі оптимізації мінімальних витрат, які можуть виникнути в результаті “чітких” і “нечітких” їх відмов, 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 $\gamma_{вр}$, 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 $\gamma_{вр}$ дає можливість координувати коефіцієнт відповідальності $\gamma_{п}$, який оцінює економічні та неекономічні втрати в сталих, перехідних та аварійних розрахункових ситуаціях конструкцій (елементів), а також точніше оцінити вплив термінів проведення поточних і капітальних ремонтів на їх довговічність.

Довговічність конструкцій та елементів будівлі чи споруди оцінюється їх тривалістю безвідмовної роботи (з можливими перервами для проведення профілактичного (поточного) ремонту) у визначених експлуатаційних умовах з моменту зведення до повної втрати експлуатаційних якостей, коли необхідно проводити їх капітальний ремонт. Регулятором довговічності конструкцій (елементів) є ремонтпридатність об’єкта: пристосованість його конструкцій (елементів) до періодичних оглядів, поточних і капітальних ремонтів.

Одним із питань, які регламентують забезпечення надійності на всіх етапах життєвого циклу конструкції (елемента), будівлі (споруди), відповідно проекту нових норм [6, 8], є оцінка їх технічного стану, а також своєчасний їх ремонт і відновлення. На сьогодні основним критерієм, яким враховується значимість конструкції і об’єкта в цілому, а також можливі наслідки їх відмови, є коефіцієнт відповідальності $\gamma_{п}$, який визначається відповідно до проекту норм [6, 8], залежно від класу об’єкта та типу розрахункової ситуації. У зв’язку з відсутністю коефіцієнта відповідальності $\gamma_{п}$, як відмічають автори роботи [17], конструкції (елементи) різного призначення, що використовуються в будівлях (спорудах) різної відповідальності, проектуються за одними нормами і

правилами, які забезпечують достатню їх надійність, а відомо, що конструкції повинні мати різну надійність залежно від відповідальності об'єктів. Тому автори роботи [17] пропонують запровадити в норми проектування коефіцієнт відповідальності γ_n , який дозволить диференційовано підійти до рівня надійності конструкцій (елементів), при цьому отримати визначений економічний ефект.

Як зазначають автори роботи [17], постійні вимоги до підвищення надійності конструкцій (елементів) не можуть бути єдиними визначеними при їх проектуванні, оскільки призводять до збільшення їх вартості та вартості об'єкта, одноразових витрат коштів при його будівництві, а з іншого боку – до зменшення витрат, які пов'язані з їх ремонтом, періодичність проведення, довготривалість і вартість яких також залежить від їх надійності. Таким чином, задача вибору оптимального рівня надійності конструкції (елемента) зводиться до деякого розумного збалансування одноразових витрат і наслідків відмов, під якими розуміється явище, що призводить до шкоди (матеріальної, моральної, соціальної та ін.). Ця багатокритеріальна оптимізаційна задача дуже складна тільки при урахуванні економічних факторів, а ще більше ускладнюється тим, що на сьогодні не знайдено практичний спосіб зіставлення економічних витрат з громадською шкодою, яка викликає загрозу для життя людей.

Питанню визначення оптимального рівня надійності конструкцій (елементів) приділялася значна увага на протязі всієї історії розвитку імовірнісних методів розрахунку. О.Р.Ржаніцин [21,22], розглядаючи економічні принципи розрахунку на безвідмовність, запропонував назначати необхідний рівень надійності конструкцій з умови мінімізації математичного сподівання очікуваних витрат на зведення та ремонт будівель і споруд на протязі встановленого строку експлуатації. Методи розв'язання задачі про одночасне забезпечення надійності і економічності конструкції були розроблені А.Я.Дрвінгом, М.М.Складневим, Б.І.Снарскісом, Ю.Д.Суховим і А.П.Буличевим [5, 11, 12, 25-29]. Як основний принцип проектування було прийнято принцип оптимальної економічності при забезпеченні необхідної надійності за розрахунковий термін експлуатації. Згодом даний підхід набув розвитку в роботах С.Ф.Пічугіна й О.В.Семка [19, 23, 24], особливістю яких стали пропозиції щодо мінімізації функції середніх витрат поблизу базової (ключової) точки. Роль останньої відіграє вартість конструкції, яка запроєктована без використання часткових коефіцієнтів надійності методу граничних станів. Більш глибоке осмислення та аналіз соціально-економічної значимості конструкцій було проведено в роботі А.В.Перельмутера [18]. Основною рисою роботи є розгляд широкого

класу будівельних об'єктів і розробка практичних рекомендацій щодо керування їхньою надійністю. При цьому роль регулятора надійності покладена на безрозмірний інтегральний показник параметру економічних збитків (ПЕЗ), що служить зручною характеристикою збитків від можливих відмов конструктивного елементу у складі будівельного об'єкту. Крім зазначених робіт, питання теорії ризиків конструкцій розглядалися також у роботах А.Я.Барашикова [3], Г.Аугусті, А.Баратта і Ф.Кашіаті [2], С.К.Блека і Ф.Нихауса [4], О.Г.Тамразяна [30], В.М.Уліцького і М.Б.Лісюка [31], Е.В.Горохова і Е.В.Шеліхової [7], Г.Шпете [32] та ін.

В.А.Отставнов, А.Ф.Смірнов, В.Д.Райзер і Ю.Д.Сухов пропонують в роботі [17] ступінь відповідальності будівлі чи споруди враховувати за допомогою коефіцієнта відповідальності K_H , який би оцінював як економічні, так і неекономічні втрати, які особливо пов'язані з життям і здоров'ям людей:

$$K_H = K_{H1} \times K_{H2}, \quad (1)$$

де K_{H1} – коефіцієнт, який враховує кількість людей, безпечність яких залежить від надійності будівлі чи споруди; K_{H2} – коефіцієнт, який враховує економічну шкоду, яка може виникнути, якщо конструкції (елементи) будівлі чи споруди опиняться за граничними станами.

Аналіз вищезазначених методик оцінки надійності й відповідальності конструкцій (елементів), будівель (споруд) виявив ряд недоліків, які не дозволяють в повній мірі оцінити їх надійність у визначений термін протягом експлуатації:

- ◆ будівлі та споруди за їх відповідальністю на сьогодні поділені, відповідно до діючих норм, на три класи, для кожного з яких за допомогою експертних оцінок встановлені відповідні значення коефіцієнта надійності за призначенням, які на сьогодні не мають імовірного і фінансового обґрунтування;
- ◆ запропоновані в роботах [6, 8] нові положення нормативних документів дозволяють перейти від значень коефіцієнта відповідальності γ_n для будівель (споруд) до значень коефіцієнта відповідальності γ_n конструкцій (елементів) залежно від їх значимості та придатності в загальній системі експлуатації будівлі (споруди) і типу розрахункової їх ситуації, але не дозволяють враховувати зміну технічного їх стану, який залежить від періодичності (циклічності), об'єму профілактичних (поточних) і капітальних ремонтів;
- ◆ запропоновані в роботах [19, 23, 24] методики оптимізації фінансових та страхових ризиків базуються тільки на вартості конструкції, яка визначається на стадії проектування, і не враховує зміну її вар-

тості та технічного стану в результаті проведення її ремонтів. Розглядається аварійна стадія фізичного зносу системи, коли може відбутися втрата її несучої здатності. Ризик збитків нормативного базового варіанту системи розраховується за формулою

$$R_{AH} = Q_{KH} \times Z_A, \quad (2)$$

де Q_{KH} – нормативне значення ймовірності відмови системи; Z_A – збитки від відмови (аварії, руйнування) системи, які визначаються згідно з [18, 19] за формулою, що не включає витрати на її ремонт, особливо поточний (проміжний):

$$Z_A = B_K + B_O + B_{II} + B_B + B_L, \quad (3)$$

де B_K – вартість зруйнованої системи; B_O – вартість обладнання, що може постраждати при відмові; B_{II} – вартість простою, або збитків від невиробленої продукції; B_B – вартість відновлення системи; B_L – неекономічні збитки, пов'язані з перебуванням людей в зоні руйнування (відмови) системи за весь період експлуатації;

- ♦ сума витрат на проведення поточних ремонтів C'_Δ (вартість їх робіт) пропонується, відповідно [1, с.205], розраховувати на стадії проектування об'єкта (конструкції) без урахування їх технічного стану на стадіях його (її) експлуатації за формулою

$$C'_\Delta = C''_\Delta \times n, \quad (4)$$

де C''_Δ – середня вартість одного профілактичного (поточного) ремонту; n – кількість поточних ремонтів за весь строк експлуатації конструкції;

- ♦ існуючі на сьогодні ймовірно-економічні методики [5, 11, 12, 19, 22, 28, 29] визначення оптимальної надійності конструкції (елемента) на основі мінімального значення повних витрат, пов'язаних з її улаштуванням та експлуатацією протягом визначеного терміну часу, базуються на економічних залежностях (платіжних функціях), які мають, як відмічають автори статей [14-16], наступні недоліки: витрати на ремонт на відрізьку експлуатації конструкції (елемента) від її початку чи від попереднього капітального ремонту до наступного розподіляються пропорційно незалежно від стану і характеру її фізичного зносу; витрати на ремонт на стадіях фізичного зносу конструкції (елемента), які потребують його проведення, розраховуються за допомогою коефіцієнта приведення $\alpha_T = 1/(1+E)^T$ (дисконту) і не співпадають за часом із необхідною величиною коштів на ліквідацію зносу конструкції (елемента).

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.

Загальною метою нашого дослідження є розробка 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.

“Ідеальна” будівля повинна була б складатися з конструкцій та елементів, які б мали однакові характеристики початкової безвідмовності і довговічності. Після закінчення нормативного терміну експлуатації такої будівлі (споруди) повинні були б одночасно зруйнуватися усі її конструкції та елементи. Однак такої “ідеальної” будівлі не існує. Практично майже однотипні конструкції та елементи мають різні параметри якості й по-різному зношуються в процесі експлуатації, тобто мають різний характер довговічності. Збільшення термінів експлуатації будівельних конструкцій (елементів) можна досягти шляхом своєчасного усунення (ремонт) дефектів і пошкоджень, які виникають в них. При цьому об'єм ремонтних робіт і терміни їх проведення визначаються конструктивними особливостями будівлі, умовами технічної експлуатації її конструкцій (елементів) та економічними міркуваннями.

Дійсним заходом підвищення довговічності конструкцій (елементів) в економічно доцільних межах є регулярне проведення профілактичних поточних їх ремонтів, у результаті яких періодично чи безпосередньо усуваються їх пошкодження і дефекти, тобто ліквідується фізичний їх знос. Важливою задачею поточних ремонтів є 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 [10, 20] наводяться основні визначення поточного і капітального ремонтів та їх функцій:

- поточний ремонт будівлі ведеться з метою відновлення справності (роботоспроможності) 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 замі-

ною, 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 [10, 13], усі конструкції (елементи) можна поділити на два основних типи:

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

Деякі конструкції (елементи) 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, 2 наведено види фізичного зносу залізобетонних колон, які експлуатуються в нормальних умовах до капітального ремонту з періодичністю $T_K=60$ років, і залізобетонних збірних плит перекриття, які експлуатуються під впливом агресивного середовища і в нормальних умовах з періодичністю проведення капітальних ремонтів відповідно $T_K=15$ років і $T_K=25$ 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 тривалої 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.

У реальних умовах експлуатації конструкції (елементи) мають більш складний 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 впли-

вають на характер її зносу. Для вирішення цієї задачі прийняті наступні передумови:

- ◆ під відмовою конструкції (елемента) будівлі споруди, яка експлуатується в межах часу від початку експлуатації до капітального ремонту або між двома капітальними ремонтами, приймаємо такі ознаки фізичного зносу, при яких подальша її експлуатація може призвести до її відмови (“нечіткої” відмови): часткової втрати несучої здатності за граничними станами I і II груп, або явища, в результаті якого виникли ознаки, що кваліфікують початок її втрати (стадія фізичного зносу конструкції (елемента) III – непридатний для нормальної експлуатації, відповідно [13]);
- ◆ 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 [13] 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 “нечіткої” 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 $I > I_{\max}$, (5)
де k – коефіцієнт, який визначає степеневу чи показову залежність між витратами на ремонт конструкції (елемента) і ступенем її фізичного зносу;

- ◆ для більш чіткого розрахунку ймовірності виникнення “нечіткої” відмови $Q(I)$ (часу проведення поточного (профілактичного) ре-

монту) термін експлуатації конструкції чи елемента до капітального ремонту чи заміни ділимо на три інтервали:

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

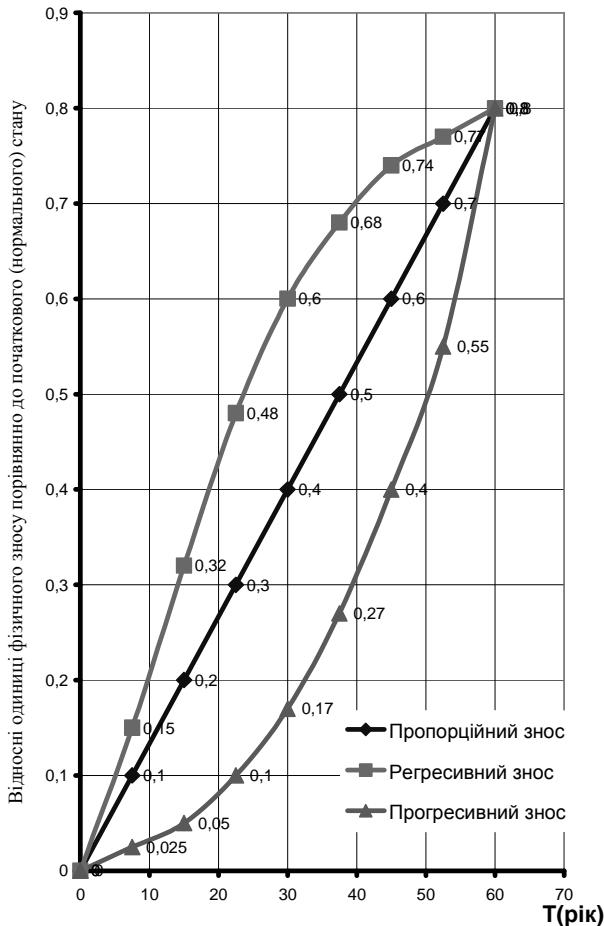


Рис.1 – Типи фізичного зносу залізобетонних колон будівель, які експлуатуються в нормальних умовах до капітального ремонту з періодичністю $T_k=60$ років

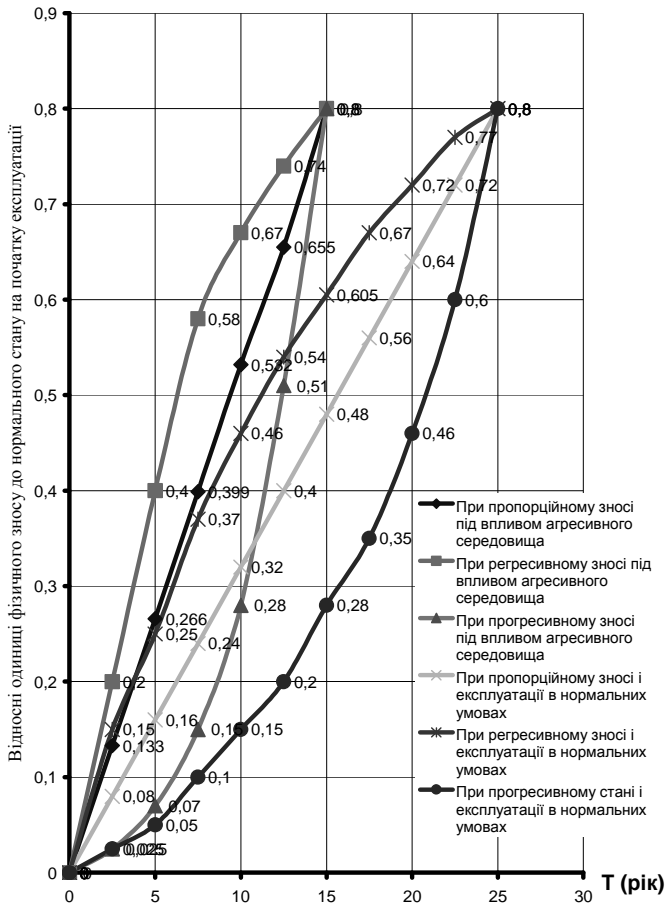


Рис.2 – Типи фізичного зносу залізобетонних плит перекриття, які експлуатуються під впливом агресивного середовища і в нормальних умовах з періодичністю проведення капітальних ремонтів відповідно $T_k=15$ років і $T_k=25$ років

II-й часовий інтервал: від появи перших ознак фізичного зносу конструкції (елемента), коли ймовірність відмови становить $Q(I_{\min})$, до терміну її експлуатації, коли ймовірність відмови становить $Q(I_{gr})$, де I_{gr} – значення індикатора “нечіткої” відмови, при якому необхідно виконувати поточний ремонт, коли конструкція (елемент) має такі ознаки фізичного зносу, які кваліфікують її стан, як граничний (непридатний для нормальної експлуатації (III) відповідно [13]);

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 [13]), 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 [13]), коли ймовірність відмови конструкції (елемента) становить $Q(I_{max})$ і коли необхідно виконувати її капітальний ремонт.

На рис.3, 4 наведено графіки характеру розподілу витрат на необхідний поточний ремонт (у відносних одиницях до витрат V_K на капітальний ремонт) відповідно для залізобетонних колон, які експлуатуються до капітального ремонту в нормальних умовах з нормативною періодичністю $T_K = 60$ років, і для залізобетонних плит перекриття, які експлуатуються до проведення капітального ремонту з нормативною періодичністю $T_K = 20$ років під впливом динамічних навантажень, залежно від типу і характеру їх зносу. Розглянувши два графіка на рис.3 і на рис.1, можна встановити часові інтервали фізичного зносу за термін експлуатації залізобетонних колон і витрати на ремонт (у відносних одиницях до витрат V_K на капітальний ремонт):

- ◆ I-й часовий інтервал становитиме: при регресивному характері зносу колон від 0 до $T=7$ років; при пропорційному – від 0 до $T=15$ років; при прогресивному – від 0 до $T=22$ роки;
- ◆ II-й часовий інтервал, коли колони будуть мати фізичний знос від 5-15 до 50-60%, становить: при регресивному характері зносу – $7 \leq T < 30$ років; при пропорційному зносі – $15 \leq T < 45$ років; при прогресивному зносі – $22 \leq T < 54$ років.
- ◆ III-й часовий інтервал, коли колони будуть мати фізичний знос від 50-60 до 80%, становить: при регресивному характері зносу – $30 \leq T < 60$ років; при пропорційному зносі – $45 \leq T < 60$ років; при прогресивному зносі – $54 \leq T < 80$ років.

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 протягом її експлуатації до аварійного стану, в результаті яких необхідно своєчасно виконувати поточні чи капітальні ремонти. Оптимальні (мінімальні) значення витрат від “чітких” і “нечітких” відмов конструкції (елемента) (витрати на її ремонт), які можуть відбутися за визначений розрахунковий період (термін часу T , роки) її експлуатації, визначаємо за умов дотримання співвідношень:

$$B(I) = B_k + \sum_{i=1}^m R(I);$$

$$\gamma_n \times \gamma_{nr} = [\gamma_n];$$

$$\gamma_{nr} = 1 - Q(I),$$

(6)

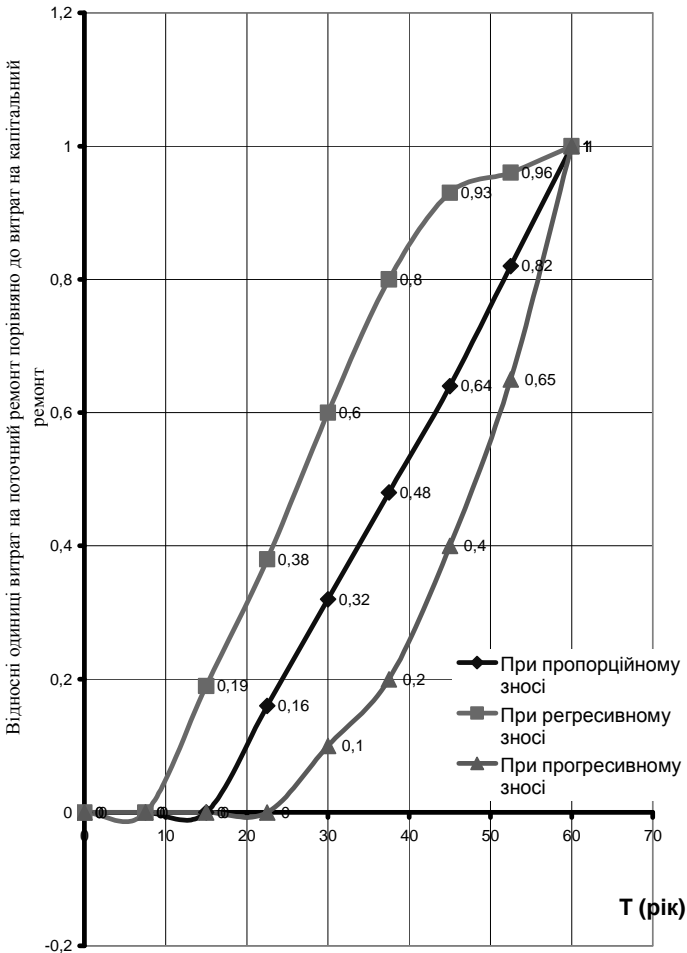


Рис.3 – Характер розподілу витрат (у відносних одиницях) на потрібний поточний ремонт залізобетонних колон, які експлуатуються до капітального ремонту в нормальних умовах з періодичністю $T_k=60$ років

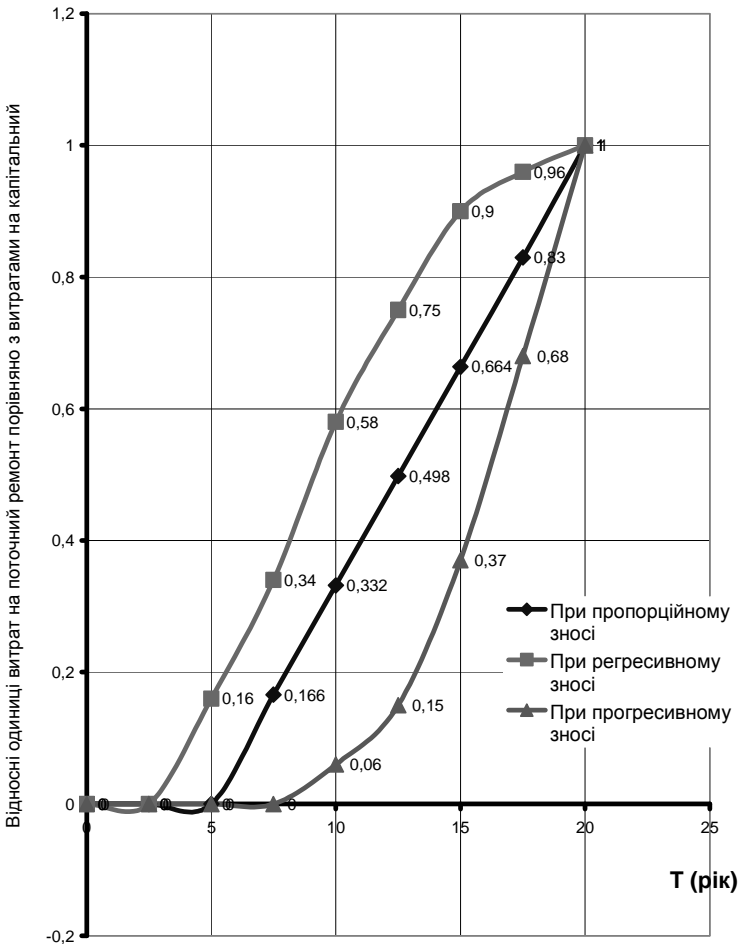


Рис.4 – Характер розподілу витрат (у відносних одиницях) на необхідний поточний ремонт залізобетонних плит перекриття, які експлуатуються до проведення капітального ремонту з періодичністю $T_k=20$ років під впливом динамічних навантажень

де γ_n – коефіцієнт відповідальності конструкції (елемента) будівлі чи споруди, який визначається за рекомендаціями нових норм [6, 8] для розрахункових сталей і перехідних ситуацій; $[\gamma_n]$ – коефіцієнт відповідальності конструкції (елемента) будівлі чи споруди, який визначається за рекомендаціями нових норм [6, 8] для розрахункової аварійної

ситуації; $\gamma_{\text{пр}}$ – коефіцієнт відповідальності, що враховує ремонтпридатність конструкції (елемента системи) будівлі чи споруди; $Q(I)$ – вірогідність сумісного настання двох і більше “чітких” і “нечітких” відмов за визначений термін експлуатації конструкції, яка визначається за формулою

$$Q(I) = Q(I_1) \times Q(I_2) \times \dots \times Q(I_m), \quad (7)$$

де $Q(I_1), Q(I_2), \dots, Q(I_m)$ – вірогідність здійснення “чітких” ($Q(I_B)$) та “нечітких” ($Q(I_{\text{НВ}})$) 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), що визначається за формулою

$$\sum_{i=1}^m R(I) = R(I_1) + R(I_2) + \dots + R(I_m), \quad (8)$$

де m – кількість проведених поточних і капітальних ремонтів, які необхідно провести за визначений період експлуатації конструкції (елемента) в результаті виникнення її “чітких” і “нечітких” відмов; R_1, R_2, \dots, R_m – ризики витрат, які виникають в результаті “чітких” чи “нечітких” відмов конструкції (елемента), які визначаються за формулою залежно від їх вигляду:

$$R(I_i) = Q(I_{\text{НВ}}) \times V_{\text{П}} \text{ (при “нечіткій” відмові);} \quad (9)$$

$$R(I_i) = Q(I_B) \times V_{\text{К}} \text{ (при “чіткій” відмові),} \quad (10)$$

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

$$V_{\text{П}} = k \times V_{\text{К}}, \quad (11)$$

де k – коефіцієнт, який визначає залежність між витратами на ремонт конструкції (елемента) та ступенем її фізичного зносу, приймаємо рівним значенню, відповідно до теоретичних викладок, наведених у роботах [13-15]:

$$\sum_{i=1}^{m_k} \frac{1}{(1+E)^{T_k-(i-1)a}}, \quad (12)$$

де E – коефіцієнт капітальних вкладень, який приймається відповідно теоретичних даних робіт [13-15, 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 ($0 \leq t \leq T$), ϵ функція цілого числа $y=E(x)$ [m_k]:

$$m_k = [m_k] = t / a. \quad (13)$$

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

$$T = n \times t_{\text{ГР}} + kr \times T_k, \quad m = n + kr, \quad (14)$$

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 [13, 20]; $t_{\text{ГР}}$ – 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, $t_{\text{ГР}} < T_k$, роки, приймається у відсотках від T_k .

На практиці не завжди чітко існує можливість отримати значення коефіцієнта ремонтпридатності конструкції (елемента) $\gamma_{\text{ГР}}$, оскільки 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), у результаті виникнення їх “нечітких” відмов при умові дотримання достатньої їх відповідальності (надійності).

На рис.5 наведено графіки загальних витрат на ремонт (у відносних одиницях до витрат B_k на один капітальний ремонт) залізобетон-

них плит перекриття, які експлуатуються під впливом динамічних навантажень з нормативною періодичністю проведення капітальних ремонтів $T_K=20$ років. Розрахунок витрат проводився на термін $T=60$ років, який був прийнятий рівному орієнтовному терміну експлуатації виробничих і допоміжних будівель, відповідно [6, табл.2] та [9, додаток В]. За верхню границю розподілу витрат на ремонт плит перекриття прийнята умова проведення тільки капітальних ремонтів з періодичністю $T_K =20$ років, а за нижню – умова проведення тільки поточних ремонтів з періодичністю $t_{пр} =15$ років при фізичному зносі плит перекриття від 30 до 60% (рис.4).

Наведені на рис.5 графіки розподілу загальних витрат на ремонт плит перекриття 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 нами методики наводимо приклад розрахунку витрат і надійності конструкцій на визначений термін експлуатації будівлі залежно від стадії фізичного зносу, середовища експлуатації, терміну та періодичності проведення ремонтів.

Приклад. Необхідно розрахувати витрати від “чітких” та “нечітких” відмов залізобетонних плит перекриття (витрати на їх ремонт), які можуть відбутися за визначений розрахунковий період експлуатації будівлі $T=60$ років при дотриманні умови граничної відповідальності (їх надійності) за співвідношеннями (6). Відповідно [20] залізобетонні плити перекриття, які експлуатуються під впливом динамічних і вібраційних навантажень, мають нормативну періодичність проведення капітального ремонту $T_K =15-20$ років, при експлуатації за нормальних умов – $T_K =20-25$ років, а в агресивному середовищі – $T_K =16-18$ років. Граничні межі нормативної періодичності проведення капітальних ремонтів залізобетонних плит перекриття становлять $T_K =15-25$ років, а середнє їх значення відповідно $T_{K,сер} =20$ 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 $\bar{S} =5$ років. Залізобетонні плити перекриття є головними несучими конструкціями, які відносяться до категорії відповідальності А1 (відповідно [6, п.4]) і експлуатуються в будівлі, яка відноситься до 2-го класу відповідальності відповідно вимог табл.1 [6]. Залізобетонні плити перекриття є непереармованими конструкціями і мають плавний характер руйнування при “чіткій” відмові за граничним станом І-ї гру-

ПІ.

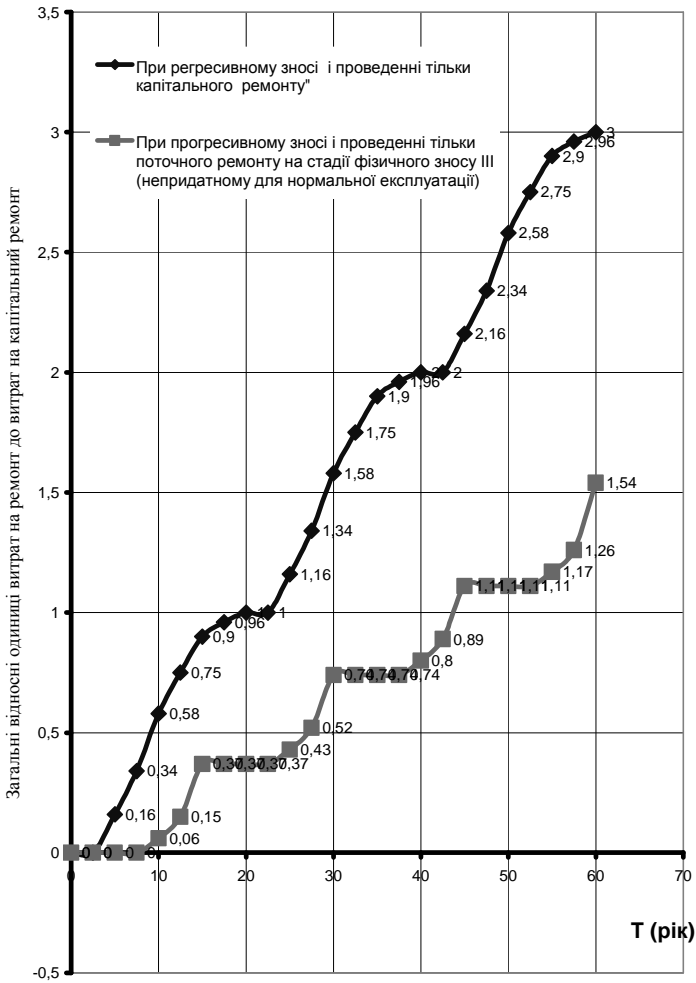


Рис.5 – Загальні витрати на ремонт (у відносних одиницях до витрат на один капітальний ремонт) залізобетонних плит перекриття, які експлуатуються під впливом динамічних навантажень з періодичністю проведення капітальних ремонтів $T_k = 20$ років

Рішення. На попередньому етапі розрахунку приймаємо пропорційну залежність між фізичним зносом плит перекриття і часом їх експлуатації до капітального ремонту, розбиваємо термін експлуатації плит $T_{K,сер}=20$ років на три часових інтервали їх фізичного зносу: I-й

часовий інтервал $0 \leq t \leq 10$ років – фізичний стан конструкції нормальний; II-й часовий інтервал $10 < t \leq 15$ років – фізичний стан конструкції задовільний; III-й часовий інтервал $15 < t \leq 20$ років – фізичний стан конструкції непридатний для нормальної експлуатації.

Визначаємо за [1, формула (64)] ймовірність виникнення “нечіткої” відмови, наслідком якої є проведення поточного ремонту плит перекриття на III-му часовому інтервалі їх експлуатації у межах $15 < t \leq 20$ років, коли вони матимуть 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 $\hat{S} = 5$ років:

$$Q_{III} = [15 \leq t \leq 20] = 1/2[\Phi((20-20)/5) - \Phi((15-20)/5)] = 1/2[\Phi(0) - \Phi(-1)] = \\ = 1/2[0 + 0,6827] = 0,3413.$$

При середньоквадратичному відхиленні $\hat{S} = 5$ років фактичного терміну проведення ремонтів від терміну проведення ремонту при пропорційній залежності між фізичним зносом і часом експлуатації плит перекриття до капітального ремонту, які знаходяться під впливом агресивного середовища чи динамічних або вібраційних навантажень, стадія фізичного їх зносу III (непридатний для нормальної експлуатації відповідно [20]) може наступити в межах часового інтервалу $10 < t \leq 15$ років, а для плит перекриття, які експлуатуються в нормальних умовах, стадія фізичного їх зносу III (непридатний для нормальної експлуатації відповідно [20]) може наступити в межах часового інтервалу $20 < t \leq 25$ років.

1. Визначаємо витрати на ремонт плит перекриття, 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 $t_{пр} = 10$ років. Тоді за розрахунковий період експлуатації будівлі $T = 60$ років необхідно провести наступну кількість поточних ремонтів, яку визначаємо за формулою (14):

$$n = T / t_{пр} = 60 / 10 = 6 \text{ ремонтів.}$$

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

$$\gamma_{nr} = 1 - Q_{III}^n = 1 - 0,3413^6 = 0,9984.$$

Перевіряємо граничну умову $\gamma_n \times \gamma_{nr} \geq [\gamma_n] \Rightarrow 1,0 \times 0,9984 = 0,9984 > 0,95$, умова задовольняється, тут коефіцієнти $\gamma_n = 1,0$ і $[\gamma_n] = 0,95$ прийняті відповідно класу відповідальності конструкції і будівлі відповідно вимог табл.4 [6], коли плити перекриття експлуатуються відповідно в сталій і аварійній розрахункових ситуаціях.

Визначаємо витрати (у відносних одиницях до витрат B_K на влаштування чи капітальний ремонт плит перекриття) на проведення поточних ремонтів з періодичністю (часом) $t_{TP} = 10$ років за період експлуатації плит перекриття в агресивному середовищі чи під дією вібраційних або динамічних навантажень $T = 60$ років:

$$\begin{aligned}
 B &= B_K + \sum_{i=1}^n Q_{III} \times \sum_{i=1}^{m_K} \frac{B_K}{(1+E)^{T_K - (i-1)a}} = \\
 &= B_K \left(1 + \sum_{i=1}^6 0,3413 \times \sum_{i=1}^5 \frac{1}{(1+0,4)^{18 - (i-1)2}} \right) = \\
 &= \\
 B_K &(1 + 6 \times 0,3413(0,00234 + 0,0046 + 0,009 + 0,0176 + 0,0345)) = 1,14 \times B_K,
 \end{aligned}$$

де $T_K = 18$ років (відповідно додатку 2.8 [20]); $a = 2$ роки; $E = 0,4$ (відповідно табл.1 [14-16]); $m_K = t_{TP} / a = 10 / 2 = 5$ відрахувань.

2. Визначаємо витрати на ремонт плит перекриття, 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 $t_{TP} = 15$ років. Тоді за розрахунковий період експлуатації будівлі $T = 60$ років необхідно провести наступну кількість ремонтів, яку визначаємо за формулою (14):

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

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

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

Перевіряємо граничну умову $\gamma_n \times \gamma_{nr} \geq [\gamma_n] \Rightarrow 0,95 \times 0,98643 = 0,937 < 0,95$, 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 [6], коли плити перекриття експлуатуються відповідно в перехідній і аварійній розрахункових ситуаціях.

Визначаємо витрати (у відносних одиницях до витрат B_K на ула-

штування чи капітальний ремонт плит перекриття) на проведення поточних ремонтів з періодичністю (часом) $t_{\text{ПР}}=15$ років за період експлуатації плит перекриття в агресивному середовищі чи під дією вібраційних або динамічних навантажень $T=60$ років:

$$\begin{aligned} B &= B_{\kappa} + \sum_{i=1}^n Q_{\text{III}} \times \sum_{i=1}^{m_{\kappa}} \frac{B_{\kappa}}{(1+E)^{T_{\kappa}-(i-1)a}} = \\ &= B_{\kappa} \left(1 + \sum_{i=1}^4 0,3413 \times \sum_{i=1}^7 \frac{1}{(1+0,4)^{18-(i-1)2}} \right) = \\ &= B_{\kappa} (1 + 4 \times 0,3413 \times (0,00234 + 0,0046 + 0,009 + 0,0176 + 0,0345 + \\ &\quad + 0,0677 + 0,1328)) = 1,366 \times B_{\kappa}, \end{aligned}$$

де $T_{\kappa}=18$ років (відповідно додатку 2.8 [20]); $a=2$ роки; $E=0,4$ (відповідно табл.1 [14-16]); $m_{\kappa} = [m_{\kappa}] = t_{\text{ПР}} / a = 15 / 2 = 7,5 \cong 7$ відрхувань.

3. Визначаємо витрати на ремонт плит перекриття, які експлуатуються в нормальних умовах, при проведенні поточного ремонту по усуненню їх фізичного зносу на початку межі часового інтервалу III при $t_{\text{ПР}}=20$ років. Тоді за розрахунковий період експлуатації будівлі $T=60$ років необхідно провести наступну кількість ремонтів, яку визначаємо за формулою (14):

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

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

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

Перевіряємо граничну умову $\gamma_n \times \gamma_{\text{nr}} \geq [\gamma_n] \Rightarrow 1,0 \times 0,96 = 0,96 > 0,95$, умова задовольняється, тут коефіцієнти $\gamma_n=1,0$ і $[\gamma_n]=0,95$ прийняті відповідно класу відповідальності конструкції і будівлі відповідно вимог табл.4 [6], коли плити перекриття експлуатуються відповідно в сталій і аварійній розрахункових ситуаціях.

Визначаємо витрати (у відносних одиницях до витрат B_{κ} на улаштування чи капітальний ремонт плит перекриття) на проведення поточних ремонтів з періодичністю (часом) $t_{\text{ПР}}=20$ років за період експлуатації плит перекриття в нормальних умовах $T=60$ років:

$$B = B_{\kappa} + \sum_{i=1}^n Q_{\text{III}} \times \sum_{i=1}^{m_{\kappa}} \frac{B_{\kappa}}{(1+E)^{T_{\kappa}-(i-1)a}} =$$

$$= B_k \left(1 + \sum_{i=1}^3 0,3413 \times \sum_{i=1}^4 \frac{1}{(1 + 0,145)^{25-(i-1)5}} \right) =$$

$$= B_k (1 + 3 \times 0,3413(0,0338 + 0,06666 + 0,1312 + 0,2582)) = 1,501 \times B_k ,$$

де $T_k = 25$ років (відповідно додатку 2.8 [20]); $a=5$ роки; $E=0,145$ (відповідно табл.1 [14-16]); $m_k = [m_k] = t_{\text{пр}} / a = 20 / 5=4$ відрахувань.

4. Визначаємо витрати на ремонт плит перекриття, які експлуатуються в нормальних умовах, при проведенні поточного ремонту по усуненню їх фізичного зносу в кінці межі часового інтервалу III при $t_{\text{пр}}=25$ років. Тоді за розрахунковий період експлуатації будівлі $T=60$ років необхідно провести кількість ремонтів, що визначається за формулою (14):

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

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

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

Перевіряємо граничну умову $\gamma_n \times \gamma_{\text{nr}} \geq [\gamma_n] \Rightarrow 0,95 \times 0,8835 = 0,84 < 0,95$, 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 [6], коли плити перекриття експлуатуються відповідно в перехідній і аварійній розрахункових ситуаціях.

Визначаємо витрати (у відносних одиницях до витрат B_k на улаштування чи капітальний ремонт плит перекриття) на проведення поточних ремонтів з періодичністю (часом) $t_{\text{пр}}=25$ років за період експлуатації плит перекриття в нормальних умовах $T=60$ років:

$$B = B_k + \sum_{i=1}^n Q_{\text{III}} \times \sum_{i=1}^{m_k} \frac{B_k}{(1 + E)^{T_k - (i-1)a}} =$$

$$= B_k \left(1 + \sum_{i=1}^2 0,3413 \times \sum_{i=1}^5 \frac{1}{(1 + 0,145)^{25-(i-1)5}} \right) = B_k (1 + 2 \times 0,3413 \times$$

$$\times (0,0338 + 0,06666 + 0,1312 + 0,2582 + 0,5081)) = 1,681 \times B_k ,$$

де $T_k = 25$ років (відповідно додатку 2.8 [20]); $a=5$ роки; $E=0,145$ (відповідно табл.1 [14-16]); $m_k = [m_k] = t_{\text{пр}} / a = 25 / 5=5$ відрахувань.

Результати розрахунків для більш наочного порівняння наведено в таблиці.

Значення величин, що порівнюються	Середовище експлуатації залізобетонних плит перекриття			
	агресивне середовище при перезволоженні, при вібраційних і динамічних навантаженнях при часовому інтервалі (межі) експлуатації на стадії фізичного зносу III $10 \leq t \leq 15$ 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
γ_{nr}	0,9984	0,98643	0,96	0,8835
$\gamma_n \times \gamma_{nr} \geq [\gamma_n]$	0,9984 > 0,95	0,937 < 0,95	0,96 > 0,95	0,84 < 0,95
B	$1,14 \times B_K$	$1,366 \times B_K$	$1,501 \times B_K$	$1,681 \times B_K$

В результаті порівняння отриманих величин: витрат на ремонт **B** і умов граничної відповідальності (надійності) конструкцій залізобетонних плит перекриття можна зробити висновок, що своєчасне проведення поточних профілактичних ремонтів на початку часового інтервалу експлуатації конструкцій, коли виникли ознаки їх фізичного зносу, які кваліфікують відповідно [20] 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.

Таким чином, запропонована методика дозволяє в загальному вигляді оцінити відповідальність конструкцій (елементів) у процесі їх експлуатації до капітального ремонту. Вона враховує об'єм і періодичність проведення ремонтів по ліквідації фізичного зносу конструкцій (елементів) у різних умовах їх експлуатації за визначений термін служби будівлі чи споруди.

Метою подальших досліджень є розробка методик:

- оцінки відповідальності конструкцій (елементів) на основі оптимізації мінімальних загальних витрат, які можуть виникнути в результаті “чітких” чи “нечітких” їх відмов на етапах їх експлуатації до аварійного стану (руйнування), а також у результаті аварійного стану (руйнування), який може виникнути в результаті нехтування необхідністю своєчасного проведення поточного і капітального ремонтів;
- оцінки відповідальності будівель і споруд залежно від їх конструктивного вирішення, пристосованості їх конструкцій (елементів) до періодичних оглядів, поточних і капітальних ремонтів.

1.Авиrom Л.С. Надёжность конструкций сборных зданий и сооружений. – Л.: Стройиздат, 1971. – 215 с.

2.Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании: Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1988. – 584 с.

3.Барашников А.Я. Оцінювання ризику у сейсмостійкому будівництві // Технічна метеорологія Карпат. – Львів: Оскарт, 1998. – С.142-146.

4.Блэк С.К., Нихаус Ф. Насколько безопасно “слишком безопасное”? // Бюллетень МАГАТЭ, Книга 22. №1.– С.45-58.

5.Булычев А.П. Вероятностно-экономический метод определения эквивалентных нагрузок на несущие элементы покрытия // Строительная механика и расчет сооружений. – 1982. – № 1. – С.6-9.

6.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: Межвед. науч.-техн. сб. Вып.44. – К., 2003. – С.50-58.

7.Горохов Е.В.,Шелихова Е.В. Экономико-математическое обоснование критериев надежности строительных конструкций при эксплуатации // Труды Междунар. научн. конф. «Теория и практика металлических конструкций». Т.1. – Донецк – Макеевка, 1997. – С.124-127.

8.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.

9.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.

10.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.

11.Дривинг А.А. Рекомендации по применению экономико-статистических методов при расчете сооружений с чисто экономической ответственностью. – М.: ЦНИИСК, 1972. – 61 с.

12.Дривинг А.А. Экономический подход к определению оптимальных запасов конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. – 1973. – №5. – С.7-10.

13.Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. Затв. спільним наказом Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України та Держнаглядохоронпраці України від 27 листопада 1997р. за № 32/288.

14.Овсій О.Д. Розрахунок експлуатаційних витрат на капітальний ремонт будівлі чи споруди // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 62. – К.: Техніка, 2005. – С.187-195.

15.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. Вип.33. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2005. – С.44-48.

16.Овсій Е.Д. Расчёт эксплуатационных затрат по повышению долговечности конструкции (элемента) здания или сооружения // Бетон и железобетон в Украине.– 2006. – №1. – С.23-28.

17.Отставнов В.А., Смирнов А.Ф., Райзер В.Д., Сухов Ю.Д. Учёт ответственности зданий и сооружений в нормах проектирования строительных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. – 1981. – № 1. – С.11-14.

18.Перельмутер А.В. Избранные проблемы надёжности и безопасности строительных конструкций. – К.: УкрНИИПроектстальконструкция, 1999. – 212 с.

19.Пічугін С.Ф., Семко О.В. Оптимізація фінансових ризиків при аналізі конструктивних рішень інвестиційних проектів // Економіка і регіон. – 2005. – №1 (4). – С.66-68.

20.Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назна-

чения. Нормы проектирования: ВСН 58–88(р) / Госкомархитектуры. – М.: Стройиздат, 1990. – 32 с.

21.Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.

22.Ржаницын А.Р. Экономический принцип расчёта на безопасность // Строительная механика и расчет сооружений. – 1973. – №3. – С. 3-5.

23.Семко О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій. – К.: Сталь, 2004. – 316 с.

24.Семко О.В. Застосування теорії ризиків для визначення коефіцієнту надійності за призначенням // Современные строительные конструкции из металла и древесины. Сб. науч. тр. – Одесса: ОГАСА, 2005. – С.178-185.

25.Складнев Н.Н. О методических принципах вероятностного расчета строительных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. – 1986. – №3. – С.12-16.

26.Снарскис Б.И. К статико-экономическому обоснованию запасов несущей способности конструкций // Труды АН Литовской ССР. Сер. Б. – 1962. – №2 (29). – С.229-241; – 1963. – №1 (32). – С.157-203.

27.Снарскис Б.И. Оптимальные расчётные и контрольные значения случайных параметров как средство оптимизации надёжности // Проблемы надёжности в строительном проектировании. – Свердловск, 1972. – С.202-211.

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. науч. тр. ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко. – М.: ПЭМ ВНИИИС Госстроя СССР, 1986. – С.89-109.

30.Тамразян А.Г. К оценке определения риска чрезвычайных ситуаций по основным признакам его проявления на сооружения // Бетон и железобетон. – 2001. – №5. – С.8-10.

31.Улицкий В.М., Лисюк М.Б. Оценка риска и обеспечение безопасности в строительстве // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2003. – №5. – С.160-166.

32.Шпете Г. Надёжность несущих строительных конструкций: Пер. с нем. О.О.Андреева. – М.: Стройиздат, 1994. – 288 с.

Отримано 15.10.2007

УДК 624.012.4 : 539.415

В.В.ПОГРЕБНОЙ, О.А.ДОВЖЕНКО, канд. техн. наук

Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка

ПРОЧНОСТЬ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ СРЕЗЕ ПО ДАННЫМ ТЕОРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ И ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На основе математического аппарата теории идеальной пластичности бетона получены решения задач прочности для образцов Гвоздева и Мерша, отдельной прямоугольной бетонной шпонки, шпоночных соединений, усеченных бетонных клиньев. Экспериментальные данные о напряженно-деформированном состоянии элементов подтвердили принятые расчетные схемы их разрушения. Анализ сходимости теоретической