

СниП 2.03.01-84* добре оцінює міцність і деформативність залізобетонних балок посиленних композитним матеріалом.

1. Клименко Ф.Е. Сталебетонные конструкции с внешним полосовым армированием. – К., 1984. 2. СНИП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции. 3. Вахненко П.Ф. и др. Расчет и конструирование частей жилых и общественных зданий. – К., 1987. 4. Інформаційні матеріали фірми SIKA.

УДК 624.042.4:627.042.4

А.Я. Барашиков, В.М. Колякова
Київський національний університет будівництва та архітектури

МАТЕМАТИЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ЗМІННИХ ДОВГОТРИВАЛИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА БУДІВЛІ І СПОРУДИ

© Барашиков А.Я., Колякова В.М., 2002

В результаті аналізу досліджень та натурних обстежень розроблені схеми зовнішніх навантажень та вимушених деформацій на силоси, бункери тощо. Для наведених схем встановлені аналітичні залежності з визначення зусиль

Усі дії, які впливають на роботу несучих конструкцій будівель та інженерних споруд за довготривалий час їх експлуатації, можна поділити на постійні та змінні. До постійних належить велика група дій, таких як власна вага, вага постійно встановленого обладнання, усталені зусилля попереднього напруження, деякі види технологічних дій.

Останні дії є змінними, які змінюються у часі. Несприятливий вплив тривалих змінних дій на умови експлуатації потребує систематизації та єдиного представлення якщо не всіх, то хоча б основних типів, що зустрічаються на практиці. На жаль, до сьогодні не складена класифікація дій, хоча цьому питанню присвячено достатньо велика кількість робіт, серед яких треба особливо відзначити роботи Є.М. Бабица [2] та одного з авторів статті [3].

Відомо, що дії можуть бути силовими (навантаження) та несиловими (вимушені деформації). Окрім цього, зміна дії під час досягнення одного або іншого рівня може бути плавною або ступінчастою, миттєвою або практично миттєвою щодо тривалості витримки на даному рівні.

Нижче розглянуті характерні види довготривалих дій та вимушених деформацій на будівлі та споруди.

Найчастіше зустрічаються зміни навантажень у місткостях, призначених для зберігання сипучих тіл та рідин. До них належать резервуари, силоси, бункери, склади та ін.

Типові зміни навантажень у часі характерні, наприклад, для місткостей зернових елеваторів. На рис. 1 зображена схема зміни зусиль у стінках силоса зернового елеватора під час його заповнення та спорожнення [9]. Перші два варіанти належать до випадку роздільного заповнення та спорожнення з перервою (рис. 1, а) або без перерви (рис. 1, б) між ними. Часто зерно випускають з місткості до закінчення її заповнення, тобто виконують одночасно заповнення та спорожнення останньої. В обох випадках можливе одне із співвідношень: $Q_n > Q_o$ або $Q_n < Q_o$ (де Q_n – навантаження від заповнення; Q_o – навантаження від спорожнення). Всього, можливі

чотири випадки одночасного заповнення та спорожнення місткості. У перших двох випадках (рис. 1, в, з) спорожнення починається одночасно із заповненням, при цьому для випадку (в) заповнення відбувається скоріше ніж спорожнення, тобто $Q_H > Q_O$, а для випадку (з) – навпаки, $Q_H < Q_O$. У випадках, зображених на рис. 1, д, е спорожнення починається через деякий час після заповнення: для (д) – $Q_H > Q_O$; для (е) – $Q_H < Q_O$.

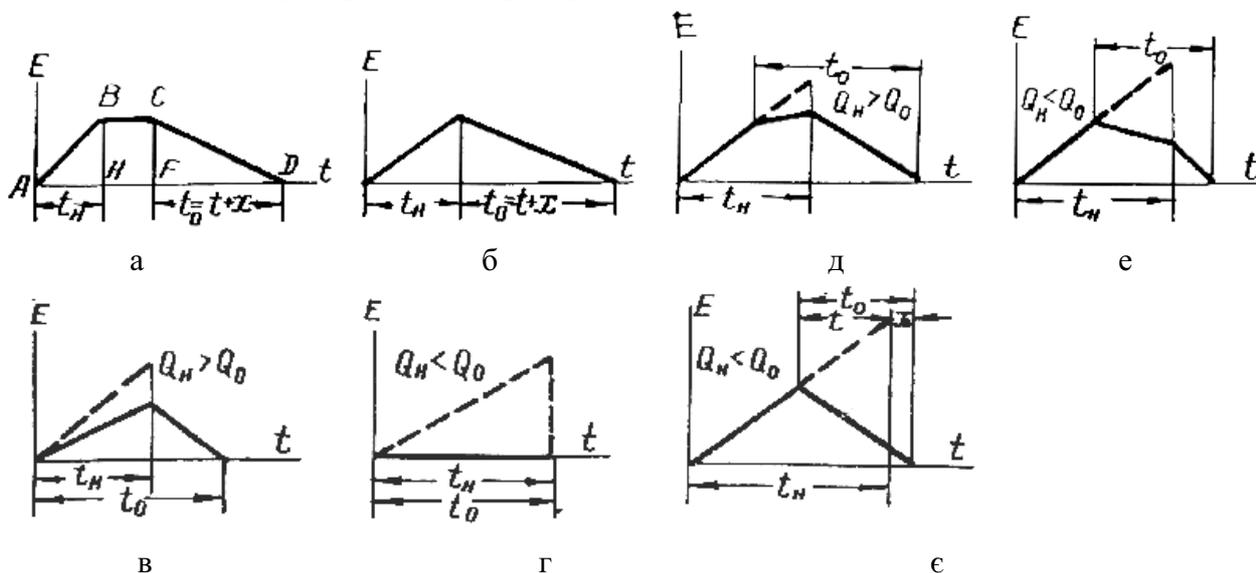


Рис. 1. Графічне зображення роботи силосу зернового елеватора при різних варіантах навантаження:
 E – місткість силосу, m ; t – час, хв/місяці

Час заповнення, витримки об'єму зерна та спорожнення у силосах залежить від типу елеватора: перевалочні елеватори пристосовані для передавання зерна з одного виду транспорту на інший; фондові – забезпечують тривале збереження резервів зерна; базисні – зберігають оперативні запаси для забезпечення зерном населення. Отже, тривалість зберігання зерна коливається від декількох годин до декількох місяців [7].

Аналогічна картина зміни зусиль спостерігається у стінках та днищах резервуарів для води, нафтопродуктів та ін. при зміні рівня продукту, що зберігається. Відмінність у режимі зміни навантаження зумовлена характером роботи підприємства на якому збудовані резервуари: на нафтопромислах, нафтопереробних заводах, нафтобазах, складах промислових підприємств тощо. Кожна група сховищ має свій особливий режим зберігання продуктів, який залежить від його фізико-механічних властивостей, терміну зберігання, періодичності надходження та викачування продукту зі сховища [5, 12]. Окрім коливань навантажень, зв'язаних із завантаженням та розвантаженням місткостей під час експлуатації, великий вплив на зміну зусиль, які діють на днище і стінки резервуарів, мають донні відкладення [5].

Структуру зміни навантажень, подібну до елеваторів, мають і вантажні бункери вугільних шахт [8, 11], призначені для накопичення вугілля у перервах між подачею транспортних засобів, а також для швидкого навантаження накопиченого вугілля в транспортні засоби.

Велика кількість натурних обстежень будівель, працюючих на відкритому повітрі [8, 10], показують значні зміни у часі зусиль та напружень у конструкціях. Так, при розгляді умов роботи плит аеродромних покриттів [10] виявилось, що необхідна величина попередніх напружень у покриттях із зовнішнім обтиском непостійна в різні періоди року. З рис. 2 можна бачити, що найбільші добові зміни середньої температури бетону плит покриття відповідають максимальним

значенням амплітуди добових коливань температури на поверхні плит. Максимальні добові зміни середньої температури бетону плит покриття та характер зміни тиску домкратів силових швів мають чітку залежність.

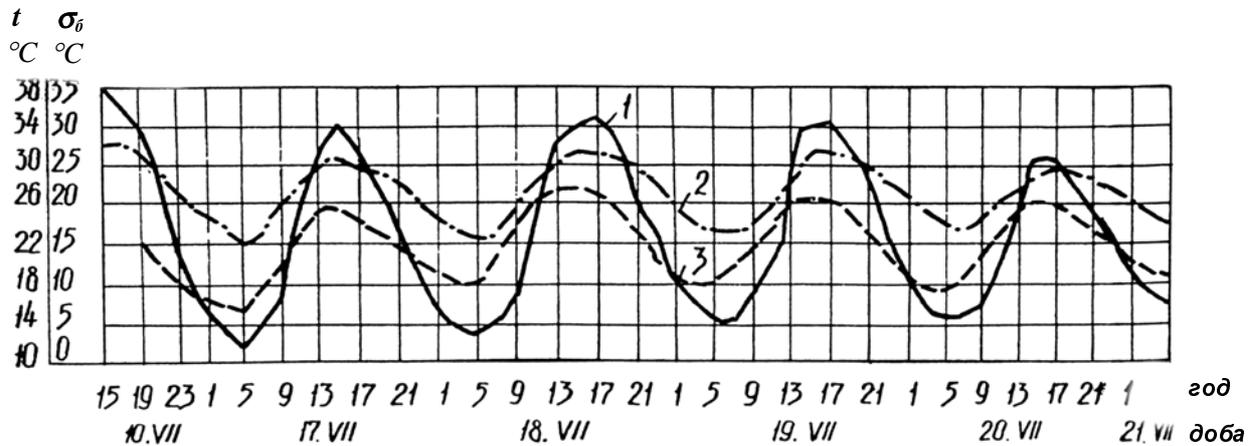


Рис. 2. Приклад зміни попереднього напруження та температури бетону в силовому шві (1,2) дослідного аеродромного покриття (3)

Окрім силових дій суттєві зміни напружено-деформованого стану конструкцій під час експлуатації викликають несилові дії (вимушені деформації). Усі тривалі несилові дії можна поділити на 4 групи: 1) деформації, зв'язані зі змінами температури та вологості довкілля; 2) усадочні деформації; 3) деформації будівель, споруд та конструкцій, які виникають в результаті деформування ґрунтових основ як внаслідок підробки території, просідання ґрунтів, при зсувних та ін. явищах; 4) технологічні дії – зміна температури у пропарювальних камерах, автоклавах, резервуарах, силосах, бункерах при зберіганні гарячих продуктів, у цехах з підвищеним тепловиділенням тощо.

Великі змінні деформації виникають у стінках та в покритті пропарювальних камер та автоклавів при тепловологісній обробці залізобетонних конструкцій [1]. Загальний цикл термовологісної обробки містить підняття температури, ізотермічне нагрівання та охолодження (рис. 3).

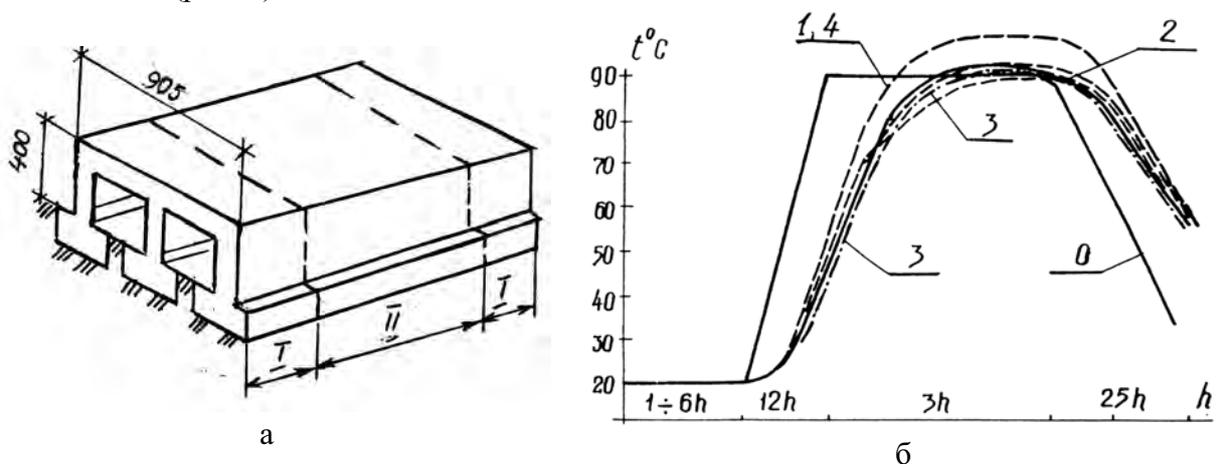


Рис. 3. Схема стаціонарної пропарювальної камери (а) та графік тепловологісної обробки залізобетонних конструкцій (б):
I – зони падаючих температур; II – зона ізотермічного прогріву виробу;
0...4 – зміни у часі (годинах) температури у різних точках камери

У роботі [3] автор вперше розглянув способи аналітичного представлення довготривалих змінних навантажень. Тут запропоновано кусково-неперервні дії подавати за допомогою функції Хевісайда. В загальному вигляді для навантаження, яке є низкою імпульсів різної висоти, розрахункову формулу записують так:

$$P(t) = \sum_{k=0}^n P_k [u(t - \tau_k) - u(t - \tau_{k+1})], \quad (1)$$

де P_k – коефіцієнт зусилля індексу; $u(\dots)$ – одинична функція Хевісайда.

В окремому випадку, для імпульсів однакового рівня

$$P(t) = P_0 \sum_{k=0}^n [u(t - \tau_k) - u(t - \tau_{k+1})]. \quad (2)$$

Безперервні, плавно змінні дії можуть бути зображені у вигляді скінченної або нескінченної суми синусоїдальних та косинусоїдальних залежностей, тобто у вигляді ряду Фур'є

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nt + b_n \sin nt) \quad (3)$$

з коефіцієнтами Ейлера-Фур'є

$$\left. \begin{aligned} a_n &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cos ntdt \\ b_n &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \sin ntdt \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

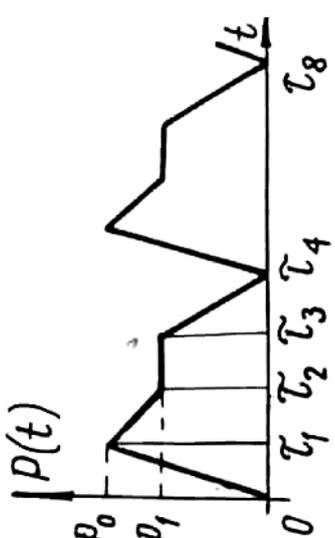
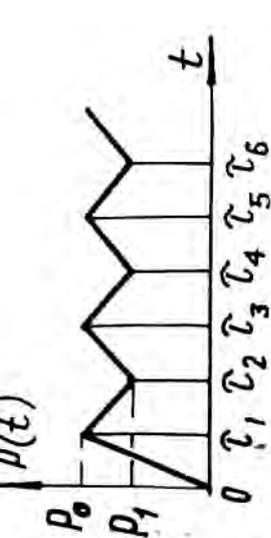
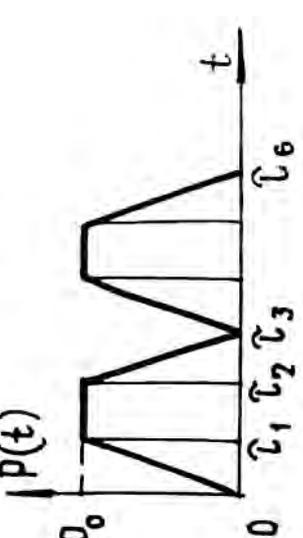
У випадку переривчастих плавних функцій зміни навантаження можна описати за допомогою комбінації співвідношень (1) і (3).

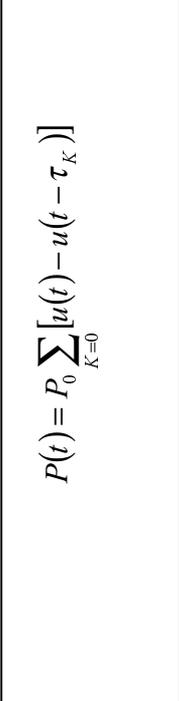
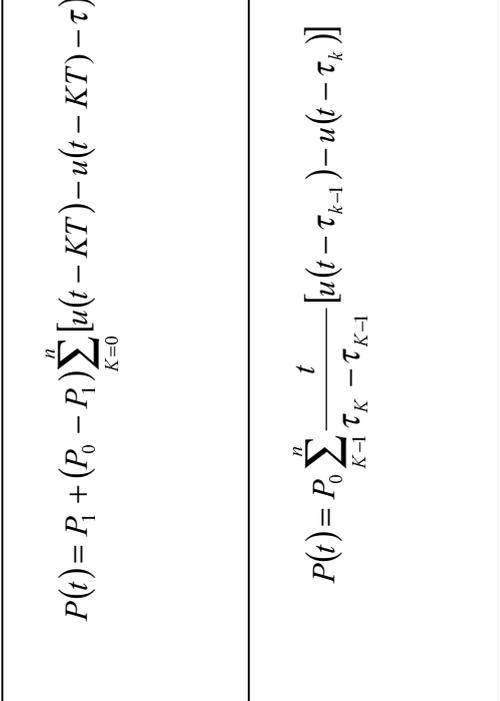
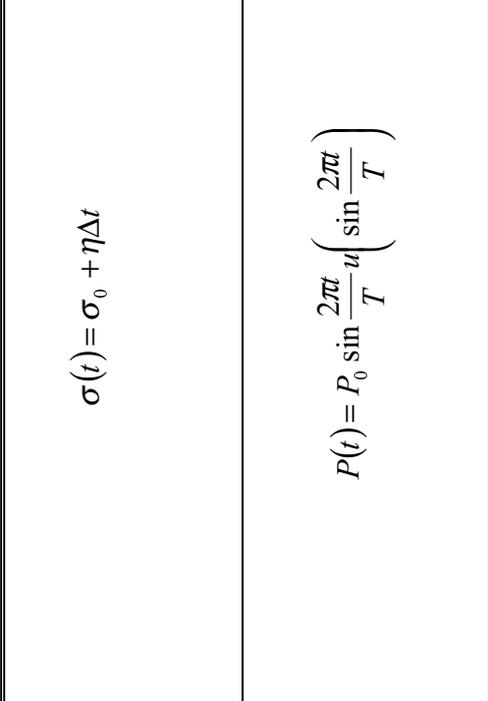
За результатами аналізу літературних джерел та натурних обстежень, проведених за участю авторів статті, була складена таблиця, в якій наведені деякі характерні типи довготривалих змінних дій на конструктивні елементи будівель та споруд (див. таблицю).

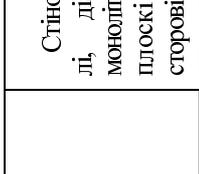
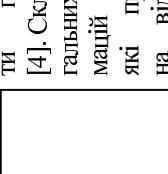
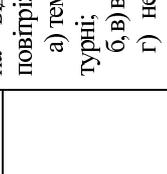
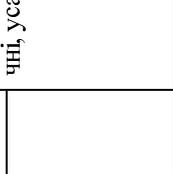
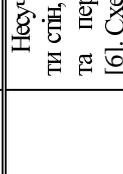
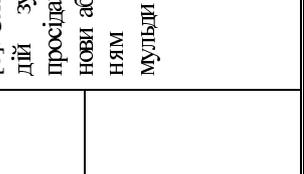
Наведені приклади показують, що в реальних умовах може бути безліч варіантів навантажень, на кожен з яких може бути представлено своє аналітичне співвідношення. Задача полягає в тому, щоб це співвідношення найбільш точно відповідало реальному навантаженню та було зручним для обчислення. Запропоновані методи подання навантажень допоможуть найбільш повно визначити зміни напружено-деформованого стану споруди за весь період її експлуатації.

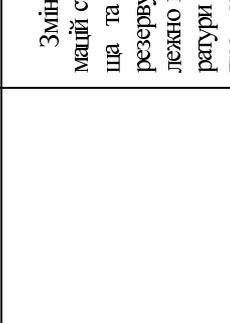
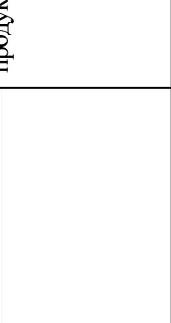
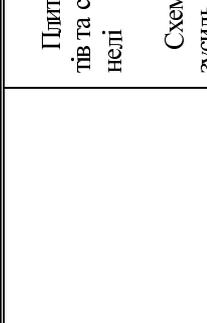
Найбільш характерні типи змінних дій та їх аналітичне представлення

Тип споруди	Схема навантаження або вимушеної деформації	Аналітичне представлення дії	Опис конструкцій та дій
1	2	3	4
1. Силові дії			
Місткості /силоси, бункери/		$P(t) = P_0 \sum_{k=1}^n \left\{ \frac{t}{\tau_{3k-3} - \tau_{3k-2}} [u(t - \tau_{3k-2}) - u(t - \tau_{3k})] + \right.$ $\left. + [u(t - \tau_{3k-2}) - u(t - \tau_{3k-1})] + \frac{t - \tau_{3k}}{\tau_{3k} - \tau_{3k-1}} [u(t - \tau_{3k-1}) - u(t - \tau)] \right\}$	<p>Спінки та днища силосів для цементу на цементних заводах [13] та зернона на зернових елеваторах [7, 9]</p> <p>Схема зміни навантаження залежить від призначення та типу силосу</p>
		$P(t) = P_0 \sum \left\{ \frac{t}{\tau_K - \tau_{K-1}} [u(t - \tau_{K-1}) - u(t - \tau_K)] + \right.$ $\left. + \frac{t - \tau_{2K}}{\tau_{K+1} - \tau_K} [u(t - \tau_K) - u(t - \tau_{K+1})] \right\}$	
		$P(t) = P_0 \left\{ [u(t) - u(t - \tau_1)] + \frac{t - \tau_2}{\tau_1 - \tau_2} [u(t - \tau_1) - u(t - \tau_2)] \right\}$	
		$P(t) = P_0 \sum_{K=0}^n [u(t - KT) - u(t - KT - \tau)]$	

1	2	3	4
1		$P(t) = \sum_{k=1}^n \left\{ P_0 \frac{t}{\tau_{4K-3} - \tau_{4K-4}} [u(t - \tau_{4K-4}) - u(t - \tau_{4K-3})] + \right. \\ \left. + [P_0 + (P_1 + P_0) \frac{t - \tau_{4K-3}}{\tau_{4K-2} - \tau_{4K-3}} [u(t - \tau_{4K-3}) - u(t - \tau_{4K-2})] + \right. \\ \left. + P_1 [u(t - \tau_{4K-2}) - u(t - \tau_{4K-1})] + P_1 \frac{t - \tau_{4K}}{\tau_{4K} - \tau_{4K-1}} [u(t - \tau_{4K-1}) - u(t - \tau_{4K})] \right\}$	<p>Стінки та днища вантажних бункерів шахт для видобування вугілля або руди [9]</p>
Місткості / силоси, бункери		$P(t) = P_0 \frac{t}{\tau_1} [u(t) - u(t - \tau_1)] + \sum_{k=1}^n \left\{ [P_0 + (P_1 - P_0) \frac{t - \tau_{2K-1}}{\tau_{2K} - \tau_{2K-1}}] x \right. \\ \left. + [u(t - \tau_{2K-1}) - u(t - \tau_{2K})] + [P_1 + (P_0 - P_1) \frac{t - \tau_{2K}}{\tau_{2K+1} - \tau_{2K}}] u(t - \tau_{2K}) \right\}$	<p>Схема зміни навантажень залежить від графіка подачі транспортних засобів</p>
		$P(t) = P_0 \sum_{k=1}^n \left\{ \frac{t}{\tau_{3K-3} - \tau_{3K-2}} [u(t - \tau_{3K-2}) - u(t - \tau_{3K-3})] + \right. \\ \left. + [u(t - \tau_{3K-2}) - u(t - \tau_{3K-1})] + \frac{t - \tau_{3K}}{\tau_{3K} - \tau_{3K-1}} [u(t - \tau_{3K-1}) - u(t - \tau_{3K})] \right\}$	

1	2	3	4
Міткості /резеруари		$P(t) = P_0 \sum_{K=0}^n [u(t) - u(t - \tau_K)]$ $P(t) = P_1 + (P_0 - P_1) \sum_{K=0}^n [u(t - KT) - u(t - KT - \tau)]$	<p>Стінки та днища резервуарів при різних термінах зберігання продукту та споживання виробництва [5, 12]</p>
		$P(t) = P_0 \sum_{K=1}^n \frac{t}{\tau_K - \tau_{K-1}} [u(t - \tau_{K-1}) - u(t - \tau_K)]$	<p>Зміни навантажень залежать від режиму експлуатації місткості</p>
Аеродомні та дорожні плити покриттів		$\sigma(t) = \sigma_0 + \eta \Delta t$ $P(t) = P_0 \sin \frac{2\pi t}{T} u \left(\sin \frac{2\pi t}{T} \right)$	<p>Необхідний розмір попереднього напруження в різні часу року в покриттях: а) нерухомого типу; б) рухомого типу [10]</p>

1	2	3	4
<p>Промислові та цивільні будівлі та споруди</p>	<p>2. Вимушенні деформації</p>		
		$\tilde{u}(t) = K \alpha Z [t_c^0(t) - t_{on}^0]$	<p>Стінові панелі, діафрагми, монолітні стіни, плоскі та просторові елементи покриттів [4]. Складові загальних деформацій споруд, які працюють на відкритому повітрі:</p> <ul style="list-style-type: none"> а) температура; б, в) вологісні; г) неперіодичні, усадочні
		$\tilde{u}_w(t) = \beta_w Z [\varphi_n(t) - \varphi(t_{on}^0)]$	
		$\tilde{u}_k(t) = \frac{O_0}{2} - \sum_{m=1}^{\infty} (a_m \sin mt - O_m \cos mt)$	
<p>Споруди на деформованій основі</p>		$\alpha_y(t) = \alpha_y (1 - e^{-\beta t})$	<p>Несучі елементи стін, покриттів та переkritтів [6]. Схема зміни дій зумовлена просіданням основи або осіданням поверхні м'якої ґрунту</p>
		$\Delta_p(t) = a P^n H$	
		$\eta(t) = -\eta_{\max} \left(\frac{t}{T} - 0,15 \sin \frac{2\pi t}{T} \right)$	

1	2	3	4
Резеруари для нафтопродуктів		$T(t) = T_0 \left(1 - \cos \frac{2\pi t}{\theta} \right)$ $T(t) = T_0 (1 - e^{-\alpha t}) + T_1 e^{-\beta t}$	<p>Зміни деформацій стінки, днища та покриття резервуару залежно від температури поданого продукту [5, 12]</p>
Ліси промобудівель з підвищенням тепловідленням		$f(t) = f_0 \left(\frac{t}{T} - a \sin \frac{2\pi t}{T} \right)$ $T(t) = T_1 + (2T_0 + T_1) \left(1 - \cos \frac{2\pi t}{\theta} \right)$	<p>Плити покриттів та стінові панелі</p> <p>Схема зміни зусиль та деформацій залежить від технологічних температур</p>
Пропаровувальні камери, автоклави тощо		$T(t) = \frac{T_0}{\tau_1} (t - \sin t) - \frac{T_0}{\tau_1} u(t - \tau_1) [(t - \tau_1) - \sin(t - \tau_1)] - \frac{T_0}{\tau_3 - \tau_2} u(t - \tau_2) [(t - \tau_2) - \sin(t - \tau_2)] - \frac{T_0}{\tau_3 - \tau_2} u(t - \tau_3) [(t - \tau_3) - \sin(t - \tau_3)]$	<p>Стінки та покриття пропаровувальних камер [1, 4]. Деформації залежать від режиму пропарювання</p>

Достовірне врахування зовнішньої дії виявляє дійсну картину роботи конструкцій у часі, що є неодмінною умовою раціонального та економічного проектування.

1. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести. – М., 1973. – 432 с. 2. Бабич Е.М. Про класифікацію навантажень на будівельні конструкції та інженерні споруди // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. – Рівне, 1987. – Вип. 21. – С. 94–99. 3. Барашиков А.Я. Расчет железобетонных конструкций на действие длительных переменных нагрузок. – 2-е изд., перераб. и доп. – К., 1977. – 156 с. 4. Бердичевский Г.И., Маркаров Н.А. Технологические факторы трещиностойкости и прочности предварительно напряженных железобетонных конструкций. – М., 1968. – 98 с. 5. Железобетонные резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов. Проектирование и сооружения / Т.Т.Стулов, В.А.Бунчук, Г.М. Бочаров и др.; Под ред. Т.Т.Стулова. – М., 1968. – 287с. 6. Конструкции гражданских зданий в сложных инженерно-геологических условиях. – К., 1990. – 112 с. 7. Конструкции и расчет зерновых железобетонных элеваторов / А.М. Курочкин, В.А. Ножицкий, А.Н. Прососердов. и др. – М., 1970. – 212 с. 7. Левин В.М. Железобетонные башенные сооружения. Исследования, расчет. – Макеевка, 1999. – 230 с. 8. Платонов П.П., Ляторовский Б.Г., Рекайкин П.Н. Элеваторы и склады. – М., 1954. – 267 с. 9. Предварительно напряженные покрытия аэродромов и дорог. – М., 1972. – 312 с. 10. Рудницкий П.С. Бункеры и склады угольных шахт. – М., 1952. – 581 с. 11. Сафарян М.К., Иценко Ю.К., Месропян Н.М. Исследование работы прямоугольных железобетонных резервуаров при температурных воздействиях. – М., 1961. – 36 с. 12. Borcz A., Marcinkowski Z. Winiki doswiadczalnych badan naporu cementu w silosie w skali naturalnej // Referaty XXI konferencji Naukowej PAN. – Krakow – Krynica, 1975. – Т. III. – S. 1–15.