

УДК 624.014.

## ЧИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ДИНАМІЧНОЇ РОБОТИ СТАЛЕВИХ ФЕРМ ПОКРИТТЯ ПРИВЕДЕНИХ ДО БАЛКОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ ДІЇ ЗОСЕРЕДЖЕНОГО ІМПУЛЬСИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

А.С. Білик  
канд. техн. наук

М.І. Терновий  
асистент

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

DOI: 10.32347/2410-2547.2024.113.265-274

Розглянута робота сталеві ферми покриття будов під час дії зосередженого імпульсивного навантаження. Приведено узагальнений методологічний підхід оцінки динамічних властивостей сталевих ферм покриття під час дії зосередженого імпульсивного навантаження. Оцінка динамічної роботи пружної конструкції балкового типу виконана через числові дослідження значень коефіцієнтів динамічності конструкції за прогинами і коефіцієнта динамічності за згинальним моментом в залежності від часу дії імпульсу та геометричних характеристик перерізу пружної конструкції. Підтверджено, що після припинення дії імпульсу (перший етап руху) відбувається подальше зростання значень прогинів конструкції і значень згинального моменту (другий етап руху). Показано, що при достатньому скороченні часу дії імпульсу прогини конструкції будуть менше чим при статичному навантаженні тією ж самою силою.

**Ключові слова:** сталеві конструкції ферм покриття, динамічна робота, згин, силовий імпульс, аналітичні розв'язки, коефіцієнт динамічності за прогином, коефіцієнт динамічності за згинальним моментом, числові дослідження коефіцієнтів динамічності.

**Вступ.** В умовах підвищення небезпеки ураження критичної інфраструктури і важливих об'єктів цивільного призначення при застосуванні агресором широкого спектру БПЛА є об'єктивна необхідність використовувати конструкції покриття будов розраховані на опір зосередженим імпульсивним навантаженням. Такі точкові імпульсивні навантаження виникають під час прямого ураження безпілотними летальними апаратами. Найбільш поширеними конструкціями покриття будівель є сталеві ферми прогоном 9-18 м. Забезпечення міцності і стійкості елементів таких конструкцій є важливим фактором забезпечення надійності таких конструктивних систем в цілому. Тому розвиток і адаптація методів розрахунку будівельної механіки і опору матеріалів до реального проектування будівельних сталевих конструкцій потребує розробки методики врахування динамічних властивостей сталевих конструкцій при дії імпульсивних навантажень. Найбільш поширений підхід, щодо врахування дії імпульсивних навантажень в будівельних конструкціях є визначення коефіцієнта динамічності конструкції, який залежить від геометричних характеристик сталеві ферми покриття, а також часу дії імпульсу) [1]. Існує ряд фундаментальних робіт з динаміки споруд і конструкції які освітлені в статтях та монографіях [1, 2, 3]. Наукові дослідження [4,5] присвячені більш коливанням тонких оболонок при різних динамічних навантаженнях. Стаття [6, 7] присвячені дослідженням коливань складних стрижневих систем під час сейсмічного збурення. Уточнення критеріїв граничних станів сталевих конструкцій при динамічних навантаженнях у тому числі при сейсмічних впливах особливо важливих об'єктів наведено в роботах [8, 9, 10]. Необхідність багатогранних досліджень металевих конструкцій каркасів будівель та ферм покриття на аварійні навантаження важливі з позицій визначення їх живучості і попередження їх руйнування [11, 12, 13, 14]. Отримані узагальнені рішення для описання поведінки пружних балкових елементів під час дії рухомого навантаження [15, 16, 17]. Також в цих дослідженнях описано глибокий історичний огляд розвитку підходів для дослідження динамічних характеристик балкових конструкцій під час дії рухомого навантаження та окремих імпульсивних навантажень [1, 2, 3, 15, 16, 17]. Окремий напрямок досліджень присвячений вивченню роботи дослідженням простих

сталевих елементів прямокутного перерізу під час дії імпульсивного навантаження, які використовують в машинобудуванні [18, 19, 20, 21]. Останні дослідження і цьому напрямку направленні на вивчення ефектів імпульсивного навантаження дисипативних осциляторів, які враховують різні ефекти імпульсивного навантаження та особливості закріплення конструкцій. Але існує необхідність в проведенні додаткових досліджень з позицій розробки узагальненої методики визначення коефіцієнта динамічності для сталевих конструкцій балкового типу, утому числі сталевих ферм покриття підвищеного захисту при дії зосередженого імпульсивного навантаження. Також потребує вивчення питання точності визначення коефіцієнтів динамічності під час розрахунку тільки за першою формою коливаль.

**1. Мета досліджень.** Визначити закономірності на коефіцієнт динамічності вплив часу дії зосередженого імпульсу на шарнірно оперту сталеву конструкцію ферми покриття.

**2. Дослідження.** Розглянуті динамічні властивості сталеві ферми покриття, яка шарнірно оперта на опори.

В дослідженнях прийняті наступні робочі гіпотези. По-перше, сталева конструкція ферми покриття приводиться до балкової конструкції у вигляді ідеального двотавра, а також яка має підвищену деформацію зсуву перерізу, що враховується відповідним усередненим коефіцієнтом:  $k_G$ . Коефіцієнт ( $k_G$ ) визначається через відношення прогину сталеві ферми як ідеального двотавра без деформації зсуву перерізу -  $\eta_{tr,bim}$  до дійсного прогину сталеві ферми конструкції при статичному навантаженні  $\eta_{tr,st}$

$$k_G = \frac{\eta_{tr,bim}}{\eta_{tr,st}}. \quad (1)$$

Момент інерції сталеві ферми покриття  $I_{tr,b,x}$  приймається як для ідеального двотавра ( $h_{tr}$  - висота сталеві ферми конструкції,  $h_{tr,w}$ ,  $h_{tr,d}$  - відповідно відстань від центру ваги конструкції до верхнього і нижнього поясів;  $A_{tr,w}$ ,  $A_{tr,d}$  - відповідно площа перерізу верхнього і нижнього поясів металеві ферми покриття. Прийнято, що момент інерції конструкції металеві ферми з урахуванням деформації зсуву перерізу, який враховує піддатливість решітки і обтиск поясів буде:

$$I_{tr,b,x} = \left(h_{tr,w}/2\right)^2 A_{tr,w} + \left(h_{tr,d}/2\right)^2 A_{tr,d}, \quad I_{tr,b,x} = \left((h_{tr} - h_{tr,d})/2\right)^2 A_{tr,w} + \left(h_{tr,d}/2\right)^2 A_{tr,d}. \quad (2)$$

Таким чином розглянуто однопрогінну шарнірно оперту балку Ейлера-Бернуллі [1, 2, 3, 15, 16] з нерухомими опорами, без коефіцієнта в'язкого демпфування та постійної жорсткості на згин  $EI_{tr,x}$ . Момент інерції ферми покриття приведеної до балкової конструкції з урахуванням коефіцієнта зсуву перерізу металеві ферми, як стрижневої системи, прийнято визначати за формулою  $I_{tr,x} = I_{tr,b,x} k_G$ . Прийнята маса одиниці довжини -  $m_{tr}$ . До балки прикладено на певній відстані від опори зосереджений імпульс -  $P_i(t) = P_{max} f(t)$ . Такі моделі часто використовуються при дослідженні впливу рухомого навантаження при дослідженні динамічних характеристик прогнових конструкцій мостів і реакції їх опор [15, 16, 17, 18].

Також прийнято диференціальна залежність між згинальним моментом ( $M_{tr,x}$ ) і прогинами балки ( $\eta_{tr,z,t}$ ) під час дії імпульсу  $P_i(t)$

$$M_x = -EI_{tr,x} \frac{\partial^2 \eta_{tr}}{\partial t^2}. \quad (3)$$

Загальне диференціальне рівняння вільних коливань балкової конструкції і під час дії розподіленого імпульсу -  $q(z,t)$  буде без урахування сил опору

$$EI_{tr,x} \frac{\partial^4 \eta_{tr}(z,t)}{\partial z^4} + m_{tr} \frac{\partial^2 \eta_{tr}(z,t)}{\partial t^2} = 0, \quad EI_{tr,x} \frac{\partial^4 \eta_{tr}(z,t)}{\partial z^4} + m_{tr} \frac{\partial^2 \eta_{tr}(z,t)}{\partial t^2} = q(z,t). \quad (4)$$

Відомо загальне рішення вільних коливань та коливань під час дії імпульсу на просту однопрогінну балкову конструкцію

$$\eta_{tr}(z,t) = \sum_{j=1}^{n \rightarrow \infty} \left\{ \bar{\eta}_{tr,z,j} \left[ D_j \sin \omega_j t + B_j \cos \omega_j t + \int_0^t \frac{q_{tr,j}(z,t) \sin[\omega_j(t-\tau)]}{\omega_j} d\tau \right] \right\}. \quad (5)$$

Якщо конструкція знаходилась у спокійному положенні тоді вірно таке аналітичне рівняння прогинів пружної конструкції

$$\eta_{tr}(z, t) = \sum_{j=1}^{n \rightarrow \infty} \left[ \bar{\eta}_{tr,z,j}(z) \int_0^t \frac{q_{tr,j}(z, t) \sin[\omega_j(t - \tau)]}{\omega_j} d\tau \right]. \quad (6)$$

Для однієї зосередженої сили імпульсу  $P_t(t)$  використовується формула переходу від рівномірно розподіленого імпульсу до зосередженого за формулою використовуючи нормовані функції прогинів

$$\begin{aligned} \bar{\eta}_{tr,z,j} &= \sin\left(\frac{j\pi z}{l}\right) \rightarrow q_{tr,j}(z, t) = \frac{\sum P_k(t) \bar{\eta}_{tr,z,k}}{\int m_{tr,z}^{-2} \bar{\eta}_{tr,z,j} dz}, & q_{tr,j}(z, t) &= \frac{P_k(t) \bar{\eta}_{tr,z,k}}{m_{tr} \int \bar{\eta}_{tr,z,j}^{-2} dz}, \\ z_{P_k} &= a_P \rightarrow \bar{\eta}_{tr,z,k} = \sin\left(\frac{j\pi a_P}{l}\right) \rightarrow q_{tr,j}(z, t) = \frac{P(t) \sin(j\pi a_P/l)}{m_{tr} \int \sin^2(j\pi z/l) dz} = \frac{P(t) \sin(j\pi a_P/l)}{m_{tr} l/2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Для шарнірно опертої балки функція прогинів  $\eta_{tr,z,j}$  буде описуватись нормованими синусоїдальними функціями в залежності від часу та  $j$ -частоти власних коливань -  $\omega_j$ .

При дії імпульсу маємо два рішення для визначення закономірності поведінки металевої конструкції балкового типу для часу: перша частина коливань під час дії імпульсу ( $0 \leq t \leq \tau_1$ ), і друга частина руху для часу після припинення імпульсу ( $t \geq \tau_1$ ).

При постійному значення  $P_t(t) = P_{\max} = \text{const}$  під час ( $\tau_1$ ) дії зосередженого імпульсу ( $0 \leq t \leq \tau_1$ ) останнє рівняння приймає вид

$$\begin{aligned} \eta_{tr}(z, t \leq \tau_1) &= \sum_{j=1}^{n \rightarrow \infty} \left[ \sin\left(\frac{j\pi z}{l}\right) \int_0^t \frac{2P(t) \sin(j\pi a_P/l) \sin[\omega_j(t - \tau)]}{\omega_j m_{tr} l} d\tau \right], \\ \eta_{tr}(z, t \leq \tau_1) &= 2P_{\max} \sum_{j=1}^{n \rightarrow \infty} \left\{ \sin\left(\frac{j\pi a_P}{l}\right) \frac{\sin(j\pi z/l)}{\omega_j^2 m_{tr} l} [1 - \cos(\omega_j t)] \right\}. \end{aligned} \quad (8)$$

Для шарнірно опертої металевої конструкції введення в останнє рівняння частоти власних коливань приводить миттєво до результату обчислення прогинів конструкції в точці прикладання імпульсу під час дії імпульсу -  $\eta_1(z, t \leq \tau_1)$

$$\begin{aligned} \eta_{1,z}(z, t \leq \tau_1) &= \frac{2P_{\max} l^3}{\pi^4 EI_{tr,x}} \sum_{j=1}^{n \rightarrow \infty} \left\{ \sin\left(\frac{j\pi a_P}{l}\right) \frac{\sin(j\pi z/l)}{j^4} [1 - \cos(\omega_j \tau_1)] \right\}, \\ \eta'_{1,z}(z, t \leq \tau_1) &= \frac{2P_{\max} l^3}{\pi^4 EI_{tr,x}} \sum_{j=1}^{n \rightarrow \infty} \left\{ \sin\left(\frac{j\pi a_P}{l}\right) \frac{\sin(j\pi z/l)}{j^4} \omega_j \sin(\omega_j \tau_1) \right\}, \\ \eta''_{1,z}(z, t \leq \tau_1) &= \frac{2P_{\max} l^3}{\pi^4 EI_{tr,x}} \sum_{j=1}^{n \rightarrow \infty} \left\{ \sin\left(\frac{j\pi a_P}{l}\right) \frac{\sin(j\pi z/l)}{j^4} \omega_j^2 \cos(\omega_j \tau_1) \right\}. \end{aligned} \quad (9)$$

Після часу дії імпульсу ( $t \geq \tau_1$ ) прогини пружної конструкції будуть залежати від початкових умов. Так в точці за часом рівним миті припинення імпульсу  $t = \tau_1$  прогини і кут повороту перерізу конструкцій в заданій точці для двох діапазонів роботи повинні співпадати.

$$\begin{aligned} \eta_{t=\tau_1,j} &= C_{1,j,P} \cos[\omega_j(t - \tau_1)] + C_{2,j,P} \sin[\omega_j(t - \tau_1)], \\ \eta'_{t=\tau_1,j} &= -\omega_j C_{1,j,P} \sin[\omega_j(t - \tau_1)] + \omega_j C_{2,j,P} \cos[\omega_j(t - \tau_1)], \end{aligned}$$

$$\eta_{t=\tau_1} \rightarrow C_{1,j,P} = \frac{2P_{\max} l^3}{\pi^4 EI_{tr,x}} [1 - \cos(\omega_j \tau_1)], \quad C_{2,j,P} = \eta_{P_{\max}} \sin(\omega_j \tau_1) = \frac{2P_{\max} l^3}{\pi^4 EI_{tr,x}} \sin(\omega_j \tau_1). \quad (10)$$

В точці прикладання імпульсу прогини шарнірно опертої металевої конструкції  $\eta_2(z, t \geq \tau_1)$  після припинення дії імпульсу будуть визначатися за рівнянням

$$\eta_2(z, t \geq \tau_1) = \frac{2P_{\max} l^3}{\pi^4 EI_{tr,x}} \sum_{j=1}^{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{\sin(j\pi a_P/l) \sin(j\pi z/l) 2 \sin(\omega_j \tau_1/2) \sin[\omega_j(t - (\tau_1/2))]}{j^4} \right\}. \quad (11)$$

Заміна поточної координати дії імпульсу приводить до формул визначення прогинів ( $a_p=l/2$ ,  $z=l/2$ ) та згинальних моментів пружної конструкції по середині конструкції на різних етапах коливань із рівнянь (3, 9, 11) з урахуванням відношень

$$\begin{aligned}\sin^2(j\pi/2) &= 1, \quad j = 1, 3, 5, \dots, 2n-1, \dots \\ \sin^2(j\pi/2) &= 0, \quad j = 2, 4, 6, \dots, 2n, \dots\end{aligned}$$

В розгорнутому виді функції прогинів сталеві конструкції коливань у часі без сил опору і згинальних моментів під час дії імпульсу і після будуть описуватись рівняннями. В цих рівняннях індекс 1, 2 в позначеннях прогинів  $\eta_{1,z,1}$  та  $\eta_{2,z,1}$  і згинальних моментів  $M_{x,1,z,1}$ ,  $M_{x,2,z,1}$  вказує на 1-й та 2-й діапазони роботи конструкції для часу ( $t \leq \tau_1$ ) та ( $t \geq \tau_1$ ) та на координату точки ( $z_1=z_p=l/2$ ) дії імпульсивного навантаження

$$\begin{aligned}z_1 &= \frac{l}{2}, \quad a_p = \frac{l}{2}, \quad t \geq \tau_1, \\ \eta_{1,z,1} &= \frac{2P_{\max}l^3}{\pi^4 EI_x} \sum_{j=1,3,5,\dots,n}^{n \rightarrow \infty} [1 - \cos(\omega_j t)] / j^4, \\ M_{x,1,z,1} &= \frac{2P_{\max}l}{\pi^2} \sum_{j=1,3,5,\dots,n}^{j \rightarrow \infty} [\cos(\omega_j t)] / j^2.\end{aligned}\quad (12)$$

$$\begin{aligned}\eta_{2,z,1} &= \frac{2P_{\max}l^3}{\pi^4 EI_x} \sum_{j=1,3,5,\dots,n}^{n \rightarrow \infty} \frac{\sin^2(j\pi/2)}{j^4} 2 \sin(\omega_j \tau_1/2) \sin[\omega_j(t - (\tau_1/2))], \\ M_{x,2,z,1} &= \frac{2P_{\max}l}{\pi^2} \sum_{j=1,3,5,\dots,n}^{n \rightarrow \infty} \frac{\sin^2(j\pi/2)}{j^2} 2 \sin(\omega_j \tau_1/2) \sin[\omega_j(t - (\tau_1/2))].\end{aligned}\quad (13)$$

Відомо, що після припинення дії імпульсу прогини сталеві конструкції ферми будуть зростати.

Прийнято, що коефіцієнти динамічності визначаються з відношення максимальних прогинів конструкції після дії імпульсу до статичного прогину конструкції при дії тієї ж самої сили  $P_{\max}$ .

Остаточні коефіцієнти динамічності за прогинами  $k_{din,\eta,2}$  та коефіцієнт динамічності за згинальними моментами  $k_{din,M,2}$ , що враховують будь яку кількість форм вільних коливань шарнірно опертої конструкції після прикладання зосередженого імпульсу по середині прогону конструкції сталеві ферми покриття будуть

$$\begin{aligned}k_{din,\eta,2} &= \frac{\eta_{tr,2,z,1}\left(\frac{l}{2}\right)}{\eta_{tr,st}\left(\frac{l}{2}\right)} = \frac{\frac{2P_{\max}l^3}{\pi^4 EI_x} \sum_{j=1,3,5,\dots,2n-1}^{n \rightarrow \infty} [2 \sin(\omega_j \tau_1/2) \sin(\omega_j(t - (\tau_1/2)))] / j^4}{\left[ \frac{P_{\max}l^3}{48 EI_x} \right]}, \\ k_{din,M,2} &= \frac{M_{x,2,z,1}\left(\frac{l}{2}\right)}{M_{x,st}\left(\frac{l}{2}\right)} = \frac{\frac{2P_{\max}l}{\pi^2} \sum_{j=1,3,5,\dots,2n-1}^{n \rightarrow \infty} [2 \sin(\omega_j \tau_1/2) \sin(\omega_j(t - (\tau_1/2)))] / j^2}{\left[ \frac{P_{\max}l}{4} \right]}.\end{aligned}$$

Для числових досліджень важливо визначення коефіцієнта динамічності за прогинами  $k_{din,\eta,2}$  та згинальним моментом  $k_{din,M,2}$

$$k_{din,\eta,2} = \frac{96}{\pi^4} \sum_{j=1,3,5,\dots,2n-1}^{n \rightarrow \infty} \frac{2 \sin(\omega_j \tau_1/2)}{j^4} \sin[\omega_j(t - (\tau_1/2))],$$

$$k_{din,M,2} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{j=1,3,5..2n-1}^{n \rightarrow \infty} \frac{2 \sin(\omega_j \tau_1 / 2)}{j^2} \sin[\omega_j (t - (\tau_1 / 2))]. \quad (14)$$

Коли час дії імпульсивної сили наближається до половини періоду власних коливань конструкції  $\tau_1 \rightarrow T_{tr}/2$ , рівняння (14) показує, що при цьому максимальне значення коефіцієнта динамічності для прогинів буде дорівнювати переміщенню від миттєвому удару конструкції силою  $P_{max}$ . Це означає: під час удару прогин пружної сталеві конструкції буде в 2 рази більше прогину під час статичного навантаження (13, 14)

$$\tau_1 = \frac{T_{tr}}{2} \rightarrow \sin^2(\pi \tau_1 / T_{tr}) = \sin^2((\pi / T_{tr})(T_{tr} / 2)) = \sin^2(\pi / 2) = 1.$$

$$\tau_1 = \frac{T_{tr}}{2} \rightarrow \eta_{t=\tau_1} = \eta_{P_{max}} [1 - \cos(2\pi \tau_1 / T_{tr})] = \eta_{P_{max}} [1 - \cos(2\pi T_{tr} / T_{tr})] = 2\eta_{P_{max}}.$$

Для початкового визначення геометричних параметрів сталеві конструкції покриття, що сприймає імпульсивне навантаження корисно використовувати формули коефіцієнта динамічності власних коливань конструкції за першою формою ( $j=1$ )

$$k_{din,\eta,2} = (182/\pi^4) \sin(\omega_{j=1} \tau_1 / 2) \sin[\omega_{j=1} (t - (\tau_1 / 2))],$$

$$\omega_{j=1} = (2\pi / T_{tr,1}) \rightarrow k_{din,\eta,2} = (182/\pi^4) \sin(\pi \tau_1 / T_{tr,1}) \sin[(\pi \tau_1 / 2 T_{tr,1})(t - (\tau_1 / 2))],$$

$$k_{din,M,2} = (16/\pi^2) \sin(\omega_{j=1} \tau_1 / 2) \sin[\omega_{j=1} (t - (\tau_1 / 2))],$$

$$k_{din,M,2} = (16/\pi^2) \sin(\pi \tau_1 / T_{tr,1}) \sin[(2\pi / T_{tr,1})(t - (\tau_1 / 2))]. \quad (15)$$

З формул (15) також зразу впливає взаємозв'язок між часом дії імпульсу ( $\tau_1$ ) і напівперіодом власних коливань ( $T_{tr}/2$ ).

Також з формул (15) миттєво впливає формула для приблизного визначення часу коли наступають максимальні прогини конструкції після дії імпульсу із умови екстремума функції

$$\sin[(2\pi / T_{tr,1})(t - (\tau_1 / 2))] = 0 \rightarrow (2\pi / T_{tr,1})(t - (\tau_1 / 2)) = \pi / 2 \rightarrow (t - (\tau_1 / 2)) = T_{tr,1} / 4.$$

Остаточно максимальний прогин конструкції наступає в мить часу

$$t_{\eta_{max}} = T_{tr,1} / 4 + (\tau_1 / 2), \quad \tau_1 = T_{tr,1} / 2 \rightarrow t_{\eta_{max}} = T_{tr,1} / 4 + T_{tr,1} / 4 = T_{tr,1} / 2. \quad (16)$$

Проведені числові дослідження для умовно двох конструкції ферм покриття з однаковими прогонами та однаковими площами перерізів ферм.

В першій розрахунковій схемі (таблиці 1, 2) було прийнято, що момент інерції ( $I_{tr,b,x}$ ) сталеві ферми покриття визначається як для ідеального двотавра (1, 2). Для другої розрахункової схеми (таблиці 3, 4) враховано деформацію зсуву решітки ферми через пониження значення моменту інерції конструкції  $I_{tr,x} = I_{tr,b,x} k_G$ .

Аналіз результатів числових досліджень коефіцієнти динамічності за прогинами ( $k_{din,\eta,2}$ ) і згинальними моментами ( $k_{din,M,2}$ ) під час діє імпульсу, які представлені у таблицях 1 та 2, показує, що із зменшенням часу дії зосередженого імпульсу по відношенню до першого періоду власних коливань зменшує коефіцієнт динамічності за прогинами так і за розрахунковими згинальними моментами. Також підтверджено, що, що коефіцієнт динамічності за згинальними моментом суттєво нижчий коефіцієнта динамічності за прогинами:  $k_{din,\eta} > k_{din,M,2}$ .

За числовими дослідженнями отримано новий результат відносно кількості членів(п)ряду Фур'є функції прогинів щоб отримати точний результат. Так отримано, що неточність обчислення коефіцієнта динамічності коливається 1%...1,2% при кількості членів ряду Фур'є  $n=17$ , по відношенню до суми членів рядів  $n=39$ . І навпаки, розрахунок за першої формою коливань  $n=1$  дає відхилення від дійсного коефіцієнта динамічності  $n=39$  за згинальними моментом до 19% (таблиця 1).

Але при наближенні часу дії імпульсу до половини періоду коливань за першою формою  $\tau_1 \rightarrow T_{tr}/2$ , достатньо точний результат дає розрахунок коефіцієнти динамічності за першою формою коливань конструкції (таблиця 2). Також підтверджено, що під час наближення часу дії

імпульсу до  $\tau_1 \rightarrow T_{ir}/2$ , коефіцієнт динамічності за прогинами наближається до коефіцієнта динамічності  $k_{din,\eta,2} \rightarrow 2$  під час миттєвого удару [1, 2, 3].

Таблиця 1

Коефіцієнти динамічності за прогинами і згинальними моментами сталевій конструкції ферми покриття при розрахунковій схемі за аналогією ідеального двотавра під час дії імпульсу  $\tau_1=0,06$  с. Період першої форми коливань  $T_{ir}=0,2$  с сталевій ферми покриття

$n$	$k_{din,\eta,2}$	$\frac{k_{din,\eta,2}(n)}{k_{din,\eta,2}(n=39)}$	$k_{din,M,2}$	$\frac{k_{din,M,2}(n)}{k_{din,M,2}(n=39)}$
1	1,3974	1,099868	1,1493	1,099868
7	1,3911	1,000266	1,0806	1,034126
17	1,3908	1,000001	1,0483	1,003239
27	1,3908	1,000000	1,0460	1,001015
39	1,3908	1,000000	1,0449	1,000000

Таблиця 2

Коефіцієнти динамічності за прогинами і згинальними моментами сталевій конструкції ферми покриття при розрахунковій схемі за аналогією ідеального двотавра під час дії імпульсу  $\tau_1=0,09$  с. Період першої форми коливань  $T_{ir}=0,2$  с сталевій ферми покриття

$n$	$k_{din,\eta,2}$	$\frac{k_{din,\eta,2}(n)}{k_{din,\eta,2}(n=39)}$	$k_{din,M,2}$	$\frac{k_{din,M,2}(n)}{k_{din,M,2}(n=39)}$
1	1,9458	1,022615	1,6004	1,022615
7	1,9479	1,000186	1,5952	1,019292
17	1,9476	0,999998	1,5648	0,999873
27	1,9476	1,000000	1,5655	1,000328
39	1,9476	1,000000	1,5650	1,000000

Далі проведені числові дослідження коливань сталевій конструкції ферми без сил опору під час дії зосередженого імпульсу по середині прогону конструкції при переході від конструкції ідеального двотавра (таблиці 1, 2) до стрижневої конструкції (таблиці 3, 4).

Таблиця 3

Коефіцієнти динамічності за прогинами і згинальними моментами сталевій конструкції ферми покриття при переході до стрижневої конструкції під час дії імпульсу  $\tau_1=0,06$  с. Період першої форми коливань  $T_{ir}=0,25$  с сталевій ферми покриття

$n$	$k_{din,\eta,2}$	$\frac{k_{din,\eta,2}(n)}{k_{din,\eta,2}(n=39)}$	$k_{din,M,2}$	$\frac{k_{din,M,2}(n)}{k_{din,M,2}(n=39)}$
1	1,3441	0,958434	1,1055	0,958434
7	1,3525	1,000183	1,1753	1,018983
17	1,3523	0,999994	1,1516	0,998473
27	1,3523	1,000001	1,1544	1,000879
39	1,3523	1,000000	1,1534	1,000000

Подальший аналіз результатів числових досліджень коефіцієнтів динамічності за прогинами і згинальними моментами під час дії імпульсу, які представлені у таблицях 3 та 4 показує також, що із зменшенням часу дії зосередженого імпульсу по відношенню до першого періоду власних коливань зменшується коефіцієнт динамічності за прогинами так і за розрахунковими згинальними моментами. Але під час ( $\tau_1 \leq T_{ir}/4$ ) дії імпульсу коефіцієнти динамічності за прогинами  $k_{din,\eta,2} < 1$  і згинальними моментами можуть бути також менше одиниці  $k_{din,\eta,2} < 1$ ,  $k_{din,M,2} < 1$ . Підтверджено, що неточність обчислення коефіцієнта динамічності коливається до 0,7%..1,5%. при кількості членів ряду Фур'є  $n=17$ , по відношенню до суми членів рядів  $n=39$ . І

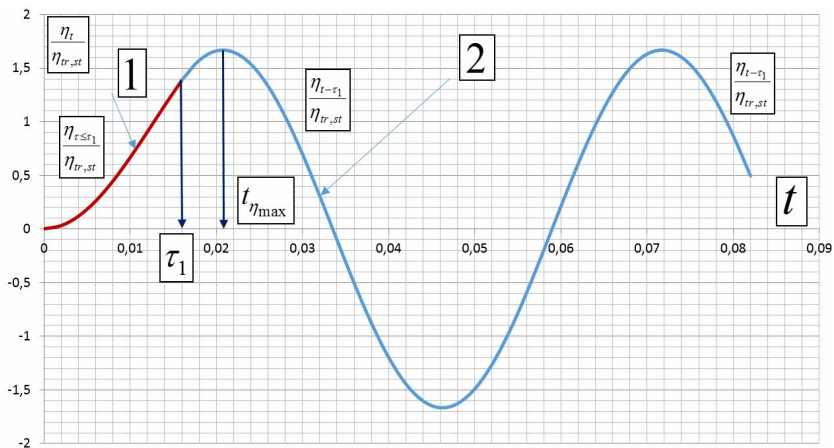
навпаки, розрахунок за першої формою коливань дає відхилення від дійсного коефіцієнта динамічності за згинальним моментом до 10,0%. Перехід від розрахункової схеми стрижневої конструкції до балкової системи ідеального двотавра збільшує період власних коливань і відповідно зменшує частоту.

Таблиця 4

Коефіцієнти динамічності за прогинами і згинальними моментами сталеві конструкції ферми покриття при переході до стрижневої конструкції під час дії імпульсу  $\tau_1=0,09$  с. Період першої форми коливань  $T_{tr}=0,25$  с сталеві ферми покриття

$n$	$k_{din,\eta,2}$	$\frac{k_{din,\eta,2}(n)}{k_{din,\eta,2}(n=39)}$	$k_{din,M,2}$	$\frac{k_{din,M,2}(n)}{k_{din,M,2}(n=39)}$
1	1,7095	0,923886	1,4060	0,923886
7	1,7238	0,999919	1,5125	0,993860
17	1,7240	1,000005	1,5265	1,003057
27	1,7239	1,000001	1,5227	1,000578
39	1,7239	1,000000	1,5218	1,000000

З рисунку 1 наглядно видно, що після припинення дії імпульсу прогини конструкції суттєво зростають. Так відношення прогину конструкції в момент закінчення дії імпульсу  $t=\tau_1$  становить  $\eta_{\tau_1}/\eta_{tr,st}=1,37$ , а після припинення дії імпульсу прогини зростають і коефіцієнт динамічності становить  $k_{din,\eta,2}=1,64$ .

Рис. 1. Коливання сталеві ферми під дією короткочасного імпульсу, час дії імпульсу  $\tau_1=0,016$  с,  $k_{din,\eta,2}=1,64$ .

Графік 1 – прогини конструкції під час дії імпульсу  $t \leq \tau_1$ . Графік 2 – прогини конструкції після дії імпульсу  $t \geq \tau_1$ ,  $T_{tr}=0,51$

**Висновки.** Проведені числові дослідження власних коливань сталевих ферм покриття з різними динамічними характеристиками (маса конструкцій та жорсткість конструкції), які характеризуються періодом власних коливань і частотою конструкції при певному часі дії зосередженого імпульсу прикладено до середини прогону конструкції. Підтверджено, що після припинення дії імпульсу прогини сталеві ферми будуть зростати, і набувають певного максимального значення, яке залежить від динамічних характеристик пружної конструкції та часу дії імпульсу. Зменшення часу дії імпульсу може дати зменшення значень коефіцієнта динамічності за прогином та згинальним моментом і може бути менше одиниці. Збільшення часу дії імпульсу до половини періоду власних коливань дає наближення динамічного (динамічного коефіцієнт імпульсу) за прогинами значення ударного навантаження  $k_{din,\eta,2} \rightarrow 2,0$ . Для початкових досліджень при певних значеннях часу дії імпульсу отримані формули для визначення коефіцієнтів динамічності за першою формою коливань. Подальші дослідження слід вести у напрямку пошуку раціональної конструкції сталеві форми покриття за критерієм опору імпульсивному навантаженню.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Писаренко Г. С. Опір матеріалів / Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський. – Київ: Вища школа, 2004. – 655 с. <https://btpm.nmu.org.ua/ua/download/%D0%9F%D0%B8%D1%81%D0%B0%D1%80%D0%.pdf>
2. Timoshenko S.P., 1953. History of Strength of Materials, McGraw-Hill, NewYork. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=147620>
3. Баженов В.А. Будівельна механіка і теорія споруд. Нариси з історії / В.А. Баженов, Ю.В. Ворона, А.В. Перельмутер. – К.: Каравела, 2016. – 428 с. <https://scadsoft.com/download/History.pdf>
4. Баженов В.А., Кривенко О.П., Ворона Ю.В. Аналіз власних коливань тонких параболічних оболонок // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2019. – Вип. 102. – С. 171-179. <http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-102/18-102.pdf> UDC 539.
5. Кривенко О.П., Ворона Ю.В. Аналіз нестационарної реакції пружної оболонки на імпульсне навантаження // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. зб. – К.: КНУБА, 2018. – Вип. 101. – С. 26-37. <http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-101/4.pdf>
6. Ворона Ю.В., Щербії В.І. Коливання морської бурової платформи при сейсмічному збуренні основи // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2016. – Вип. 97. – С. 135 – 144. [http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-97/11-97\\_vorona\\_shcher.pdf](http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-97/11-97_vorona_shcher.pdf)
7. Лук'янченко О.О., Ворона Ю.В., Костіна О.В. Вейвлет-аналіз сейсмічної хвильової реакції каркасної будівлі // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2019. – Вип. 103. – С. 131-144. [http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-103/10-103\\_luk\\_kos\\_vorona.pdf](http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-103/10-103_luk_kos_vorona.pdf)
8. Shugaylo, O., Bilyk, S. (2022). Impact of Changes in Process Conditions for Operation of Steel Support Structures of Nuclear Power Plant Equipment and Piping on Their Seismic Resistance. Nuclear and Radiation Safety, 1 (93), 62–70. [https://doi.org/10.32918/nrs.2021.1\(93\).07](https://doi.org/10.32918/nrs.2021.1(93).07)
9. Shugaylo, O., Bilyk, S. (2023). Development of Safety Assessment Methods for Steel Support Structures of Nuclear Power Plant Equipment and Piping under Seismic Loads. Nuclear and Radiation Safety, 1 (97), 20–29. [https://doi.org/10.32918/nrs.2023.1\(97\).03](https://doi.org/10.32918/nrs.2023.1(97).03)
10. Shugaylo, O., Bilyk, S. (2022). Research of the Stress-Strain State for Steel Support Structures of Nuclear Power Plant Components under Seismic Loads. Nuclear and Radiation Safety, 3 (95), 15–26. [https://doi.org/10.32918/nrs.2022.3\(95\).02](https://doi.org/10.32918/nrs.2022.3(95).02)
11. Daurov M.K., Bilyk A.S. Providing the vitality of steel frames of high-rise buildings under action of fire // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technicalcollectedarticles – Kyiv: KNUBA, 2019. – Issue 102. – P. 62-68. <http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-102/09-102.pdf>
12. Bilyk, S., Bilyk, A., Tonkacheiev, V. (2022). The stability of low-pitched vonMisesstrusses with horizontal elastic supports. Strength of Materials and Theory of Structures, 108, 131–144. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.131-144>
13. Bilyk, S., Tonkacheiev, H., Bilyk, A., Tonkacheiev, V. (2020). Tallvon-Misesstrusses' skew-symmetric deformation. Strength of Materialsand Theory of Structures, 105, 114–126. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2020.105.114-126>
14. Sergiy Bilyk, Vitaliy Tonkacheiev, Determining sloped-load limits in side vonMisesstruss with elastic support. Materialintehnologije., Ljubljana, Slovenija 52 (2018), 105-109, doi:10.17222/mit.2016.083.
15. Alberto DiMatteo. Dynamic response of beams excited by moving oscillators: Approximate analytical solutions for general boundary conditions./ Computers & Structures. Volume 280, May 2023, 106989. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2023.106989>
16. C. Svedholm, A. Zangeneh, C. Pacoste, S. François, R. Karoumi. Vibration of damped uniform beams with general end conditions under moving loads / Engineering Structures Volume 126,1 November 2016, Pages 40-52. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.07.037>
17. S. Priyadarshini1, V. Sadhasivami1, K. K. Viswanathan. Some New Oscillation Criteria for Euler-Bernoulli Beam Equationswith Damping Term/ Mathematics and Statistics 12(4): 324-330, 2024 <http://www.hrpub.org> DOI: 10.13189/ms.2024.12040.
18. Янютин Е. Г., Янчевский И. В., Воронай А. В., Шарпаната А. С. Задачи імпульсного деформування елементів конструкцій. – Харьков : ХНАДУ, 2004. – 392 с.
19. Ольшанський В. П., Ольшанський С. В., Тищенко Л. М. Динаміка дисипативних осциляторів. – Харків : Міськдрук, 2016. – 264 с.
20. Ольшанський В. П., Тищенко Л. Н., Ольшанський С. В. Колебания стержней и пластин при механическом ударе. – Харьков : Міськдрук, 2012. – 320 с
21. Ольшанський В.П., Ольшанський С.В. Динамічний ефект несиметрії силової характеристики дисипативних осциляторів // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2021. – № 1-2 (2). – С. 65 – 75. DOI: 10.20998/2222-0631.2021.02.08/<https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/8ab76a86-2a41-4283-b0e1-e02f5a208be0/content>

## REFERENCES

1. Pisarenko H.S. Opir materialiv (Strength of Materials) / H. S. Pisarenko, O. L. Kvitka, E. S. Umanskiy. - Kyiv: Higher School, 2004. - 655 p.<https://btpm.nmu.org.ua/ua/download/%D0%9F%D0%B8%D1%81%D0%B0%D1%80%D0%.pdf>. -Ukr.
2. Timoshenko S.P., 1953. History of Strength of Materials, McGraw-Hill, NewYork. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=147620>
3. Bazhenov V.A. Budivselna mekhanika i teoriia sporud. Narysy z istorii (Construction mechanics and the theory of structures. Essays on history) / V.A. Bazhenov, Yu.V. Vorona, A.V. Perelmuter. – K.: Karavela, 2016. – 428 p. <https://scadsoft.com/download/History.pdf>
4. Bazhenov V.A., Krivenko O.P., Vorona Yu.V. Analiz vlasnykh kolyvan tonkykh parabolichnykh obolonok (Modal analysis of thin parabolic shells) // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technicalcollectedarticles. – K.: KNUCA, 2019. – Issue 102. – P. 171-179. – Ukr. <http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-102/18-102.pdf>
5. Krivenko O.P., Vorona Yu.V. Analysis of non-state reaction of elastic shell to impulse load // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-&-Technicalcollectedarticles – Kyiv: KNUBA, 2018. – Issue 101. – P. 26-37. – Ukr. <http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-101/4.pdf>
6. Vorona Yu. V., Shcherbii V. I. Offshore drilling platform vibrations under seismic excitation // Strength of Materials and Theory of Structures. – 2016. – Issue. 97. – P. 135 – 144. [http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-97/11-97\\_vorona\\_shcher.pdf](http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-97/11-97_vorona_shcher.pdf)



7. Lukianchenko O.O., Vorona Yu.V., Kostina O.V. Wavelet analysis of seismic wave reaction of frame building // Strength of Materials and Theory of Structures. – 2019. – Issue. 103. – P. 131- 144. [http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-103/10-103\\_luk\\_kos\\_vorona.pdf](http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-103/10-103_luk_kos_vorona.pdf).
8. Shugaylo, O., Bilyk, S. (2022). Impact of Changes in Process Conditions for Operation of Steel Support Structures of Nuclear Power Plant Equipment and Piping on Their Seismic Resistance. Nuclear and Radiation Safety, 1 (93), 62–70. [https://doi.org/10.32918/nrs.2021.1\(93\).07](https://doi.org/10.32918/nrs.2021.1(93).07)
9. Shugaylo, O., Bilyk, S. (2023). Development of Safety Assessment Methods for Steel Support Structures of Nuclear Power Plant Equipment and Piping under Seismic Loads. Nuclear and Radiation Safety, 1 (97), 20–29. [https://doi.org/10.32918/nrs.2023.1\(97\).03](https://doi.org/10.32918/nrs.2023.1(97).03)
10. Shugaylo, O., Bilyk, S. (2022). Research of the Stress-Strain State for Steel Support Structures of Nuclear Power Plant Components under Seismic Loads. Nuclear and Radiation Safety, 3 (95), 15–26. [https://doi.org/10.32918/nrs.2022.3\(95\).02](https://doi.org/10.32918/nrs.2022.3(95).02).
11. Daurov M.K., Bilyk A.S. Providing of the vitality of steel frames of high-rise buildings under action of fire // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific and technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2019. – Issue 102. – P. 62-68. <http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-102/09-102.pdf>.
12. Bilyk, S., Bilyk, A., Tonkacheiev, V. (2022). The stability of low-pitched von Mises trusses with horizontal elastic supports. Strength of Materials and Theory of Structures, 108, 131–144. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.131-144>
13. Bilyk, S., Tonkacheiev, H., Bilyk, A., Tonkacheiev, V. (2020). Tall von-Mises trusses' skew-symmetric deformation. Strength of Materials and Theory of Structures, 105, 114–126. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2020.105.114-126>
14. Sergiy Bilyk, Vitaliy Tonkacheiev, Determining sloped-load limits inside von Mises truss with elastic support. Materiali i tehnologije., Ljubljana, Slovenija 52 (2018), 105-109, doi:10.17222/mit.2016.083.
15. Alberto DiMatteo. Dynamic response of beams excited by moving oscillators: Approximate analytical solutions for general boundary conditions / Computers & Structures. Volume 280, May 2023, 106989. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2023.106989>.
16. C. Svedholm, A. Zangeneh, C. Pacoste, S. François, R. Karoumi. Vibration of damped uniform beams with general end conditions under moving loads / Engineering Structures Volume 126, 1 November 2016, Pages 40-52. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.07.037>
17. S. Priyadharshini, V. Sadhasivam, K. K. Viswanathan. Some New Oscillation Criteria for Euler-Bernoulli Beam Equations with Damping Term / Mathematics and Statistics 12(4): 324-330, 2024 <http://www.hrpub.org> DOI: 10.13189/ms.2024.12040.
18. Yanyutin E. G., Yanchevskiy I. V., Voropay A. V., Sharapata A. S. Zadachi impuls'nogo deformirovaniya elementov konstruktsiy (Problems of impulse deformation of structural elements). Kharkov, HNADU PUBL., 2004. 392 p.
19. Ol'shans'kyy V. P., Ol'shans'kyy S. V. Dissipative oscillators' power characteristic non-symmetry dynamic effect / Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Mathematical modeling in engineering and technologies Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2021. – № 1-2 (2). – С. 65 – 75. DOI: 10.20998/2222-0631.2021.02.08/ <http://mmtt.khpi.edu.ua/article/view/249516>
20. Ol'shanskiy V. P., Tishhenko L. N., Ol'shanskiy S. V. Kolebaniya sterzhney i plastin pri mekhanicheskom udare [Vibrations of rods and plates under mechanical impact]. Kharkiv, Mis'k druk Publ., 2012. 320 p.
22. Ol'shans'kyy V. P., Ol'shans'kyy S. V. Dynamichnyi efekt nesimetrii sylovoi kharakterystyky dysypatyvnykh ostsyliatoriv (Dynamic effect of asymmetry of power characteristic of dissipative oscillators). Matematychni modeliuvannya v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh – Kharkiv : NTU «KhPI», 2021. – № 1-2 (2). – S. 65 – 75. DOI: 10.20998/2222-0631.2021.02.08/ <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/8ab76a86-2a41-4283-b0e1-e02f5a208be0/content>

Стаття надійшла 29.10.2024

Білик А.С., Терновий М.І.

#### **ЧИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЕНТІВ ДИНАМІЧНОЇ РОБОТИ СТАЛЕВИХ ФЕРМ ПОКРИТТЯ ПРИВЕДЕНИХ ДО БАЛКОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ ДІЇ ЗОСЕРЕДЖЕНОГО ІМПУЛЬСИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

Досліджена робота сталеві ферми покриття будов під час дії зосередженого імпульсивного навантаження. Приведено узагальнений методологічний підхід оцінки динамічних властивостей сталевих ферм покриття під час дії зосередженого імпульсивного навантаження. Робота сталеві ферми покриття розглянута, як робота однопрогінної шарнірно опертої балки Ейлера-Бернуллі з урахуванням коефіцієнта деформації зсуву перерізу. Аналітичні рішення прогинів і згинальних моментів представлені традиційно у вигляді суми рядів тригонометричних функцій за формами коливань. Оцінка динамічної роботи пружної конструкції балкового типу виконана через числові дослідження значень коефіцієнтів динамічності конструкцій за прогинами і коефіцієнта динамічності за згинальним моментом. Підтверджено, що робота балкових конструкцій під час дії імпульсивного зосередженого навантаження розділяється на дві фази, перша фаза роботи конструкції описується аналітичними залежностями за час дії імпульсу. Друга фаза роботи конструкції описується аналітичними залежностями для часу, коли дія імпульсивного навантаження відбулася, але конструкція продовжує рухатися, і прогони і розрахунковий згинальний момент набувають максимальних значень. Проведені числові дослідження точності значень коефіцієнтів динамічності за прогинами і згинальними моментами сталеві ферми покриття за кількістю взятих членів ряду. Показана точність рішення. Так для перших розрахунків достатньо утримувати членів ряду від першого до сьомого. Аналіз числових досліджень показав, що зменшення часу дії імпульсу може дати суттєве зменшення значення коефіцієнта динамічності за прогином та за згинальним моментом. Збільшення часу дії імпульсу до половини періоду власних коливань дає наближення коефіцієнта динамічності (динамічного коефіцієнта імпульсу) за прогинами до значення ударного навантаження. Для початкових досліджень при певних значеннях часу дії імпульсу отримані формули для визначення коефіцієнтів динамічності за першою формою коливань.

**Ключові слова:** сталеві конструкції ферм покриття, сталеві балки, динамічна робота, згин, силовий імпульс, аналітичні розв'язки, коефіцієнт динамічності за прогином, коефіцієнт динамічності за згинальним моментом, числові дослідження коефіцієнтів динамічності.

*Bilyk S.I., Ternoviy M.I.*

### **NUMERICAL RESEARCH OF THE COEFFICIENTS OF THE DYNAMIC WORK OF STEEL FRAMING COVERS REDUCED TO A BEAM STRUCTURE UNDER THE ACTION OF A CONCENTRATED IMPULSIVE LOAD**

The study of the operation of the steel truss of the covering of buildings during the action of a concentrated impulsive load. A generalized methodological approach to assessing the dynamic properties of steel roof trusses under the action of a concentrated impulsive load is given. The work of the steel structure is considered as the work of a single-span hinged Euler-Bernoulli beam taking into account the coefficient of shear deformation of the section. Analytical solutions of deflections and bending moments are traditionally presented in the form of the sum of series of trigonometric functions by the forms of oscillations. The evaluation of the dynamic performance of the beam-type elastic structure was performed through numerical studies of the values of the structure's dynamism coefficients for deflections and the dynamism coefficient for the bending moment. It has been confirmed that the work of beam structures during the action of an impulsive concentrated load is divided into two phases, the first phase of the construction is described by analytical dependences during the action of the impulse. The second phase of the structure's operation is described by analytical dependences for the time when the action of the impulse has ceased. The study of the operation of the steel truss of the covering of buildings during the action of a concentrated impulsive load. A generalized methodological approach to assessing the dynamic properties of steel roof trusses under the action of a concentrated impulsive load is given. The work of the steel structure is considered as the work of a single-span hinged Euler-Bernoulli beam taking into account the coefficient of shear deformation of the section. Analytical solutions of deflections and bending moments are traditionally presented in the form of the sum of series of trigonometric functions by the forms of oscillations. The evaluation of the dynamic performance of the beam-type elastic structure was performed through numerical studies of the values of the structure's dynamism coefficients for deflections and the dynamism coefficient for the bending moment. It has been confirmed that the work of beam structures during the action of an impulsive concentrated load is divided into two phases, the first phase of the construction is deimpulsive load occurred, but the structure continues to move, and the spans and the calculated bending moment acquire maximum values. Numerical studies of the accuracy of the values of the dynamism coefficients for deflections and bending moments of the steel structure of the coating by the number of members of the series were carried out. The accuracy of the solution is shown. Thus, for initial calculations, it is enough to keep members of the series from the first to the seventh. The analysis of numerical studies showed that reducing the pulse action time can significantly reduce the value of the dynamism coefficient in terms of deflection and bending moment. Increasing the duration of the impulse to half the period of natural oscillations brings the dynamic coefficient (dynamic coefficient of the impulse) closer to the value of the impact load. For initial studies, at certain values of the duration of the impulse, formulas were obtained for determining the coefficients of dynamism according to the first form of oscillations.

**Keywords:** steel structures of roof trusses, steel beams, dynamic work, bending, force impulse, analytical solutions, dynamism coefficient by deflection, dynamism coefficient by bending moment, numerical studies of dynamism coefficients.

УДК 624.014

*Білик А.С., Терновий М.І.* Числові дослідження коефіцієнтів динамічної роботи сталевих ферм покриття приведених до балкової конструкції при дії зосередженого імпульсивного навантаження // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2024. – Вип. 113. – С. 265-274.

*У статті приведена узагальнена методика визначення коефіцієнтів динамічності за прогинами та згинальними моментами динамічної роботи сталевих ферм покриття під час дії зосередженого імпульсу та припинення дії навантаження.*

Лл. 1. Табл. 4. Бібліогр. 21 назв.

UDC 624.014

*Bilyk S.I., Ternoviy M.I.* Numerical research of the coefficients of the dynamic work of steel framing covers reduced to a beam structure under the action of a concentrated impulsive load // Strength of Materials and Theory of Structures. Scientific-and-technical collected articles. – K.: KNUBA, 2024. – Issue 113. – P. 265-274.

*The article presents a generalized methodology for determining the dynamic coefficients for deflections and bending moments of the dynamic operation of a steel roof truss structure under the action of a concentrated impulse and after the load has ceased.*

Figs. 1. Tabl 4. Refs. 21.

**Автор:** кандидат технічних наук, доцент Білик Артем Сергійович

**Адреса:** 03037, Україна, м. Київ, Проспект Повітряних Сил, 31, Київський національний університет будівництва і архітектури 03142, Україна, м. Київ.

**Робочий тел.:** +38 (044) 241-54-89

**Мобільний тел.:** +38(050) 765-2-354

**E-mail:** artem.bilyk@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9219-920X>

**Автор:** аспірант Терновий Максим Ігоревич

**Адреса:** 03037, Україна, м. Київ, Проспект Повітряних Сил, 31, Київський національний університет будівництва і архітектури

**Робочий тел.:** +38 (044) 241-54-89

**E-mail:** maxbox007@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0003-7586-7872>