

DOI: 10.32347/2076-815x.2025.88.346-358

УДК 624.014 (688.775.3)

Терновий М.І.,

maxbox007@gmail.com, ORCID: 0009-0003-7586-7872,

к.т.н., доцент **Білик А.С.,**

artem.bilyk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9219-920X,

к.т.н., доцент **Дауров М.К.,**

mk19daurov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6338-4326,

Київський національний університет будівництва і архітектури

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСНИХ КОЛОВИХ КОЛИВАНЬ СТАЛЕВИХ ФЕРМ ПОКРИТТЯ ЗА РОЗРАХУНКОВОЮ СХЕМОЮ ІДЕАЛЬНОГО ДВОТАВРА

Розроблена методика проведення узагальнених досліджень власних колових коливань сталевих конструкцій покриття за балковою аналогією під час дії імпульсного навантаження. Запропоновано оцінювати власну колову частоту коливань стрижневих пружних конструкцій ферм покриття через коефіцієнт приведення згинальної жорсткості сталевій ферми покриття до жорсткості ідеального двотавра. Проведені числові дослідження власних колових частот коливань сталевих ферм покриття прольотом 12,0 м і 15,0 м під час дії рівномірно розподіленого і зосередженого навантаження. Відповідно визначено коефіцієнт приведення жорсткості сталевій ферми покриття до жорсткості ідеального двотавра. Показано, що при однаковій висоті перерізу згинальна жорсткість сталевих ферм покриття менше згинальної жорсткості ідеального двотавра за рахунок впливу деформації зсуву перерізу стрижневої конструкції. Проведені числові дослідження і встановлено вплив на власні колові частоти коливань умов закріплення ферм. Так показано, що частота власних коливань балкових конструкцій з нерухомими опорами більша, ніж при традиційному обпиранні, коли одна опора шарнірно рухома, а друга шарнірно нерухома. Результати досліджень використовуються під час варіантного проєктування для вибору раціонального конструктивного рішення наскрізних металевих конструкцій.

Ключові слова: моделювання; металеві конструкції; сталеві ферми покриття; ідеальний двотавр; імпульсні навантаження; колова частота власних коливань ферм покриття; вплив умов обпирання сталевих ферм на частоту власних коливань; деформація зсуву перерізу стрижневої конструкції.

Постановка проблеми. Під час розрахунку сталевих конструкцій покриття різних прольотів 12...24 м, виникає необхідність ще на етапі

варіантного проектування обрати оптимальне конструктивне рішення з урахуванням динамічних властивостей конструктивної системи [5,19,23,24]. Такі задачі виникли у зв'язку із створенням конструктивних систем підвищеної захищеності від падіння уламків засобів повітряного нападу противника (ЗПН). Дія таких нових навантажень потребує розвитку особливого теоретичного апарату з розрахунку напружено-деформованого стану сталевих ферм покриття (СФП) та дії імпульсних навантажень. Таких робіт дослідження роботи СФП недостатньо, в силу багатфакторних впливів на існуючу множину конструктивних рішень металевих стрижневих конструкцій ферм та дискретності сортаменту профілів [4,13]. З іншого боку, зменшення жорсткості конструкції ферми призводить до зменшення коефіцієнта динамічності навантаження імпульсної дії і, в свою чергу, до збільшення перерізу елементів поясів і витрат сталі. Щоб вірно розв'язувати задачі пошуку найкращого конструктивного рішення металевих наскрізних конструкцій, необхідно враховувати ці протилежні тенденції.

Тому подальші дослідження динамічних властивостей СФП є актуальною науково-технічною задачею в загальній науково-технічній проблемі створення нового класу конструкцій покриття із підвищеними захисними властивостями; пов'язані з технічними і науковими задачами проблеми удосконалення проектування надійних конструкцій з необхідною конструктивною безпекою.

Аналіз досліджень. Історія розрахунків динаміки та оптимального проектування конструкцій пов'язана з видатними вченими, це фундаментальні відомі дослідження Х. Гюйгенса, Р. Гука, І. Ньютона. Наукові основи розрахунку динаміки конструкцій заклали роботи Д'Аламбера, Ж.Л. Лагранжа, Л. Ейлера, пізніше У.Р. Гамільтона, Г.Р. Герца, Г.-Г. Коріоліса, К.Г. Якобі. Відомі роботи: У.Т. Кельвіна, Дж.У. Релея, В. Фойгта, Дж. Максвела [1,26]. Особливий вклад з динаміки сталевих конструкцій зробили наші видатні вчені Тимошенко С.П., Дінник А.М. [1, 21, 26, 27,28]. За крайній час теоретичні підходи до дослідження динамічних властивостей різних будівельних конструкцій, які працюють в пружній області роботи сталі, розвиваються швидко і охоплюють все більше конструктивних систем [1, 2, 6, 7, 10, 11, 23, 26]. Але оцінка роботи металевих стрижневих конструкцій, які сприймають динамічні та імпульсні навантаження і мають широке коло задач для подальших досліджень. Недостатньо робіт з позицій вибору найкращого конструктивного рішення з урахуванням динамічних та імпульсних навантажень. Але дослідження за крайні роки показали необхідність розвитку теоретичних засад і вирішення задач з пошуку раціональних конструктивних рішень з урахуванням імпульсних навантажень [5, 15, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 27 28]. Так залишаються відкритими питання узагальнених підходів, щодо

вихрового резонансу консольних баштових споруд [30], а також роботи конструкцій покриття під час імпульсного та ударного навантаження [5, 15, 20, 23, 24, 26, 28]. Залишаються також задачі роботи просторових купольних стрижневих систем, які мають конструктивні особливості калоптичної поведінки і проклацування вузлів під час імпульсивних навантажень [5, 6, 16, 17, 18]. Важливими є задачі розрахунку на втому елементів сталевих конструкцій під час імпульсних навантажень [30], які можуть викликати резонансні явища. Для об'єктів критичної інфраструктури важливими залишаються задачі одночасної дії кількох аварійних навантажень [5, 8, 14, 20, 23, 25, 29]. Тому задачі поведінки каркасів будівель під час сейсмічного навантаження теж залишаються актуальними [25, 29].

Тому розвиток узагальнених підходів вивчення динамічних властивостей наскрізних металевих конструкцій з урахування конструктивних особливостей та визначення власних колових частот коливань наскрізних сталевих конструкцій, у тому числі і СФП.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вирішення задач динамічних властивостей конструкцій балкового типу та пошуку оптимального рішення авторами запропоновано в дослідженнях [5] методику переходу від стрижневих наскрізних конструкцій сталевих ферм до балкового аналога. Для визначення частоти власних коливань наскрізної пружної сталеві ферми запропонована розрахункова модель сталевих двотавра ідеального перерізу, але з урахуванням додаткового прогину ферми, який виникає внаслідок деформації зсуву перерізу. Ця деформація зсуву перерізу СФП обумовлена обтиском та розтягом елементів конструкції ферми, який є більшим, ніж деформація зсуву суцільної конструкції двотаврового перерізу. За момент інерції площі перерізу ідеального двотавра приймається момент інерції двотавра, до якого входить тільки площа поясів двотавра. Площа стінки ідеального двотавра приймається рівною нулю і не має ваги, але стінка абсолютна жорстка і передає поперечну силу від навантаження по прольоту до опор. Приймається, що площа перерізів поясів ідеального двотавра дорівнює площі перерізів поясів сталеві ферми. Так момент інерції площі перерізу (I_x) ідеального двотавра приймається через висоту конструкції (h_Φ) сталеві ферми та площу поясу за середньою площею нижнього і верхнього поясів (A_d).

$I_x = 2 \frac{h_\Phi^2}{4} A_d = \frac{h_\Phi^2 2 A_d}{4} = \frac{h_\Phi^2 A_d}{2}.$ $A_d = \frac{A_{d1} + A_{w1}}{2}.$	(1)
--	-----

Такий підхід дає змогу прийняти розрахунковий момент інерції з урахуванням понижуючого коефіцієнта приведення жорсткості ідеального двотавра до згинальної жорсткості ферми з урахуванням деформації зсуву перерізу стрижневої конструкції (k_G). Запис рівняння переходу від згинальної жорсткості ідеального двотавра до згинальної жорсткості ферми (EI_{tr}) прийнято таким:

$(EI_{tr} = EI_x k_G).$	(2)
-------------------------	-----

В ряді робіт пропонується порівняння динамічних властивостей конструкцій при визначенні коефіцієнтів динамічності виконувати також порівняння за прогинами. Тому пропонується визначати коефіцієнт (k_G) за відношенням прогинів СФП (f_Φ) до прогинів ідеального двотавра ($f_{\Phi, bim}$) від дії імпульсного навантаження (2.20).

$k_G = f_{\Phi, bim} / f_\Phi$	(2)
--------------------------------	-----

Прогин ідеального двотавра визначається за відомою формулою:

$I_{x, bim} = \frac{h_\Phi^2 A_d}{2} \rightarrow f_{\Phi, bim} = \frac{PL_\Phi^3}{48EI_x} = \frac{PL_\Phi^3}{48E \frac{h_\Phi^2 A_d}{2}} = \frac{PL_\Phi^3}{24EA_d E h_\Phi^2}.$ $f_{\Phi, bim} = \frac{PL_\Phi^3}{24EA_d E h_\Phi^2}$	(3)
--	-----

Тепер маємо аналітичний вираз для визначення коефіцієнта (k_G) урахуванням (2)

$$k_G = \frac{f_{\Phi, bim}}{f_\Phi} = \frac{1}{f_\Phi} \frac{PL_\Phi^3}{24EA_d h_{tr}^2}. \quad (4)$$

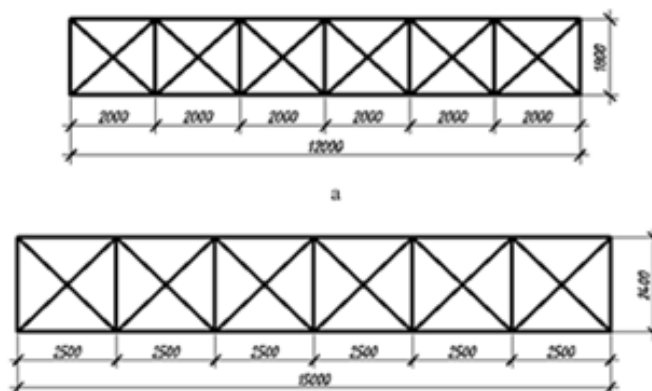


Рис. 1. Геометричні схеми ферм: а – прольотом $l_\Phi = 12$ м, б – прольотом $l_\Phi = 15$ м

Виконані числові дослідження колової частоти власних коливань ряду конструкцій СФП з паралельними поясами і хрестовою решіткою (рис.1). Перерізи елементів ферм були підібрані згідно ДБН В.2-198:2014 «Сталеві конструкції». Навантаження були прийняті постійне від покриття ($0,797\text{т/м}^2$) та миттєве від імпульсу у середній вузол ферми. Постійне навантаження було прикладене у вузли, крок ферм – $B_\Phi = 3\text{м}$. Для кожної з ферм в ЛІРА-САПР було визначено частоти власних коливань. Маса була зібрана з постійного навантаження – m_{tr} , де врахована власна маса елементів ферми та маса залізобетонних плит покриття. Розглядалась лише перша форма коливань, що відповідає напрямку дії сили від імпульсу посередині прольоту СФП. Значення частот власних коливань наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Перша колова частота власних коливань конструкцій покриття в ЛІРА-САПР

Проліт ферми, l_Φ , м	Частота, рад/с
12	41,2
15	34,56

За балковою аналогією перша колова частота власних коливань сталеві ферми була визначена за наступною формулою:

$\omega_1 = \pi^2 \sqrt{\frac{EI_x k_G g}{l_\Phi^4 m_{tr}}}$	5
--	---

де m_{tr} – маса покриття будівлі, $g = 9,81\text{ м/с}^2$.

За згинальну жорсткість ферми була прийнята жорсткість перерізу, в який входить нижній та верхній пояс за формулою (1). Коефіцієнт k_G було визначено як співвідношення значень прогинів ферми та балки за аналітичними рівняннями (2,3). Різниця цих прогинів пояснюється наявністю деформацій зсуву в фермі, тому прогин у фермі завжди більший, ніж в балці з еквівалентною згинальною жорсткістю. На підставі числових досліджень було визначено коефіцієнт k_G окремо для рівномірно розподіленого навантаження та зосередженого навантаження посередині прольоту. Результати розрахунку наведені в табл. 1.

Таблиця 2

Визначення коефіцієнта k_g

Прогін ферми, м	k_G для рівномірно розподіленого навантаження	k_G для зосередженого навантаження в середині прольоту
12	0,923	0,892
15	0,912	0,881

Визначені перші колові частоти власних коливань за балковою аналогією, які наведені в табл. 2.

Також було виконано порівняння значення колових частот власних коливань для ферм на шарнірно-нерухомій та шарнірно-рухомій опорі та на двох шарнірно-нерухомих опорах в ПК ЛПА-САПР. Результати занесені в табл. 3.

Таблиця 3

Порівняння частот коливань сталевих ферм покриття в залежності від умов обпирання сталевих ферм покриття

Проліт ферми, м	Частота ферми з однією шарнірно рухомою опорою, рад/с	Частота ферми з двома шарнірними нерухомими опорами, рад/с	Відношення
12	41,2	56,7	1,38
15	34,56	47,46	1,37

Висновок.

Розроблена методика узагальнених досліджень визначення колових частот власних коливань СФП під час дії рівномірно розподіленого і зосередженого навантаження. Разом із дослідженнями [5] розроблено комплексний підхід вибору найкращих рішень визначення раціональних конструкцій сталевих ферм покриття.

Визначені числові значення коефіцієнта приведення коефіцієнта (k_G) приведення згинальної жорсткості ферми до згинальної жорсткості ідеального двотавра з урахуванням деформації зсуву перерізу стрижневої конструкції. Це дозволяє виконувати узагальнені дослідження роботи сталевих стрижневих наскрізних конструкцій та визначати коефіцієнти динамічності під час дії імпульсних навантажень. Це дозволяє робити перехід від динамічних навантажень до квазістатичних. Що на першому етапі варіантного проєктування швидше дозволяє виконувати підбір перерізів елементів конструкції [5].

Виконані дослідження умов обпирання ферм на жорсткі опори показав суттєвий вплив на власні частоти коливань умов закріплення сталевих ферм покриття. Це дозволяє правильно визначити несучу спроможність опорних вузлів СФП під час дії імпульсних навантажень. Також відкривається можливість регулювати власну частоту коливань металевих конструкцій як за рахунок жорсткості, так і за рахунок крайових умов обпирання.

Література:

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. Баженов, Віктор Андрійович. 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. 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.
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_16http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2009_4_16
5. 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>
6. 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>
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
8. Максименко, В., Барабаш, М., Костира, Н., & Бармін, І. (2024). Моделювання динамічних навантажень вибухового типу в задачах дослідження міцності будівельних конструкцій з використанням ПК ліра-сапр. Наука та будівництво, 38(4). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-3>
9. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В., Білик С.І., Лаврінченко Л.І., Бєлов 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 «ХП». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях . – Харків: НТУ «ХП», 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. Семко О.В., Воскобійник О.П. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій: монографія. Полтава: ПолтНТУ, 2012. 514 с.
13. Bilyk A.S. Modern methods of progressive collapse simulation of building and structures/A. S. Bilyk, A. I. Kovalenko// Construction, materials science, mechanical engineering. PGASA. Dnipropetrovsk. - 87/2016 – P. 35-43,. <http://smm.pgasa.dp.ua/article/view/72349>.
14. Barabash M.S., Kostyra N.O., Pysarevskiy B.Y. Strength-strain state of the structures with consideration of the technical condition and changes in intensity of seismic loads IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. No 708. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/708/1/012044>
15. Bilyk, S., Bilyk, A., Tonkacheiev, V. (2022). The stability of low-pitched vonMises 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>
16. 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>
17. Sergiy Bilyk, Vitaliy Tonkacheiev, Determining sloped-load limits in side vonMises truss with elastic support. *Materiali i tehnologije*, Ljubljana, Slovenija 52 (2018), 105-109, doi:10.17222/mit.2016.083.
18. S. Bilyk, O. Bashynska, O. Bashynskiy. Determination of changes in thermal stress state of steel beams in LIRA-SAPR software // *Strength of Materials and Theory of Structures*. – 2022. – № 108. – P. 182-202. Doi:10.32347/2410-2547.2022.108.189- 202.
19. 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-impulsnyh-nagruzok/viewer>
20. 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>.
21. Dynnyk A. Stability of elastic systems / A.N. Dynnyk . - М .: ONTI, 1935. -186 <https://www.twirpx.com/file/2146790>.
22. Hohol M., Marushchak U., Peleshko I., Sydorak D. (2022) Rationalization of the Topology of Steel Combined Truss. In: Bieliatynskiy 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

23. 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
24. 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
25. 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>
26. 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>
27. 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
28. 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>.
29. 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)

Associate **Ternoviy Maksim**,
Ph.D., Associate Professor **Bilyk Artem**,
Ph.D., Associate Professor **Daurov Mykhail**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE NATURAL CIRCULAR VIBRATIONS OF STEEL ROOF TRUSSES BY THE CALCULATION SCHEME OF THE IDEAL I-BEAM ABILITY OF STEEL ELEMENTS OF STEEL TRUSSES

A methodology has been developed for conducting generalized studies of natural circular vibrations of steel roof structures by beam analogy during impulsive loading.

It is proposed that the natural circular frequency of vibrations of rod elastic structures of roof trusses be estimated through the coefficient of reducing the bending stiffness of the steel roof truss to the stiffness of an ideal I-beam. Numerical studies of the natural circular frequencies of vibrations of steel roof trusses with a span of 12.0 m and 15.0 m under the action of a uniformly distributed and concentrated load have been carried out. Accordingly, the coefficient of reducing the stiffness of the steel roof truss to the stiffness of an ideal I-beam has been determined. It is shown that at the same cross-sectional height, the bending stiffness of steel roof trusses is less than the bending stiffness of an ideal I-beam due to the influence of shear deformation of the cross-section of the core structure. Numerical studies have been carried out and the impact of the truss support conditions on the natural circular frequencies of oscillations has been established. It has been shown that the natural frequency of oscillations of beam structures with pin supports is greater than with traditional support when one support is pin support and the other is roller fixed. The results of the studies are used during variant design to select a rational constructive solution for metal lattice structures.

Keywords: Keywords: modeling; metal structures; steel roof trusses; ideal I-beam; impulse loads; circular natural frequency of roof trusses; influence of supporting conditions of steel trusses on the natural frequency of vibrations; shear deformation of the cross-section of the lattice structure.

REFERENCES:

1. Bazhenov V.A. Budivelnna 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>. {in English}.
2. Bazhenov, Viktor Andriyovych. Dynamika sporud [Tekst] : pidruch. dlya stud. vyshch. navch. zakl. / V.A. Bazhenov, YE.S. Dekhtyaryuk, YU.V. Vorona. - K. : Vipol, 2012. - 340, s. : rys., tabl. - Bibliohr.: s. 337-340. - 350 prym. - ISBN 978-966-646-120 -3. {in Ukrainian}.
3. Bazhenov V.A., Kryvenko O.P., Vorona YU.V. Analiz vlasnykh kolyvan' tonkykh parabolichnykh obolonok // Opir materialiv i teoriya sporud: nauk.-tekh. zbirn. – K.: KNUBA, 2019. – Vyp. 102. – S. 171-179. <http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-102/18-102.pdf> UDC 539. {in Ukrainian}.
4. Bilyk A.S. Vyznachennya optymal'nykh konstruktyvnykh rishen' ferm u ekspertniy systemi odnostadiynoho optymal'noho proektuvannya / Zb. nauk.prats' UNDPISK im. V.M.Shymanovs'koho. – Kyiv, vyd-vo «Stal'», 2009, vyp. 4. – S.119-132.

http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2009_4_16http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZNPISK_2009_4_16. {in Ukrainian}.

5. Bilyk , A. ., & Ternovyy , M. (2024). Vybir ratsional'noyi vysoty stalevykh balkovykh konstruktsiy z urakhuvanniam koefitsiyenta dynamichnosti pid chas diyi epizodychnoho navantazhennya. *Budivel'ni konstruktsiyi. Teoriya i praktyka*, (15), 75–85. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.75-85>. {in Ukrainian}.

6. Kryvenko O.P., Vorona YU.V. Analiz nestatsionarnoyi reaktsiyi pruzhnoyi obolonky na impul'sne navantazhennya // *Opir materialiv i teoriya sporud: nauk.-tekhn. zb. – K.: KNUBA*, 2018. – Vyp. 101. – S. 26-37. <http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-101/4.pdf>. {in Ukrainian}.

7. Luk"yanchenko O.O., Vorona YU.V., Kostina O.V. Veyvlet-analiz seysmichnoyi khvyly'ovoyi reaktsiyi karkasnoyi budivli // *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}.

8. Maksymenko, V., Barabash, M., Kostyra, N., & Barmin, I. (2024). Modelyuvannya dynamichnykh navantazhen' vybukhovoho typu v zadachakh doslidzhennya mitsnosti budivel'nykh konstruktsiy z vykorystanniam pk lira-sapr. *Nauka ta budivnytstvo*, 38(4). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-3>. {in Ukrainian}.

9. Metalevi konstruktsiyi: Zahal'nyy kurs: Pidruchnyk dlya vyshchykh navchal'nykh zakladiv. Nilov O.O., Permyakov V.O., Shymanovs'kyi O.V., Bilyk S.I., Lavrinenko L.I., Byelov I.D., Bilyk S.I., Volodymyrs'kyi. Vydannya 2-e, pereroblene i dopovnene / Pid zahal'noyu redaktsiyeyu O.O. Nilova ta O.V. Shymanovs'koho/. – K.: Vydavnytstvo «Stal'», 2010. – 869 s. {in Ukrainian}.

10. Ol'shans'kyi V.P., Ol'shans'kyi S.V. Dynamichnyy efekt nesymetriyi sylovoyi kharakterystyky dysypatyvnykh ostsyl'yatoriv // *Visnyk NTU «KHPI»*. Seriya: Matematychno 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}.

11. Pysarenko H.S. Opir materialiv / H.S. Pysarenko, O.L. Kvitka, E.S. Umans'kyi. – Kyiv: Vyshcha 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}.

12. Semko O.V., Voskobiynyk O.P. Keruvannya ryzykamy pry proektuvanni ta ekspluatatsiyi stalezalizobetonnykh konstruktsiy: monohrafiya. Poltava: PoltNTU, 2012. 514 c. {in Ukrainian}.

13. Bilyk A. S. Modern methods of progressive collapse simulation of building and structures/A.S. Bilyk, A.I. Kovalenko// Construction, materials science, mechanical engineering. PGASA. Dnipropetrovsk. - 87/2016 – P. 35-43,. <http://smm.pgasa.dp.ua/article/view/72349>. {in English}.
14. Barabash M.S., Kostyra N.O., Pysarevskiy B.Y. Strength-strain state of the structures with consideration of the technical condition and changes in intensity of seismic loads IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. No 708. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/708/1/012044>. {in English}.
15. Bilyk, S., Bilyk, A., Tonkacheiev, V. (2022). The stability of low-pitched vonMises 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>. {in English}.
16. 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>. {in English}.
17. Sergiy Bilyk, Vitaliy Tonkacheiev, Determining sloped-load limits in side vonMises truss with elastic support. Materiali i tehnologije., Ljubljana, Slovenija 52 (2018), 105-109, doi:10.17222/mit.2016.083. {in English}.
18. S. Bilyk, O. Bashynska, O. Bashynskiy. Determination of changes in thermal stress state of steel beams in LIRA-SAPR software // Strength of Materials and Theory of Structures. – 2022. – № 108. – P. 182-202. Doi:10.32347/2410-2547.2022.108.189- 202. {in English}.
19. 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>. {in English}.
20. 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}.
21. Dynnyk A. Stability of elastic systems / A.N. Dynnyk . - М.: ONTI, 1935. -186 <https://www.twirpx.com/file/2146790>. {in English}.
22. Hohol M., Marushchak U., Peleshko I., Sydorak D. (2022) Rationalization of the Topology of Steel Combined Truss. In: Bieliatynskiy 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}.

23. 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. {in English}.

24. 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. {in English}.

25. 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}.

26. 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}.

27. 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/c2/53/6997426d46cb8f09fed5d26175e2/5bcfea4b-34b9-48f7-966b-a74ab5ddae8c.pdf. {in English}.

28. 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}.

29. 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). {in English}. {in English}.