

## ЗАЛИШКОВИЙ РЕСУРС БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

. Дорофєєв В.С., д.т.н., проф., Клименко Є.В., д.т.н., проф.

*Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна*

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими і науково-практичними завданнями.** Надійна технічна експлуатація основних фондів України є однією з необхідних умов динамічного розвитку економіки країни. Сьогодні, коли вартість цих фондів становить майже 850 млрд. грн., а середня зношеність сягає 45% [1], особливо гостро постає проблема оцінювання технічного стану окремих конструкцій та будівель чи споруд в цілому, прогнозування його наперед та на підставі аналізу цих двох процесів – регулювання технічного стану. Цю проблему можна вирішити шляхом створення науково-обґрунтованої, достовірної методології оцінювання, прогнозування та регулювання технічного стану будівель та споруд.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Чинні „Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд“ [2] визначають чотири технічних стани. Однак віднесення окремих конструкцій та будівель і споруд у цілому до кожного із них, що базується на методі експертних оцінок, є неконкретизованим. За цими нормами віднесення до того чи іншого технічного стану здійснюється не на підставі формалізованих розрахунків, а за аналізом сукупності певних (визначених цими нормативними документами) дефектів та пошкоджень (або їх відсутності). Такий підхід має примітивний, необґрунтований характер та не може служити достовірним критерієм оцінювання технічного стану будівельних конструкцій.

Кроком в напрямку подолання указаних недоліків є комплексні дослідження [3], використовуючи результати яких можна формалізувати процес оцінювання, прогнозування та регулювання технічного стану будівель та споруд із залізобетону.

**Основна частина.** Для комплексного вирішення питання оцінювання технічного стану будівельних конструкцій та прогнозування його зміни в часі при експлуатації будівель та споруд розроблена методологія, що базується на використанні апостеріорної інформації.

В цій методології Пропонується усі показники експлуатаційної придатності (ПЕП) поділити на дві групи:

I – ПЕП, перевищення яких призводить до руйнування конструкції (системи);

II – ПЕП, перевищення значень яких вище ніж допустимі не призводить до руйнування конструкції, але унеможливлює нормальну експлуатацію їх.

Розглядається три технічних стани конструкцій: I – задовільний; II – непридатний до нормальної експлуатації; III – аварійний.

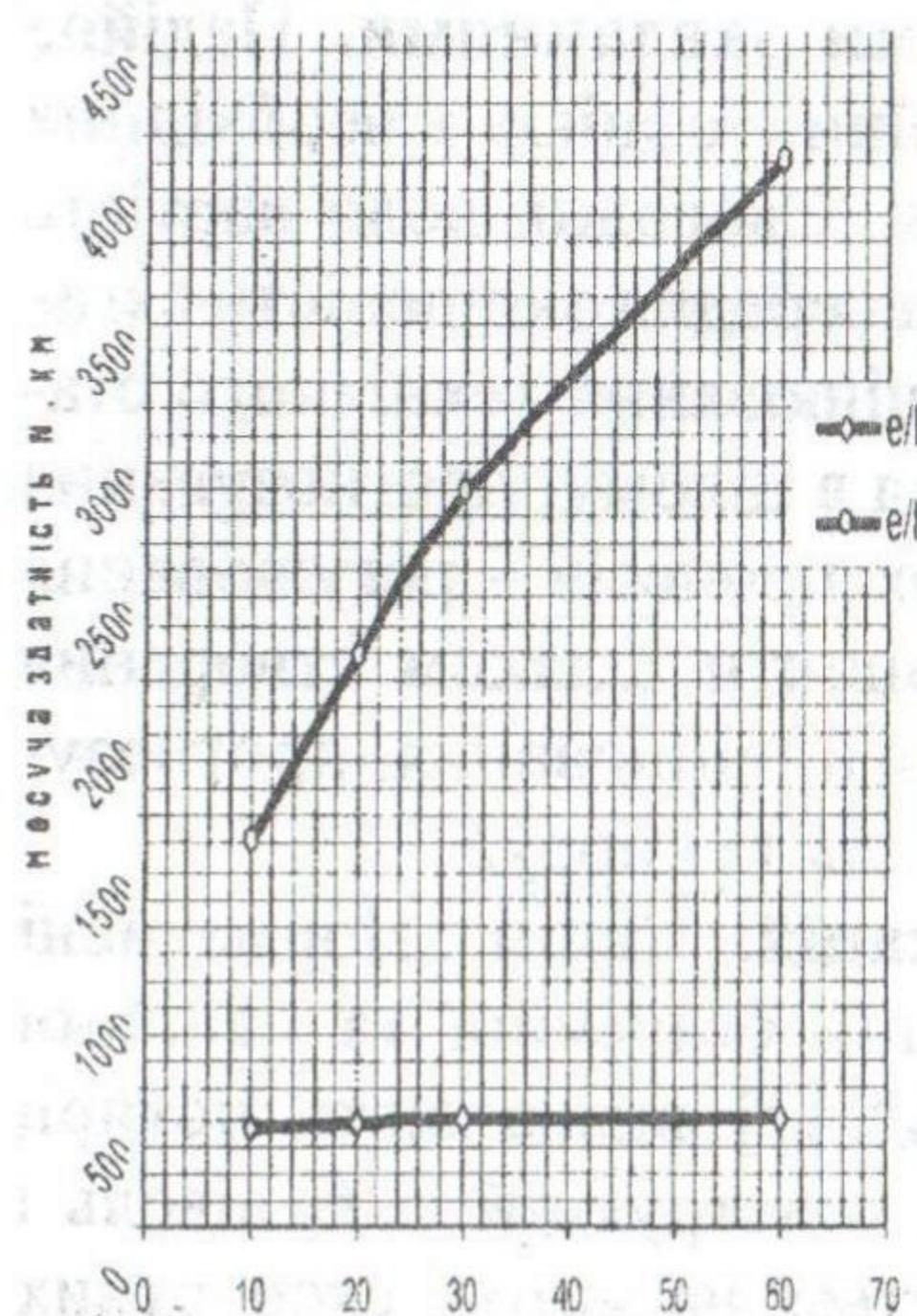


Рис. 1. Вплив кількості арматури в перерізі елементу, що згинається, на несучу здатність.

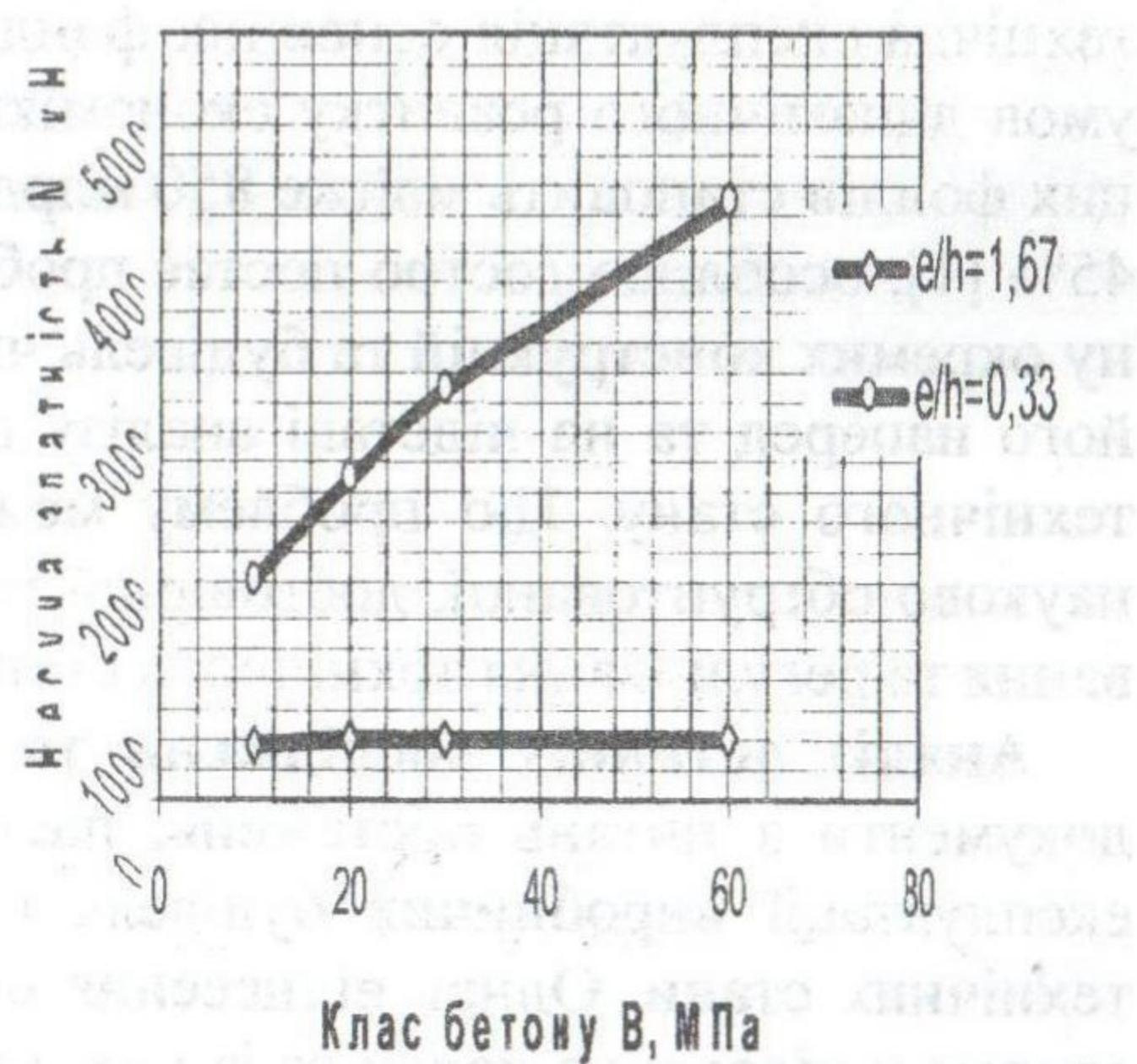


Рис. 2. Вплив міцності бетону на несучу здатність стиснутих елементів.

Вплив різних факторів на ПЕП проаналізовано на стиснутих конструкціях та елементах, що згинаються. На рисунках 1 та 2 наведено зразки такого впливу. На підставі аналізу факторів, що впливають на зміну ПЕП, створено таблицю, яка дає змогу службі спостереження за будівлями та спорудами підприємства оцінити вплив того чи іншого фактора та своєчасно вжити адекватних заходів щодо забезпечення нормальної безаварійної експлуатації будівель.

Розроблено рекомендації щодо оцінювання технічного стану залізобетонних елементів, пошкоджених у процесі експлуатації, та розрахунки міцності яких відсутні в нормах.

При визначенні технічного стану будівлі чи споруди в цілому систему розглянуто за такою ієрархією:

- перший рівень – система, яка описує один із ПЕП та його відповідність граничному значенню;

- другий рівень – система, яка описує сукупність ПЕП (першої чи другої їх групи) та відповідність кожного з них відповідному граничному значенню.

У процесі визначення технічного стану будівлі (споруди) в цілому на першому рівні визначаються усі ПЕП та порівнюються з їх граничними значеннями.

Другий рівень містить певну сукупність ПЕП, які створюють дві групи їх. При цьому кожний елемент має свої ПЕП, які в загальному випадку можуть перевищувати відповідні граничні значення. Розглядається життєздатність системи в цілому за умови фактичного співвідношення значень ПЕП та їх граничних значень.

Запропонована модель процесу експлуатації залізобетонних конструкцій та будівель і споруд у цілому. Виходячи з уявлення щодо зміни у часі характеристик залізобетонних конструкцій прийнято робочу гіпотезу:

$$P(t) = P_0 - a(t - t_0)^2, \quad (1)$$

де  $P_0$  – початкове значення показника експлуатаційної придатності будівельної конструкції;  $t_0$  – початковий момент часу;  $t$  – поточний час;  $P(t)$  – значення характеристики на момент часу  $t$ , а – параметр, що характеризує швидкоплинність зміни характеристики  $P(t)$ .

У результаті проведених досліджень, а також аналізу багатьох чисельних результатів, отриманих іншими авторами, здійснено апроксимацію наявних статистичних даних. Зроблено висновок про спадний характер дрейфу параметрів, що є характеристиками будівельних конструкцій. Цей процес прийнятно описується квадратичною моделлю, область визначення якої є часовий проміжок від початку відліку й до нескінченості, область значень – числові значення від початкового, визначеного початком відліку, до критичного значення.

Залишковий ресурс розраховується як час до досягнення ПЕП ( $P_i$ ) свого граничного значення ( $P_{lim}$ ), тобто можна записати:

$$T = T_{min} = t_i \Big|_{P_i=P_{lim}}. \quad (2)$$

У (2) через  $T_{min}$  позначено мінімальний час за який будь-який наперед заданий ПЕП досягне свого граничного значення ( $P_n = P_{min}$ ). Кількість ПЕП та їх граничні значення ( $P_{lim}$ ) встановлюються, виходячи з фактичних умов експлуатації, та на момент визначення залишкового ресурсу є величини відомі.

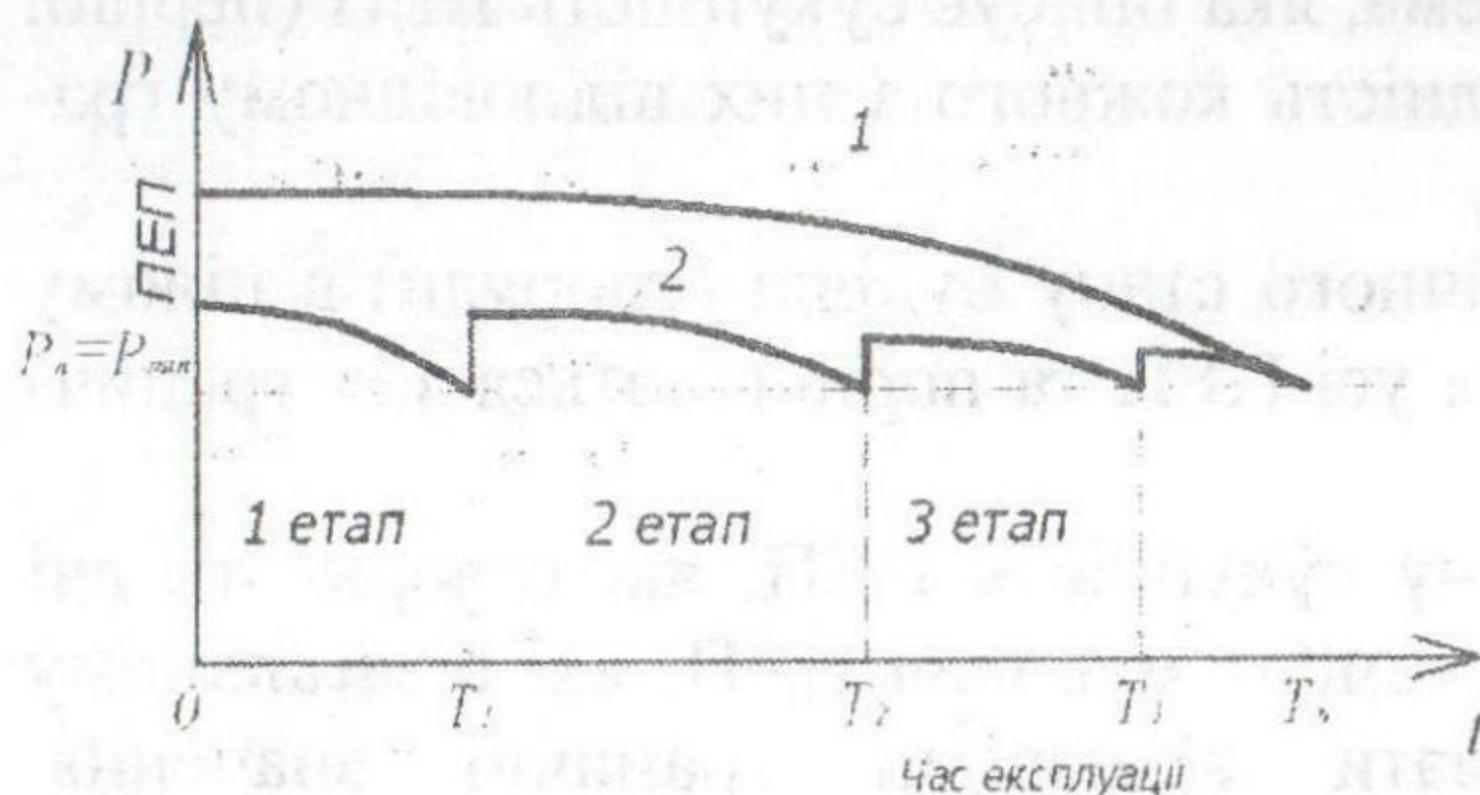


Рис. 3. Визначення залишкового ресурсу

Розглянуто дві стратегії експлуатації:

- процес експлуатації проходить без капітального ремонту, тобто відновлення експлуатаційних характеристик, та підвищення ПЕП (крива 1 на рис. 3);
- з проведенням указаних робіт (крива 2 на рис. 3).

Для первого випадку залишковий ресурс

визначається як час до настання ПЕП нормативного (мінімально допустимого) значення, тобто  $T = T_H$ .

Залишковий ресурс будівель та споруд у цілому розраховують відповідно до запропонованої ієархії. При цьому розглядаються усі ПЕП, що впливають на роботу окремих конструкцій та систем з них.

Прогнозування технічного стану зводиться до прогнозування зміни окремих ПЕП, оцінювання їх порівняно з граничними значеннями та визначення технічного стану і залишкового ресурсу як окремих конструкцій, так і будівель та споруд у цілому.

Отриману в ході натурних обстежень конструкцій інформацію трансформують у вигляді кривої експлуатації. Задача полягає в екстраполюванні отриманих залежностей у часі з метою достовірного прогнозування зміни даного показника за часом останнього обстеження.

Прогноз роботи конструкцій слід робити на підставі спостереження за її роботою в реальних умовах. При цьому реалізується модель „чорного ящика“ та використовується апостеріорна інформація, яка для цієї системи є достовірною.

Базуючись на виконаному нами аналізу, для прогнозування зміни ПЕП пропонується комбінована залежність, яка є середнім зваженим значенням прогнозованого ПЕП, отриманого поліномами різного ступеня. Чисельне моделювання показало, що достатньо розглянути поліноми до 4...5 ступенів. Подальше збільшення ступеня поліному не призводить до суттєвої зміни показника та в практичних розрахунках є недоцільним. У запропонованій методології і такий підхід прийнято до прогнозування технічного стану конструкцій.

Розглядається два шляхи регулювання технічного стану окремих конструкцій та будівель і споруд у цілому, а саме:

- уточнення області якості шляхом вивчення фактичної роботи конструкцій в певних умовах експлуатації;
- підвищення експлуатаційних показників шляхом проведення ремонту та реконструкції.

Регулювання технічного стану починається з призначення початкового ресурсу конструкцій (на стадії проектування). Чинні норми проектування не встановлюють початковий ресурс залізобетонних конструкцій прямим (розрахунковим) шляхом.

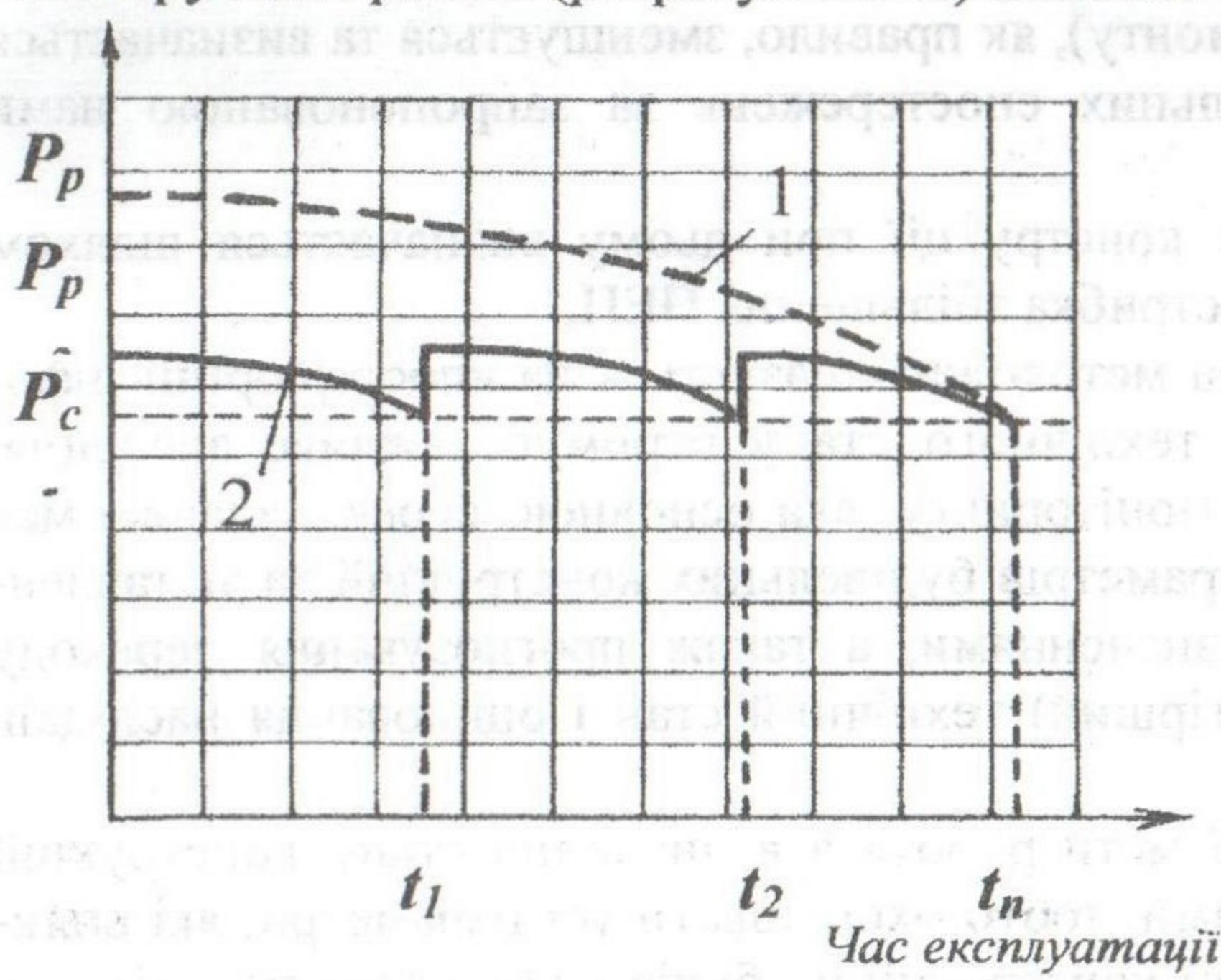


Рис. 4. Визначення початкового ресурсу конструкцій: 1 – без капітального ремонту під час експлуатації; 2 – з проведеним капітальним ремонту

(також використовуючи методи експертного дослідження та обробки даних). Відношення цього показника до його критичного значення позначимо як коефіцієнт ресурсу  $\gamma_R$ .

Цей коефіцієнт дає можливість враховувати фактор часу під час призначення початкового ресурсу конструкцій, а значить і будівель чи споруд у цілому. При проектуванні на нього слід помножувати фактичні значення ПЕП, визначені конструктивними розрахунками. Запропонована методика дає можливість в розрахунки ввести фактор часу; врахувати конкретні умови експлуатації прямим шляхом; оптимізувати витрати на будівництво та експлуатацію.

Регулювання технічного стану залізобетонних конструкцій може відбуватися також шляхом втручання в процес їх експлуатації та

Базуючись на моделі процесу експлуатації, при проектуванні показники експлуатаційної придатності призначаються з перед заданим запасом, який розраховується як різниця між критичним ( $P_{cr}$ ) та прийнятим ( $P_{pr}$ ) значенням ПЕП (рис. 4).

У результаті розрахунків знаходимо необхідне для забезпечення вибраного терміну експлуатації значення ПЕП ( $P_{pr1}$  та  $P_{pr2}$ ) залежно від вибраної стратегії).

Відношення цього показника до його критичного значення позначимо як коефіцієнт ресурсу  $\gamma_R$ .

поліпшення ПЕП в ході виконання робіт з реконструкції, відновлення та капітальних ремонтів.

Виходячи із загального уявлення про процес експлуатації конструкції, дійдемо висновку, що коли монотонне падіння ПЕП доходить до критичного значення одного з них, тобто до межі наступного технічного стану конструкції, виникає необхідність у втручанні в процес експлуатації.

Капітальний ремонт поліпшує ПЕП. Швидкість зміни цих ПЕП (після капітального ремонту), як правило, зменшується та визначається шляхом експериментальних спостережень за запропонованою нами методикою.

Залишковий ресурс конструкції при цьому визначається шляхом призначення величини стрибка збільшення ПЕП.

Оскільки розроблена методологія базується на апостеріорній інформації, то моніторинг технічного стану отримує важливе значення. Пропонується система моніторингу, яка основною своєю задачею має визначення окремих параметрів будівельних конструкцій та зіставлення їх з допустимими значеннями, а також прогнозування переходу конструкцій в інший (гірший) технічний стан і оцінювання наслідків такого переходу.

Для досягнення цієї мети роботи з визначення стану конструкцій повинні бути змістовними, тобто охоплювати усі параметри, які впливають на роботу окремої конструкції чи будівлі або споруди в цілому. З цією метою для кожної системи (конструкції, будівлі) визначають ПЕП. Характер їх змін у процесі експлуатації визначається роботами з моніторингу.

Результати прогнозування за допомогою поліномів різного ступеня та середнє значення ПЕП, а також зіставлення прогнозованого (теоретичного) значення з експериментальним має такі статистичні характеристики: середнє арифметичне відхилення складало 0,99, середнє квадратичне – 0,323 при коефіцієнті варіації 32,7%. Це дає змогу зробити висновок про статистичну обґрунтованість та надійність запропонованої методики прогнозування зміни окремих ПЕП і прогнозування зміни технічного стану конструкцій та будівель і споруд у цілому.

## **Висновки**

1. На основі розробленої математичної моделі створена цілісна методологія оцінювання, прогнозування та регулювання технічного стану залізобетонних конструкцій та будівель і споруд в цілому на

підставі прямого і диференційованого врахування факторів, що впливають на ПЕП.

2. Математичну модель експлуатації окремої конструкції або будівлі чи споруди в цілому створено на апостеріорній інформації. Показано, що опис кривої експлуатації поліномом другого ступеня є достовірним та надійним.

3. Будівельні конструкції слід відносити до одного з трьох технічних станів).

4. Прогнозування технічного стану окремих конструкцій і будівель (споруд) у цілому, визначається на підставі отриманих в ході обстежень даних шляхом екстраполяції кривих експлуатації як середнє арифметичне, отримане поліномами різних ступенів (не вище ніж четвертого).

5. Початковий ресурс конструкції встановлюється на підставі кривих експлуатації конструкцій шляхом введення коефіцієнта ресурсу  $\gamma_R$ . Залишковий ресурс визначається екстраполяцією кривої експлуатації.

### **Summary**

**Methodology of evaluation, prognostication and adjusting of the technical state of separate constructions and buildings and buildings is offered on the whole. The mathematical model of exploitation which is based on a posteriori information and does a process economic and reliable is created.**

### **Література**

1. Кривошеєв П.І. Науково-технічні проблеми будівельної галузі / Науковий вісник будівництва, вип. 33 – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2005. – С. 5-7.
2. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд / Держ. комітет буд.-ва, архіт. та житлової політики України, Держнаглядохоронпраці України. — К., 1997. — 145 с.
3. Клименко Є.В. Технічний стан будівель та споруд / Є.В. Клименко // – Одеса, ОДАБА. Умань: Уманське комунальне видавничо-поліграфічне підприємство, 2010 –284 с.