

УДК 624.014.

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ ВИСОТИ СТАЛЕВОЇ ФЕРМИ ПОКРИТТЯ ДЛЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД З УРАХУВАННЯМ ДІЇ ЗОСЕРЕДЖЕНОГО ІМПУЛЬСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

М.І. Терновий¹,
асистент

А.С. Білик^{1,2},
канд. техн. наук

¹Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

²Науково-дослідний інститут ВР, Київ

DOI: 10.32347/2410-2547.2025.114.231-240

Розроблена методологія пошуку раціональної висоти сталевोї ферми покриття з хрестовою решіткою в залежності від часу дії імпульсного навантаження. Описана цільова функція і проведені числові дослідження пошуку раціональної висоти сталевої ферми покриття прольотом 15,0 м і 18,0 м в залежності від часу дії зосередженого імпульсу. Встановлені закономірності зміни коефіцієнтів динамічності за прогинами і коефіцієнта динамічності за згинальним моментом в залежності від часу дії імпульсу.

Ключові слова: сталеві конструкції ферм покриття, раціональна висота сталевої ферми покриття, цільова функція, моделювання, динамічна робота, згин, силовий імпульс, аналітичні розв'язки, коефіцієнт динамічності за прогином, коефіцієнт динамічності за згинальним моментом, зведені витрати сталі.

Вступ. Падіння уламків на дахи будинків і споруд від БпЛА є значною загрозою для життєдіяльності людей та роботи об'єктів критичної інфраструктури [6]. Дія прямого ураження безпілотними летальними апаратами на сталеві конструкції покриття недостатньо досліджена. Але такі наукові роботи дають можливість визначити на першому етапі варіантного проектування множину раціональних конструктивних рішень. Тому актуальність статті в тому, що завдяки встановленим закономірностям вибору раціонального і оптимального рішення приводить до раціональних витрат матеріалів при збереженні захисних властивостей. В статті розглянуті прольоти 15,0 і 18,0 м сталевих ферм з хрестовою решіткою для покриттів будівель і споруд з підвищеними захисними властивостями. Але розроблений методологічний підхід, і проведені дослідження вибору раціональної топології таких конструкції може бути використаний і на більшій прольоти будівель і споруд. Також слід відмітити, що дія імпульсних навантажень не регламентується нормативними документами, що до їх визначення за часом дії та значеннями. Тому важливими є проведення досліджень аналітичними методами, щоб отримати широкий спектр можливих раціональних конструктивних рішень на першому етапі варіантного проектування.

Відомі фундаментальні наукові роботи з динаміки конструкцій та їх елементів [1, 2, 11, 15, 21, 22]. Теорія визначення динамічних властивостей різних відповідальних за призначенням будівельних конструкцій та споруд в цілому, які працюють в пружній області роботи сталі, розвиваються швидко і охоплюють все більше конструктивних систем [1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 17, 19, 23, 24, 25, 26]. Прикладом є наукові статті, щодо робота стрижневих баштових конструкцій при дії сейсмічних і вітрових навантажень з урахуванням різних аспектів їх надійності навантажень та виникненні вихрового резонансу [19]. Цей клас задач перетинається з розробкою теоретичних підходів, щодо визначення на роботу конструкцій впливу одночасної дії кількох аварійних навантажень [23, 24, 25]. Визначення живучості будівель і споруд та попередження прогресуючого руйнування пов'язано з нелінійною роботою конструкцій [12, 14] напряду пов'язано з поставленою в статті проблемою забезпечення працездатності конструкції при різних динамічних навантажень імпульсної дії. Ряд робіт формулюють необхідність в розширенні кола задач з оптимального вибору топології металевих стрижневих систем, з урахуванням дії імпульсних та динамічних навантажень [4, 5, 9, 16, 19, 20, 27, 28]. Основні підходи, щодо визначення коефіцієнтів динамічності за прогинами і згинальним моментом показні в роботі [5].

Мета досліджень. Визначити закономірності між раціональною (оптимальною) висотою сталеві ферми покриття і коефіцієнтом динамічності від дії зосередженого імпульсу. Розробити масово-імпульсний критерій раціональної висоти сталеві ферми покриття будівель і споруд підвищеного захисту з урахуванням коефіцієнта динамічності.

Дослідження. Розглянуті динамічні властивості сталеві ферми покриття, яка шарнірно оперта на опори. Конструкція ферми з паралельним поясами представляється як сталеві пружна балка наскрізного перерізу, в якій деформативність решітки враховується через параметр деформації зсуву перерізу (k_{trG}), який понижуює жорсткість перерізу ферми на згин ($EI_x k_{trG}$). Також було показано, що з достатньою точністю коефіцієнт динамічності за прогинами ($k_{din,n,2}$) і за згинальним моментом ($k_{din,M,2}$) для другої фази руху конструкції після припинення дії імпульсивного навантаження може бути визначений за першою (гармонікою) формою під час варіантного проектування.

Для визначення раціональної висоти сталеві конструкції з урахуванням коефіцієнта динамічності можемо записати цільову функцію маси під час дії тільки зосередженого імпульсу по середині прольоту конструкції.

Також для спрощення аналітичних викладок прийнято, що всі елементи решітки уніфіковані і виготовлені з однакових конструктивних елементів однакового перерізу, як працюють на центральний стиск і розтяг. Так витрати сталі на хрестову решітку представлені з урахуванням конструктивного коефіцієнта сталеві ферми - $\psi_{s1,g}$, і розрахункового максимального зусилля, яке може виникнути під час епізодичних навантажень - $N_{s1,g}$. Всі елементи решітки для сталеві конструкції ферми з паралельними поясами прийняти однаковими $l_{s1,g}$

$$m_{1,g} + m_{2,g} = \rho \psi_{s1,g} \left\{ \sum_p \left[\frac{N_{s1,g} l_{s1,g}}{R_y \gamma_c} \left(\frac{1}{\varphi_{s1}} \right) \right] \right\}. \quad (1)$$

Відповідно середнє максимальнє зусилля в стиснутому розкосі ферми буде з урахуванням імпульсного навантаження $P_1 = k_{din} P_{0st}$ визначатися із умов стійкості

$$N_{s1,g} = \frac{q_1 L_\Phi}{4 \cos \alpha_1} + \frac{P_1}{\cos \alpha_1} = \frac{q_1 L_\Phi}{4 \cos \alpha_1} \left(1 + \frac{4 P_1}{q_1 L_\Phi} \right). \quad (2)$$

Геометричні співвідношення між довжиною елементів решітки і висотою сталеві конструкції покриття дають такі залежності

$$l_{s1,g} = \frac{h_\Phi}{\cos \alpha_1}, \quad \cos^2 \alpha_1 = \frac{h_\Phi^2}{\left(\frac{L_\Phi}{n_{pd}} \right)^2 + (h_\Phi)^2}, \quad l_{s1,g} = \sqrt{\left(\frac{L_\Phi}{n_{pd}} \right)^2 + (h_\Phi)^2}.$$

Витрати сталі на стінове огороження із захисних конструкцій прийнята прямопропорційно висоті сталеві конструкції $m_{pg} = \psi_{pg} m_{p0g} h_\Phi$ (ψ_{pg} - конструктивний коефіцієнт стінового огороження, m_{p0g} - теоретична маса сталевих конструкцій стінового огороження захисної конструкції). Витрати сталі на вертикальні стояки визначена із умови сприймання в будь-якому перерізу максимального стискаючого зусилля від динамічного імпульсного навантаження $P_1 = k_{din} P_0$. Далі вага решітки СФП становить разом із стіновим огороженням

$$m_{1,g} + m_{2,g} + m_{pg} = 2 \frac{n_{pd} \rho \psi_{s1,g} q_1 L_\Phi}{4 R_y \gamma_c} \frac{L_\Phi^2}{\varphi_{s1} (h_\Phi)} \left[\left(\frac{1}{n_{pd}} \right)^2 + \frac{(h_\Phi)^2}{L_\Phi^2} \right] \left(1 + \frac{4 P_1}{q_1 L_\Phi} \right) + \psi_{s1,g} (n_{pd} + 1) \rho h_\Phi \frac{P_1}{\varphi_{s2} R_y \gamma_c} + \psi_{pg} m_{p0g} h_\Phi. \quad (3)$$

Витрати сталі на пояси сталеві конструкції покриття визначено з умови стійкості верхнього поясу, а нижнього із умови міцності нижнього поясу на максимальнє зусилля. Від епізодичного імпульсного навантаження будуть виникати коливання, у верхньому поясі будуть виникати максимальні стискаючі зусилля. А для нижнього поясу прийнята умова, що розрахунковий переріз визначається із умови розтягу під час дії імпульсу і статичного навантаження від

власної ваги конструкцій покриття. Це значення буде більше ніж розрахунковий переріз визначений із умови стійкості на різницю зусилля від імпульсного стискаючого та розтягу від статичного навантаження ваги огорожувальних конструкцій (4). Загальні витрати сталі на конструкцію покриття тепер мають аналітичний запис

$$\frac{q_1 L_\Phi^2}{8 h_\Phi R_y \gamma_c} + \frac{P_1 L_\Phi}{4} \geq \frac{1}{\varphi_{nd} h_\Phi R_y \gamma_c} \left| \frac{P_1 L_\Phi}{4} - \frac{q_1 L_\Phi^2}{8} \right|, \quad (4)$$

$$m_w + m_d = \rho L_\Phi \frac{\psi_w}{R_y \gamma_c} \left(\frac{q_1 L_\Phi^2}{8} + \frac{P_1 L_\Phi}{4} \right) \frac{1}{h_\Phi \varphi_{nw}} + \rho L_\Phi \frac{\psi_d}{R_y \gamma_{ch_\Phi}} \left(\frac{q_1 L_\Phi^2}{8} + \frac{P_1 L_\Phi}{4} \right), \quad (5)$$

$$m_w + m_d = \frac{\psi_w \rho L_\Phi}{R_y \gamma_{ch_\Phi}} \left[\left(\frac{q_1 L_\Phi^2}{8} + \frac{P_1 L_\Phi}{4} \right) \left(\frac{1}{\varphi_{nw}} + \frac{\psi_d}{\psi_w} \right) \right]. \quad (6)$$

Перехід до зведених витрат сталі дає аналітичний запис (7). Далі, після групування членів критерій приведених витрат сталі приводиться до аналітичної форми відносних безрозмірних величин. Введені параметричні змінні характеристик напружено-деформованого стану сталевій ферми покриття: D_w , D_s – відповідно параметричні характеристики витрат сталі на пояси та решітку з витратами сталі на огороження бокових стін у зв'язку із зміною висоти ферми покриття (7)

$$\frac{m_\Phi}{\rho} \frac{8 R_y \gamma_c}{q_1 L_\Phi^2 \gamma_n} = D_w \frac{L_\Phi}{h_\Phi} + D_s \frac{h_\Phi}{L_\Phi}, \quad (7)$$

$$D_s = \left[\frac{4 n_{pd} \psi_{s1,g}}{\varphi_{s1} n_{pd}} \left(1 + \frac{4 P_1}{q_1 L_\Phi} \right) + \frac{8 \psi_{s1,g} (n_{pd} + 1)}{\varphi_{s2}} \frac{P_1}{q_1 L_\Phi} + \frac{8 \psi_{pg} R_y \gamma_c}{\rho} \frac{m_{p0g}}{q_1 L_\Phi} \right],$$

$$D_w = \psi_w \left[\left(1 + \frac{2 P_1 L_\Phi}{q_1 L_\Phi} \right) \left(\frac{1}{\varphi_{nw}} + \frac{\psi_d}{\psi_w} \right) + 4 \frac{\psi_{s1,g}}{\varphi_{s1} \psi_{wn_{pd}}} \left(1 + \frac{4 P_1}{q_1 L_\Phi} \right) \right].$$

Загальний вираз функції зведених витрат сталі адаптований і подібний до функції зведених витрат сталі балкового елемента, який відомий [9, 16].

Фізичний зміст зведених витрат сталі на конструкцію ферми покриття є відношення ваги ферми до моменту опору аналогічного балкового перерізу та густини сталі з урахуванням коефіцієнтів надійності та конструктивних коефіцієнтів решітки. Можливі інші записи цільової функції витрат сталі з урахуванням згинального моменту

$$M_{xq} = \frac{q_1 L_\Phi^2}{8} \rightarrow \frac{8 R_y \gamma_c}{\gamma_n q_1 L_\Phi^2} = \frac{R_y \gamma_c}{\gamma_n M_{xq}}.$$

Також слід взяти до уваги, що параметр цільової функції зведених витрат залежить від співвідношення силових факторів згинальних моментів від власної ваги огорожувальних конструкцій та конструкції ферми покриття та імпульсного навантаження, яке діє по середині прольоту конструкції: $2 P_1 / (q_1 L_\Phi)$

$$M_{xq} = \frac{q_1 L_\Phi^2}{8}; \quad M_{xp} = \frac{P_1 L_\Phi}{4} \rightarrow \frac{M_{xp}}{M_{xq}} = \frac{8 P_1}{4 q_1 L_\Phi^2} = \frac{P_1 L_\Phi}{4} \frac{8}{q_1 L_\Phi^2} = \frac{2 P_1}{q_1 L_\Phi}. \quad (8)$$

Таким чином, параметр силових факторів $2 P_1 / (q_1 L_\Phi)$ є відношення згинального моменту від зосередженого квазістатичного навантаження в середині прольоту конструкцій сталевій ферми і максимального значення згинального момент під час дії рівномірно розподіленого навантаження від власної ваги конструкцій покриття.

Під час дії імпульсного навантаження відбувається рух конструктивної системи, який розділяється на дві фази (два етапи). За першим етапом на протязі часу (τ_1) діє імпульсне навантаження. На другому етапі, після припинення дії імпульсивного навантаження конструктивна система продовжує рух ($t \geq \tau_1$). Особливість другого етапу роботи системи полягає в тому що зростають прогини конструкції і згинальні моменти. При цьому коливання продовжуються, а згинальний момент і переміщення змінюють напрям із значення. Відомо, що врахування характеру імпульсного навантаження за можливо через коефіцієнт динамічності

[5]. за прогинами $k_{din,\eta,2}$ і коефіцієнт динамічності за згинальним моментом ($k_{din,M,2}$ – індекси позначають: 2 – другий етап, М - коефіцієнт динамічності за згинальним моментом, індекс η – коефіцієнт динамічності за прогинами [5])

$$k_{din,\eta,2} = \frac{182}{\pi^4} \sin\left(\frac{\omega_1 \tau_1}{2}\right), \quad k_{din,M,2} = \frac{16}{\pi^2} \sin\left(\frac{\omega_1 \tau_1}{2}\right),$$

$$t \geq \tau_1 \rightarrow k_{din,M,2} = \frac{M_{x,2,z1}(l/2)}{M_{x,st}(l/2)}, \quad k_{din,M,2} = \frac{16}{\pi^2} B_{\tau_1},$$

$$B_{\tau_1} = \sin\left(\frac{\omega_1 \tau_1}{2}\right) \sin\left(\frac{\omega_1 \tau_1}{2} + \omega_1 (t - \tau_1)\right). \quad (9)$$

Момент інерції перерізу конструкції сталеві ферми приймається через висоту конструкції ідеального двотавра (приймається площа поясів конструкції за середньою площею перерізу поясів, і враховуються конструктивними коефіцієнтами відмінності. Колова частота власних коливань за першою формою буде залежати від ваги конструкції покриття (m_{tr}) і жорсткості системи на згин $EI_x k_G$ (k_G – зведений параметр деформацій зсуву перерізу сталеві ферми покриття, який враховує збільшення прогинів конструкції за рахунок повздовжніх деформацій всіх елементів стрижневої конструкції)

$$I_x = 2\psi_{trA} \frac{A_d + A_w}{2} \left(\frac{h_\Phi}{2}\right)^2 \rightarrow \omega_1 = \pi^2 \sqrt{\frac{EgI_x k_{trG}}{L_\Phi^4 m_{pc}}} \rightarrow \omega_1 = \pi^2 \sqrt{\frac{EgI_x k_{trG} \psi_{trA}}{L_\Phi^4 m_{pc}}} (A_d + A_w) \left(\frac{h_\Phi}{2}\right)^2,$$

$$\omega_1 = \pi^2 \left(\frac{h_\Phi}{2}\right) \sqrt{\frac{EgI_x k_{trG} \psi_{trA} \rho (A_d + A_w)^2}{\rho L_\Phi^4 m_{pc}}}. \quad (10)$$

В останні формулі колової частоти (10) показано перехід до теоретичної погонної ваги сталеві ферми покриття - $m_{tr,0}$ та конструктивний коефіцієнт ψ_{trm} ваги всієї конструкції покриття – m_{pc} до теоретичної ваги ферми. Також зроблений перехід від ваги поясів, які створюють основну згинальну жорсткість конструкції стрижневої конструкції покриття, до теоретичної ваги конструкції через коефіцієнт ψ_{trA} (11)

$$m_{tr,0} = \rho \psi_{trA} (A_d + A_w), \quad m_{pc} = m_{tr,0} + m_{pl} \rightarrow \psi_{trA} = \frac{m_{tr,0}}{\rho (A_d + A_w)} \rightarrow \psi_{trm} = \frac{m_{tr,0} + m_{pl}}{m_{tr,0}} \psi_{trA}. \quad (11)$$

Таким чином, виконано приведення коливань роботи сталеві ферми покриття ферми до коливань ідеального двотавра з урахуванням ваги огорожувальних конструкції через конструктивні коефіцієнти та врахування повздовжніх деформації стрижнів стрижневої конструкції і зроблено перехід до колової частоти сталеві ферми покриття через висоту конструкції

$$2\psi_{trA} \rho \frac{A_d + A_w}{2} = m_{tr,0} \rightarrow \omega_{tr,1} = \pi^2 \frac{h_\Phi}{2} \sqrt{\frac{Eg}{\psi_{trm} m_{tr,0} L_\Phi^4} \frac{2k_{trG}}{\psi_{trA} \rho} \frac{A_d + A_w}{2}},$$

$$\omega_{tr,1} = \pi^2 \frac{h_\Phi}{2L_\Phi} \sqrt{\frac{Egk_{trG} m_{tr,0}}{\rho \psi_{trm} \psi_{trA} m_{tr,0} L_\Phi^2}} = \pi^2 \frac{h_\Phi}{2L_\Phi} \sqrt{\frac{Egk_{trG}}{\rho \psi_{trm} \psi_{trA} L_\Phi^2}}. \quad (12)$$

У функції витрат сталі квазістатичне навантаження визначається через коефіцієнт динамічності (12, 13)

$$h_{tr} = h_\Phi \rightarrow P_1 = k_{din,M,2} P_{0st} = \frac{16}{\pi^2} P_{0st} \sin\left(\pi^2 \frac{h_\Phi}{2L_\Phi} \sqrt{\frac{Egk_{trG}}{\rho \psi_{trm} \psi_{trA} L_\Phi^2}} \frac{\tau_1}{2}\right),$$

$$h_{tr} = h_\Phi \rightarrow P_1 = k_{din,\eta,2} P_{0st} = \frac{182}{\pi^4} P_{0st} \sin\left(\pi^2 \frac{h_\Phi}{2L_\Phi} \sqrt{\frac{Egk_{trG}}{\rho \psi_{trm} \psi_{trA} L_\Phi^2}} \frac{\tau_1}{2}\right). \quad (13)$$

Отримано узагальнений аналітичний запис (7, 13) цільової функції пошуку оптимальної висоти конструкції сталеві ферми з урахуванням дії імпульсивного зосередженого навантаження за зведеними витратами зведених витрат у відносних показниках та в залежності

від висоти сталеві ферми покриття.

Задача пошуку раціональної висоти сталеві ферми покриття з урахуванням дії імпульсного навантаження із пошуком мінімального значення функції витрат сталі вирішується числовими дослідженнями з урахуванням умови (7, 13, 14)

$$\left(D_w(L_\Phi/h_\Phi)\right)' + \left(D_S(h_\Phi/L_\Phi)\right)' = 0. \quad (14)$$

Проведені числові дослідження пошуку раціональної висоти сталеві конструкції ферми покриття прольотом 15,0 і 18,0 м з паралельними поясами з хрестовою решіткою за отриманими аналітичним рівняннями (7,13,14). Результати досліджень представлені на рисунках 1, 2 та в таблицях 1, 2. В якості задач досліджень формулами в залежності від впливу зміни параметру $(m_{tr,0}/m_{tr})$ співвідношення ваги конструкції до ваги всього покриття. Також проаналізовано цільові функції зведених витрат сталі і критерій раціональності висоти конструкції (7) та (14) з точки зору впливу фізичного моделювання імпульсивного навантаження: часу дії імпульсу по відношенню до періоду власних коливань. Результати досліджень оптимальних висот сталевих ферм покриття ферм прольотом 15,0 м приведені на рисунку 1 та надані в таблиці 1. У всіх розрахунках коефіцієнт $k_{trG}=0,9$.

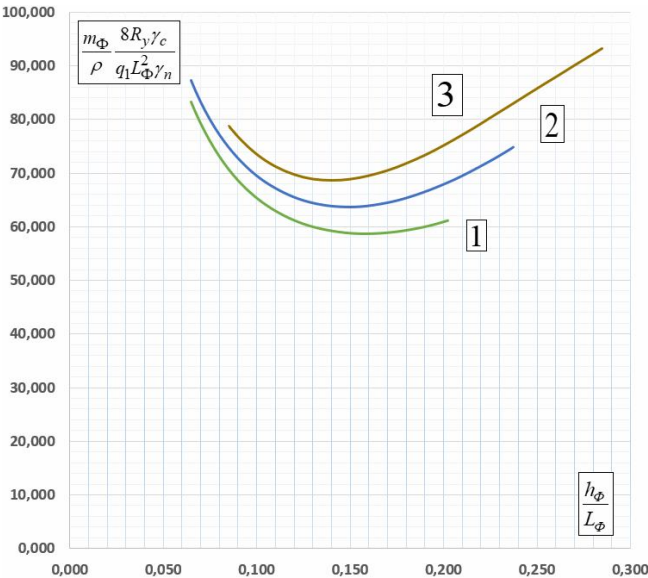


Рис. 1. Зведені витрати сталі в залежності від висоти конструкції сталеві ферми покриття прольотом 15,0 м, ферми покриття з вихідними параметрами $m_{tr,0}/(m_{tr})=0,02$, $2P_{0st}/(q_P L_\Phi)=0,622$.
Графік 1 – $\tau_1/2=0,008$. Графік 2 $\tau_1/2=0,01$; Графік 3 – $\tau_1/2=0,015$

Таблиця 1

Результати досліджень раціональної конструкції сталеві ферми покриття прольотом 15,0 м, $m_{tr,0}/(m_{tr})=0,02$, $2P_{0st}/(q_P L_\Phi)=0,622$ при дії імпульсу $\tau_1/2=0,01 \dots 0,25$

$\tau_1/2$	$\omega_{tr,1}$	$T_{tr,1}$	$k_{din,\eta,2}$	$k_{din,M,2}$	h_Φ/L_Φ
0,008	45,975	0,137	0,667	0,579	0,158
0,010	43,785	0,143	0,773	0,670	0,150
0,012	40,866	0,154	0,855	0,742	0,140
0,015	37,947	0,166	0,984	0,854	0,130
0,020	35,028	0,179	1,204	1,045	0,120
0,026	45,245	0,139	1,700	1,475	0,155

Таблиця 2

Результати досліджень раціональної конструкції сталеві ферми покриття прольотом 18,0 м,
 $m_{tr,0}/(m_{tr})=0,02$, $2P_{0st}/(q_P L_\Phi)=0,622$ при дії імпульсу $\tau_1/2=0,01 \dots 0,25$

$\tau_1/2$	$\omega_{tr,1}$	$T_{tr,1}$	$k_{din,\eta,2}$	$k_{din,M,2}$	h_Φ/L_Φ
0,008	41,961	0,150	0,620	0,538	0,173
0,010	39,528	0,159	0,709	0,615	0,163
0,012	36,488	0,172	0,773	0,671	0,150
0,015	34,055	0,184	0,887	0,770	0,140
0,020	32,231	0,195	1,111	0,964	0,133
0,024	31,623	0,199	1,299	1,127	0,130
0,026	37,704	0,167	1,566	1,359	0,155
0,028	43,785	0,143	1,732	1,503	0,18

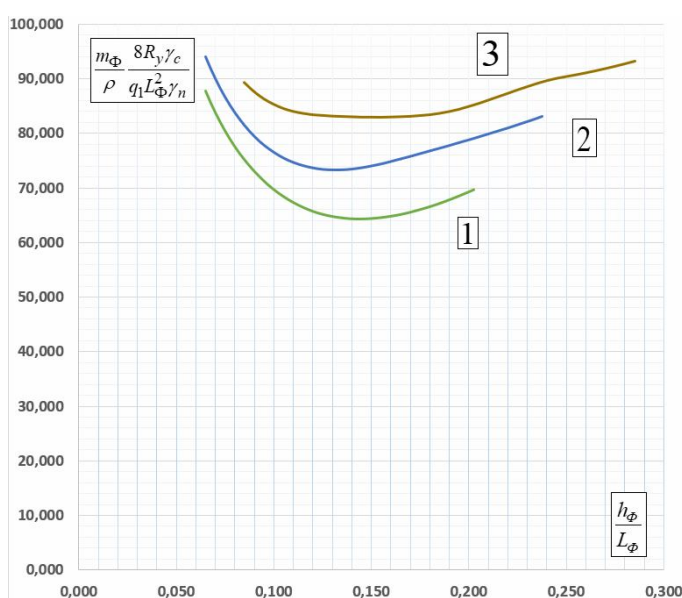


Рис. 2. Зведені витрати сталі в залежності від висоти конструкції сталеві ферми покриття прольотом 18,0 м, сталеві ферми покриття з вихідними параметрами $m_{tr,0}/(m_{tr})=0,02$, $2P_{0st}/(q_P L_\Phi)=0,622$.

Графік 1 – $\tau_1/2=0,015$; Графік 2 – $\tau_1/2=0,02$; Графік 3 – $\tau_1/2=0,024$

Висновки. Описана цільова функція зведених витрат сталі на сталеву ферму покриття з хрестовою решіткою із врахуванням коефіцієнта динамічності і часу дії зосередженого імпульсу по середині прольоту конструкції. Цільова функція витрат сталі описує нелінійні закономірності впливу імпульсного навантаження. Проведені числові впливу часу дії імпульсу на вибір раціональної висоти сталеву ферми покриття. Збільшення загальної згинальної жорсткості конструкції веде до збільшення коефіцієнта динамічності, і відповідно до збільшення витрат сталі на конструкцію. З іншого боку збільшення висоти конструкції дає зменшення витрат сталі на пояси сталеві ферми покриття. Таким чином дві протилежні тенденції приводять до знаходження раціональної висоти сталеві ферми покриття. Також на витрати сталі впливає час дії імпульсного навантаження, чим більше час дії зосередженого імпульсного навантаження тим більше коефіцієнт динамічності і більше витрати сталі. Але при значення коефіцієнтів динамічності за згинальним моментом менше 1,0 виявлена тенденція зменшення раціональної висоти сталеві ферми покриття відносно конструктивного рішення при відсутності імпульсного навантаження або малого часу його дії. При збільшенні часу дії імпульсного навантаження до $\tau_1/T_{tr,1} > 0,2$ коефіцієнт динамічності достатньо швидко зростає, що веде до збільшення раціональної висоти конструкції сталеві ферми покриття із хрестовою

решіткою. Підтверджено, що зменшення часу дії імпульсу може дати зменшення значень коефіцієнта динамічності за прогином та згинальним моментом і значення цих величин можуть бути менше одиниці. Також підтверджено, що збільшення часу дії імпульсу до половини періоду власних коливань дає наближення динамічного коефіцієнта імпульсу за прогинами до значення ударного навантаження $k_{din, \eta, 2} \rightarrow 2,0$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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>.
2. Баженов, В.А. Динаміка споруд [Текст]: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / В. А. Баженов, Є. С. Дехтярюк, Ю. В. Ворона. - К.: Віпол, 2012. - 340, с.: рис., табл. - Бібліогр.: с. 337-340. - 350 прим. - ISBN 978-966-646-120-
3. Gaidachuk V.V., Kotenko K.E., Mamedov A.M. Investigation of the dynamics of a three-layer shell structure of an elliptical cross-section under non-stationary dynamic loading// Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2023. – Issue 111. – P. 147-154. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.111.147-154
4. Білик А.С. Визначення оптимальних конструктивних рішень ферм у експертній системі одностадійного оптимального проектування / Зб. наук.праць УНДПІСК ім. В.М. Шимановського. – Київ, вид-во «Сталь», 2009, вип. 4. – С.119-132. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2009_4_16
5. 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. DOI: 10.32347/2410-2547.2024.113.265-274.
6. Білик , А. ., & Терновий , М. . (2024). Вибір раціональної висоти сталевих балкових конструкцій з урахуванням коефіцієнта динамічності під час дії епізодичного навантаження. - Будівельні конструкції. Теорія і практика, (15), 75–85. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.75-85>
7. Krivenko O.P., Lizunov P.P., Vorona Yu.V., Kalashnikov O.B. A Method for Analysis of Nonlinear Deformation, Buckling, and Vibrations of Thin Elastic Shells with Inhomogeneous Structures // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles. – K.: KNUBA, 2023. – Issue 110. – P. 131-149. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.110.131-149.
8. 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
9. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В., Білик С.І., Лавріненко Л.І., Белов І.Д., Білик С.І., Володимирський. Видання 2-е, перероблене і доповнене / Під загальною редакцією О.О. Нілова та О.В. Шимановського/. - К.: Видавництво «Сталь», 2010. - 869 с.
10. 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>
11. 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>
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. Grebenyuk G. I., Veshkin M. S. Logical design of numerical calculation and optimization of bar systems under dynamic loads /Вестник ТГАСУ № 4, 2014// p.p. 106-116. <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-algoritmov-chislennogo-raschyota-i-optimizatsii-sterzhnevyyh-sistem-pri-deystvii-impulсных-nagruzok/viewer>
14. 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>.
15. Dymnyk A. Stability of elastic systems / A.N. Dymnyk. - M.: ONTI, 1935. -186 <https://www.twirpx.com/file/2146790>.
16. Hohol M., Marushchak U., Peleshko I., Sydorak D. (2022) Rationalization of the Topology of Steel Combined Truss. In: Bieliatynskyi A., Breskich V. (eds) Safety in Aviation and Space Technologies. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85057-9_9
17. Lizunov P.P., Pogorelova O.S., Postnikova T.G. Selection of the optimal design for a vibro-impact nonlinear energy sink//Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected21,22, articles. – K.: KNUBA. 2023. – Issue111. – P. 13-24. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.111.13-24
18. Leonid S. Lyakhovich, Pavel A. Akimov, Boris A. Tukhfatullin Assessment criteria of optimal solutions for creation of rods with piecewise constant cross-sections with stability constraints or constraints for value of the first natural frequency part 2: numerical examples. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 15(4). (2019) - p.p.101-110. DOI:10.22337/2587-9618-2019-15-4-101-110

19. Nuzhnyj, V., & Bilyk, S. (2024). Revealing the influence of wind vortex shedding on the stressed-strained state of steel tower structures with solid cross-section. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(1 (129), 69–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.306181>
20. Peleshko I. D., Yurchenko V. V. Parametric optimization of bar structures with discrete and continuous design variables using improved gradient projection method // *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles* – Kyiv: KNUBA, 2023. – Issue 110. – P. 178-198. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.110.178-198
21. Perel'muter A. V. Synthesis problems in the theory of structures (brief historical review) <https://cyberleninka.ru/article/n/zadachi-sinteza-v-teorii-sooruzheniy-kratkiy-istoricheskiy-obzor>
22. S.P. Timoshenko, and J.M. Gere, “Theory of Elastic Stability”, New York: Mc-Graw Hill, 1961. https://structures.dhu.edu.cn/_upload/article/files/c2/53/6997426d46cb8f09fcd5d26175e2/5bcfe4ab-34b9-48f7-966b-a74ab5ddae8c.pdf
23. V. Volkova. Dynamic Smoothing Effect in Non-Linear Dynamic System under Polyharmonic External Excitation. In *Materials Science Forum* (Vol. 968, pp. 421–426). 2019. Trans Tech Publications, Ltd. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.421>.
24. 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)
25. Shugaylo O-r P., Bilyk S.I. Research of the stress-strain state for steel support structures of nuclear power plant components under seismic loads. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2022. С. 15-26. [https://doi.org/10.32918/nrs.2022.3\(95\).02](https://doi.org/10.32918/nrs.2022.3(95).02).
26. Shugaylo O. P., Bilyk S.I. Safety assessment of the steel structures of nuclear power plants units considering special operation conditions // *Strength of Materials and Theory of Structures. Scientific-and-technicalcollectedarticles*. – K.: KNUBA, 2023. – Issue 111. – P. 113-124. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.111.113-124
27. Pawel Zabojszcza, Urszula Radoń. Optimization of Steel Roof Framing Taking into Account the Random Nature of Design Parameters *Materials* 2022, 15(14), 5017; <https://doi.org/10.3390/ma15145017>
28. Anatoly Perelmuter a, Vitalina Yurchenko Parametric Optimization of Steel Shell Towers of High-Power Wind Turbines *Procedia Engineering* Volume 57, 2013, Pages 895-905. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.114>.

REFERENCES

1. Bazhenov V.A. *Budivelna 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>.
2. Bazhenov, Viktor Andriyovych. *Dynamika sporud [Tekst]: pidruch. dlya stud. vyshch. navch. Zakl (Dynamics of structures [Text]: a textbook for students of higher education)* / V. A. Bazhenov, YE. S. Dekhtyaryuk, YU. V. Vorona. - K. : Vipol, 2012. - 340, s. : rys., tabl. - Bibliogr.: s. 337-340. - 350 prym. - ISBN 978-966-646-120 -3 {in Ukrainian}.
3. Gaichaichuk V.V., Kotenko K.E., Mamedov A.M. Investigation of the dynamics of a three-layer shell structure of an elliptical cross-section under non-stationary dynamic loading// *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles* – Kyiv: KNUBA, 2023. – Issue 111. – P. 147-154. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.111.147-154
4. Bilyk A.S. *Vyznachennya optymalnykh konstruktivnykh rishen ferm u ekspertniy systemi odnostadiynoho optymalnoho proektuvannya (Determination of optimal structural solutions for trusses in an expert system of single-stage optimal design)/ Zb. nauk.prats UNDPISK im. V.M. Shymanovskoho. – Kyiv, vyd-vo «Stal», 2009, vyp. 4. – S.119-132. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2009_4_16 {in Ukrainian}.*
5. 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..
6. *Scientific-and-technical collected articles*. – K.: KNUBA, 2024. – Issue 113. – P. 265-274. DOI: 10.32347/2410-2547.2024.113.265-274 {in Ukrainian}.
7. Bilyk, A., & Ternovyy, M. (2024). Vybir ratsionalnoyi vysoty stalevykh balkovykh konstruktsiy z urakhuvannyam koefitsiyenta dynamichnosti pid chas diyi epizodychnoho navantazhennya (Selection of rational height of steel beam structures taking into account the dynamic coefficient during the action of episodic loading). - *Budivelni konstruktsiyi. Teoriya i praktyka*, (15), 75–85. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.75-85>. {in Ukrainian}.
8. Krivenko O.P., Lizunov P.P., Vorona Yu.V., Kalashnikov O.B. A Method for Analysis of Nonlinear Deformation, Buckling, and Vibrations of Thin Elastic Shells with Inhomogeneous Structures // *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles*. – K.: KNUBA, 2023. – Issue 110. – P. 131-149. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.110.131-149.
9. Lukyanchenko O.O., Vorona YU.V., Kostina O.V. Veyvlet-analiz seysmichnoyi khvylovoi reaktsiyi karkasnoyi budivli (Wavelet analysis of seismic wave response of a frame building) // *Opir materialiv i teoriya sporud: nauk.-tekhn. zbirn.* – K.: KNUBA, 2019. – Vyp. 103. – S. 131-144. http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-103/10-103_luk_kos_vorona.pdf. {in Ukrainian}.
10. *Metalevi konstruktsiyi: Zahal'nyy kurs: Pidruchnyk dlya vyshchych navchalnykh zakladiv. (Metal structures: General course: Textbook for higher education institutions)* Nilov O.O., Permyakov V.O., Shymanovskyy O.V., Bilyk S.I., Lavrinenko L.I., Byelov I.D., Bilyk S.I., Volodymyrskyy. Vydannya 2-e, pereroblene i dopovnene / Pid zahal'noyu redaktsiyeyu O.O. Nilova ta O.V. Shymanovskyya. - K.: Vydavnytstvo «Stal», 2010. - 869 s. {in Ukrainian}.
11. Olshanskyy V.P., Olshanskyy S.V. *Dynamichnyy efekt nesymetriyi sylovoyi kharakterystyky dysypatyvnykh ostsyl'yatoriv (Dynamic effect of asymmetry of the power characteristic of dissipative oscillators)* // *Visnyk NTU «KHPI». Seriya:*

- Matematychnye modelyuvannya v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh . – Kharkiv : NTU «KHPI», 2021. – № 1-2 (2). – S. 65 – 75. DOI: 10.20998/2222-0631.2021.02.08. {in Ukrainian}.
12. Pysarenko H. S. Opir materialiv (Strength of Materials) / H. S. Pysarenko, O. L. Kvitka, E. S. Umansky. – Kyiv: Vyscha shkola, 2004. – 655 s. <https://btpm-nmu.org.ua/ua/download/%D0%9F%D0%B8%D1%81%D0%B0%D1%80%D0%.pdf> {in Ukrainian}.
 13. 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>
 14. Grebenyuk G. I., Veshkin M. S. Logical design of numerical calculation and optimization of bar systems under dynamic loads // Вестник ТГАСУ № 4, 2014// p.p. 106-116. <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-algoritmov-chislennogo-raschyota-i-optimizatsii-sterzhnevyyh-sistem-pri-deystvii-impul'snyh-nagruzok/viewer> {in English}.
 15. 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>. {in English}.
 16. Dynnyk A. Stability of elastic systems / A.N. Dynnyk. – M.: ONTI, 1935. –186. <https://www.twirpx.com/file/2146790>. {in English}.
 17. Hohol M., Marushchak U., Peleshko I., Sydorak D. (2022) Rationalization of the Topology of Steel Combined Truss. In: Bieliatynskyi A., Breskich V. (eds) *Safety in Aviation and Space Technologies. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85057-9_9. {in English}.
 18. Lizunov P.P., Pogorelova O.S., Postnikova T.G. Selection of the optimal design for a vibro-impact nonlinear energy sink// *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles*, 22, articles. – K.: KNUBA. 2023. – Issue 111. – P. 13-24. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.111.13-24. {in English}.
 19. Leonid S. Lyakhovich, Pavel A. Akimov, Boris A. Tukhatullin Assessment criteria of optimal solutions for creation of rods with piecewise constant cross-sections with stability constraints or constraints for value of the first natural frequency part 2: numerical examples. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 15(4). (2019) – p.p.101-110. DOI:10.22337/2587-9618-2019-15-4-101-110. {in English}.
 20. Nuzhnyj, V., & Bilyk, S. (2024). Revealing the influence of wind vortex shedding on the stressed-strained state of steel tower structures with solid cross-section. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(1 (129), 69–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.306181>. {in English}.
 21. Peleshko I. D., Yurchenko V. V. Parametric optimization of bar structures with discrete and continuous design variables using improved gradient projection method // *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles* – Kyiv: KNUBA, 2023. – Issue 110. – P. 178-198. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.110.178-198
 22. Perel'muter A. V. Synthesis problems in the theory of structures (brief historical review) <https://cyberleninka.ru/article/n/zadachi-sinteza-v-teorii-sooruzheniy-kratkiy-istoricheskiy-obzor>. {in English}.
 23. S.P. Timoshenko, and J.M. Gere, “Theory of Elastic Stability”, New York: Mc-Graw Hill, 1961. https://structures.dhu.edu.cn/_upload/article/files/c2/53/6997426d46cb8f09fcd5d26175e2/5bcfea4b-34b9-48f7-966b-a74ab5ddae8c.pdf. {in English}.
 24. V. Volkova. Dynamic Smoothing Effect in Non-Linear Dynamic System under Polyharmonic External Excitation. In *Materials Science Forum* (Vol. 968, pp. 421–426). 2019. Trans Tech Publications, Ltd. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.421>. {in English}.
 25. 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)
 26. Shugaylo O-r P., Bilyk S.I. Research of the stress-strain state for steel support structures of nuclear power plant components under seismic loads. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2022. С. 15-26. [https://doi.org/10.32918/nrs.2022.3\(95\).02](https://doi.org/10.32918/nrs.2022.3(95).02).
 27. Shugaylo O. P., Bilyk S.I. Safety assessment of the steel structures of nuclear power plants units considering special operation conditions // *Strength of Materials and Theory of Structures. Scientific-and-technical collected articles*. – K.: KNUBA, 2023. – Issue 111. – P. 113-124. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.111.113-124
 28. Pawel Zabojszcza, Urszula Radoń. Optimization of Steel Roof Framing Taking into Account the Random Nature of Design Parameters *Materials* 2022, 15(14), 5017; <https://doi.org/10.3390/ma15145017>
 29. Anatoly Perel'muter a, Vitalina Yurchenko Parametric Optimization of Steel Shell Towers of High-Power Wind Turbines *Procedia Engineering* Volume 57, 2013, Pages 895-905. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.114>.

Стаття надійшла 11.04.2025

Терновий М.І., Білик А.С.

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ ВИСОТИ СТАЛЕВОЇ ФЕРМИ ПОКРИТТЯ ДЛЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД З УРАХУВАННЯМ ДІЇ ЗОСЕРЕДЖЕНОГО ІМПУЛЬСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Описана цільова функція зведених витрат сталі на сталеву ферму покриття з хрестовою решіткою із врахуванням коефіцієнта динамічності і часу дії зосередженого імпульсу по середині прольоту конструкції. Цільова функція витрат сталі описує нелінійні закономірності впливу імпульсного навантаження на зведені витрати сталі на сталеві ферми покриття. Проведені числові впливу часу дії імпульсу на вибір раціональної висоти сталевих ферм з хрестовою решіткою покриттів будівель прольотом 15,0 м і прольотом 18,0 м. Встановлено, що при значенні коефіцієнта динамічності за згинальним моментом менше 1,0 виявлена тенденція зменшення раціональної висоти сталеві ферми покриття відносно конструктивного рішення при відсутності імпульсного навантаження або малого часу його дії. При збільшенні часу дії імпульсного навантаження до відносного значення $\tau_1/T_{cr,1} > 0,2$ коефіцієнт динамічності достатньо швидко зростає, що веде до збільшення раціональної висоти конструкції сталеві ферми покриття із хрестовою решіткою. Підтверджено, що зменшення часу дії імпульсу може дати зменшення значень коефіцієнта динамічності за прогином та згинальним моментом і значення цих величин можуть бути менше одиниці. Також підтверджено, що

збільшення часу дії імпульсу до половини періоду власних коливань ($\tau_1/T_{tr,1} = 0,5$) дає наближення динамічного коефіцієнта імпульсу за прогинами значення ударного навантаження $k_{din,\eta,2} \rightarrow 2,0$. Описані закономірності зв'язані із двома іншими закономірностями впливу на витрати сталі. Збільшення загальної згинальної жорсткості конструкції веде до збільшення коефіцієнта динамічності, і відповідно до збільшення витрат сталі на конструкцію. З іншого боку збільшення висоти конструкції дає зменшення витрат сталі за рахунок зменшення витрат сталі на пояси ферми покриття. Таким чином, врахування двох протилежних тенденцій приводять до знаходження раціональної висоти сталевих ферм покриття. На коефіцієнт динамічності впливає також час дії імпульсу і співвідношення квазістатичного навантаження від імпульсу до власної ваги захисних огорожувальних конструкцій.

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.

Ternoviy M.I., Bilyk A.I.

SELECTION OF THE RATIONAL HEIGHT OF THE STEEL ROOF TRUSSES TAKING INTO ACCOUNT THE EFFECT OF THE IMPULSE LOAD

The objective function of the aggregate steel consumption for the steel truss of the roof with a cross-lattice is described, taking into account the dynamic coefficient and the time of action of the concentrated impulse in the middle of the span of the structure. The objective function of the steel consumption describes the nonlinear patterns of the influence of the impulse load on the aggregate steel consumption for the steel trusses. The numerical research effects of the pulse action time on the selection of the rational height of the steel trusses with a cross-lattice with a span of 15.0 m and 18.0 m are carried out. It is established that when the dynamic coefficient for the bending moment is less than 1.0, a tendency to reduce the rational height of the steel truss of the covering is revealed relative to the constructive solution in the absence of an impulse load or a short time of its action. When the pulse load action time is increased to a value relative to the natural oscillation period $\tau_1 / T_{tr,1} > 0,2$, the dynamic coefficient increases quite rapidly, which leads to an increase in the rational height of the steel truss structure of the roof with a cross-lattice. It is confirmed that a decrease in the pulse action time can result in a decrease in the values of the dynamic coefficient for deflection and bending moment, and the values of these quantities can be less than unity. It is also confirmed that an increase in the pulse action time to half the natural oscillation period ($\tau_1 / T_{tr,1} = 0,5$) gives an approximation of the dynamic coefficient of the impulse for deflections to the value of the impact load $k_{din,\eta,2} \rightarrow 2,0$. The described patterns are related to two other patterns of influence on steel consumption. An increase in the overall bending stiffness of the structure leads to an increase in the dynamic coefficient, and accordingly to an increase in steel consumption for the structure, on the other hand, an increase in the height of the structure reduces steel consumption due to a decrease in steel consumption for the roof truss belts. Thus, taking into account two opposing trends leads to finding a rational height of the steel roof truss. The dynamic coefficient is also affected by the duration of the impulse and the ratio of the quasi-static load from the impulse to the self-weight of the protective enclosing structures.

Keywords: steel truss structures, steel beams, dynamic work, bending, force impulse, analytical solutions, dynamic coefficient for deflection, dynamic coefficient for bending moment, numerical studies of dynamic coefficients.

УДК 624.014

Терновий М.І., Білик А.С. Вибір раціональної висоти сталевих ферм покриття для будівель і споруд з урахуванням дії зосередженого імпульсного навантаження // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2024. – Вип. 113. – С. 231-240.

У статті приведена узагальнена методика визначення раціональної висоти сталевих ферм з хрестовою решіткою для покриттів будівель і споруд із урахуванням дії зосередженого імпульсного навантаження та власної ваги захисних конструкцій.

Іл. 1. Табл. 4. Бібліогр. 28 назв.

UDC 624.014

Ternoviy M.I., Bilyk A.I. Selection of the rational height of the steel roof trusses taking into account the effect of the impulse load // Strength of Materials and Theory of Structures. Scientific-and-technical collected articles. – K.: KNUBA, 2024. – Issue 113. – P. 231-240.

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. 28.

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): ТЕРНОВИЙ Максим Ігоревич, асистент

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>

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, доцент БІЛИК Артем Сергійович

Адреса: 03037, Україна, м. Київ, Проспект Повітряних Сил, 31, Науково-дослідний інститут ВР, Київський національний університет будівництва і архітектури 03142, Україна, м. Київ.

Робочий тел.: +38 (044) 241-54-89

E-mail: artem.bilyk@gmail.com

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