

Рюмін В.В., Солодовник Ю.Ю., Рюміна К.О.

Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЧАТКОВОЇ ОБЕРТАЛЬНОЇ ЖОРСТКОСТІ БАЗИ СТІЙКИ ПАЛЕТНОГО СТЕЛАЖУ

В даний час в Україні проектування збірно-розбірних палетних систем здійснюється відповідно до чинного нормативного документу [1]. У цьому документі вказується необхідність застосування експериментально-теоретичного підходу визначення початкової обертальної жорсткості бази стійки палетного стелажу. У статті наводяться результати визначення даного параметра на підставі розробленої авторами чисельної моделі системи «бетонна основа – стійка палетного стелажу». Показано, що зі збільшенням стискаючої сили в стійці відбувається зростання початкової обертальної жорсткості її бази.

Ключові слова: палетний стелаж, база стійки, початкова обертальна жорсткість.

Постановка проблеми

Сталеві палетні стелажі широко використовуються в промисловості та торгівлі для складування товарів та виробів. По суті, стелажі є тривимірною багатоповерховою і багатопрольотною спорудою. При цьому, з практичного погляду

(можливість доступу до товарів і виробів, що складаються), стелажі не мають системи зв'язків у поздовжньому напрямку (рис.1), і тому їх стійкість в поздовжньому напрямку забезпечується за рахунок жорсткості бази стійки і вузлового з'єднання між ригелем і стійкою.

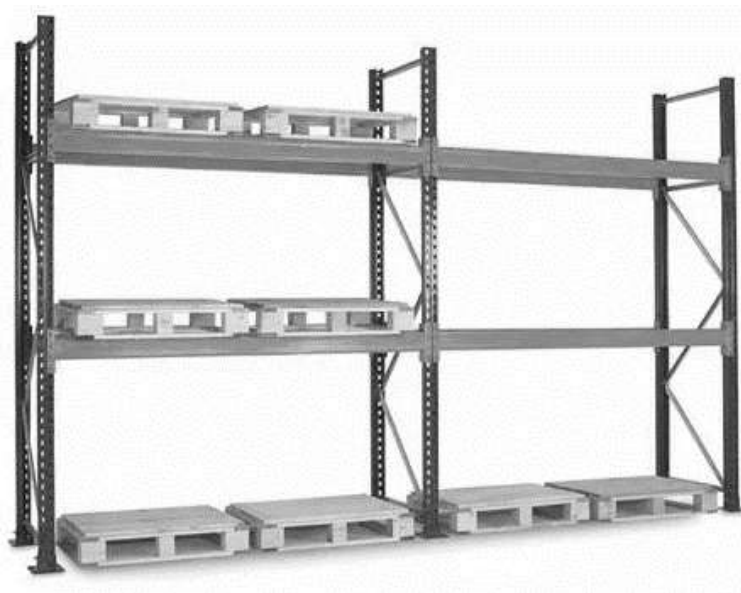


Рис. 1. Типова конструкція секції палетного стелажу.

(<https://www.indiamart.com/proddetail/pallet-racks-7993261362.html>)

Проектування збірно-розбірних палетних систем в Україні проводиться у відповідності до [1], а в зарубіжній практиці відповідно до [2, 3].

Раніше авторами цієї статті проводилися експериментальні дослідження несучої здатності стійки палетного стелажу [4], а також проведені роботи з визначення характеристик механічних

властивостей матеріалу стійок [5]. Метою даної роботи є визначення початкової обертальної жорсткості бази стійки стелажу на підставі розробленої чисельної моделі. Значення початкової обертальної жорсткості використовується надалі при статичному аналізі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Розрахункову схему палетних стелажів можна представити у вигляді плоскої або просторової регулярної стрижневої системи. Проте основна складність при складанні подібної розрахункової схеми полягає в тому, що вузли з'єднання стрижнів фактично напівжорсткі.

Для визначення початкової жорсткості вузлових з'єднань відповідно до вказівок [1-3] використовується експериментально - теоретичний підхід.

Виклад основного матеріалу

У статті розглянуто питання визначення початкової жорсткості бази колони за допомогою методів чисельного аналізу.

На рис. 2 показано конструктивну схему для визначення початкової жорсткості бази стійки палетного стелажу, а на рис. 3 - розрахункову схему.

Відповідно до розрахункової схеми дві стійки приєднані до бетонної основи. До кінців стійок прикладається стискаюча сила F_1 , сила F_2 прикладається покроково, при цьому величина стискаючої сили F_1 залишається постійною на кожному етапі прикладання сили F_2 . Прийнята в роботі розрахункова схема відповідає вказівкам, наведеним у [2], проте основна відмінність полягає в тому, що бетонна основа не має можливості повороту. Ця обставина дає можливість використовувати властивість симетрії розрахункової схеми при розробці чисельної моделі [6]. Ряд дослідників зазначають, що силу F_2 у чисельних дослідженнях можна замінити на задане бічне переміщення [7-9].

Чисельна модель розроблялася з використанням програмного комплексу ANSYS 2021 R2 [10].

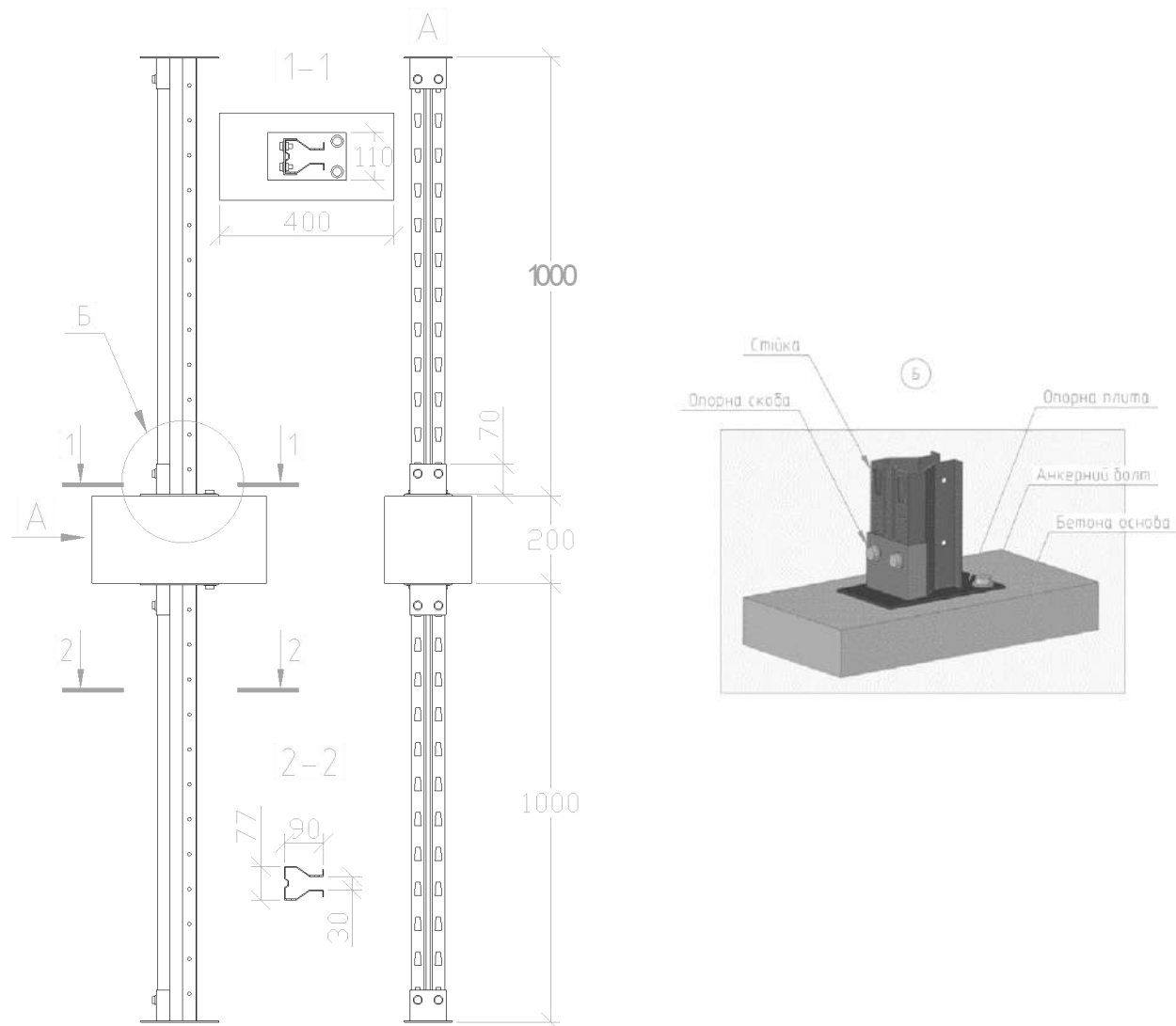


Рис. 2. Конструктивна схема визначення початкової жорсткості бази колони.

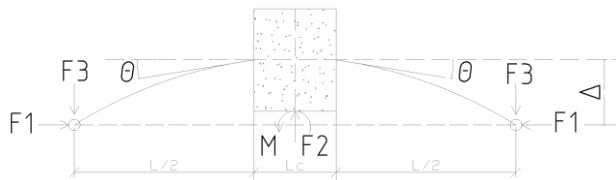


Рис. 3. Розрахункова схема визначення початкової жорсткості бази (F1, F2, F3 – осьові сили, M – реактивний момент, θ – кут оберту, Δ – лінійне переміщення, L, L_c – лінійні розміри).

Геометрія чисельної моделі (рис. 4а) побудована із застосуванням програмного продукту SpaceClaim, який дозволяє розробити твердотільну модель, та підготувати її до розбивки на кінцеві елементи, з подальшою передачею в пакет кінцевоелементного аналізу.

У розробленій моделі враховані ефекти контактної взаємодії, а саме взаємодія елементів «опорна плита – бетонна основа», «опорна скоба – стійка», «стійка – опорна плита» допускає взаємний

відрив елементів один від одного. Відрив не допускається між елементами «анкерний болт – бетонна основа», «анкерний болт – опорна плита». Болти М10, що кріплять опорну стійку до опорної скоби, моделювалися у вигляді стрижнів, які приєднуються до периметра отворів за допомогою жорстких елементів [11, 12]. Розрахунок моделі проводився у геометрично нелінійній постановці з урахуванням фізичної нелінійності властивостей матеріалів моделі.

Розрахунки проводилися для трьох варіантів значень стискаючої сили: F1 = 20 кН; F1 = 40 кН; F1 = 60 кН.

Бокове переміщення задавалося в діапазоні від 0 до 5 мм, і прикладалося покроково, починаючи з другого кроку навантаження, в той час як стискаюче зусилля F1 прикладалося з першого кроку завантаження. Характер деформацій розрахункової моделі наведено на рис. 5.

На останньому етапі завантаження відбувається відрив стійки від опорної плити (рис. 6).

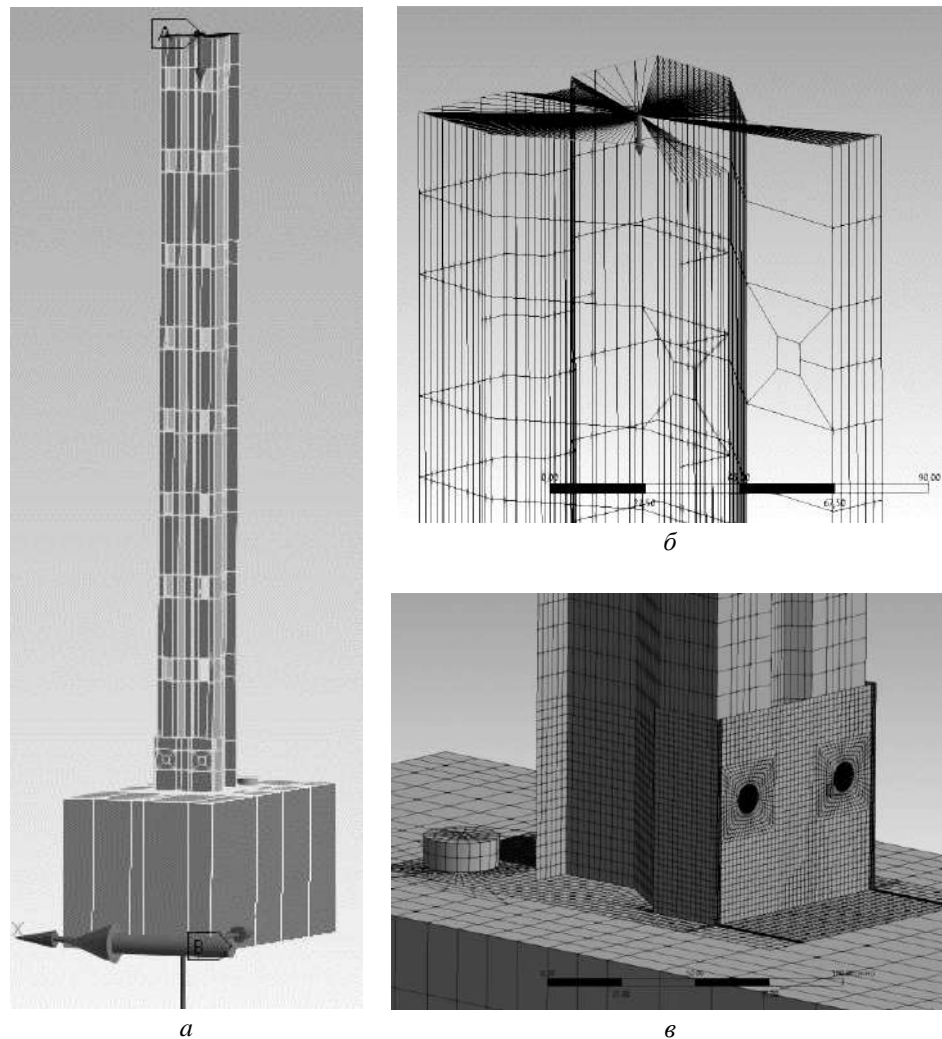


Рис. 4. Кінцевоелементна модель (а – геометрична схема; б – схема прикладання стискаючої сили; в – фрагмент бази).

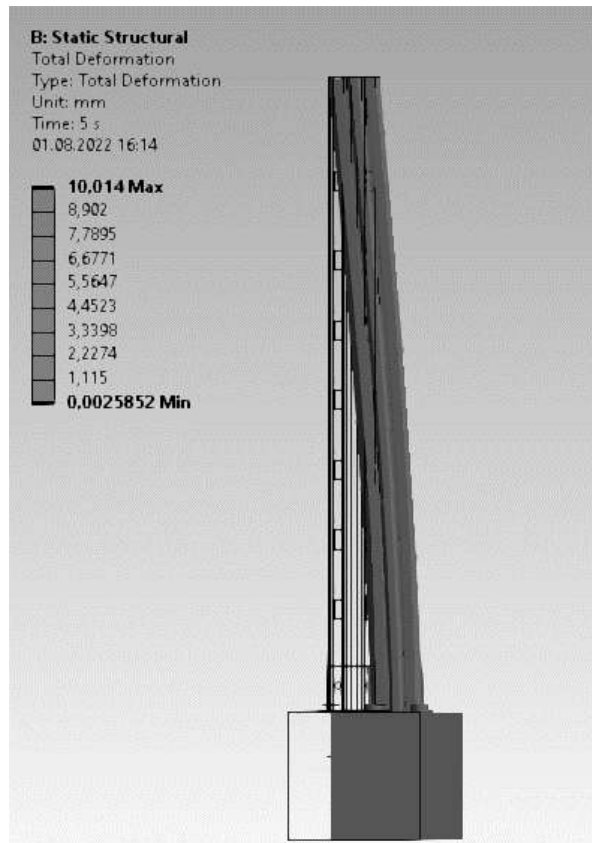


Рис. 5. Загальні деформації розрахункової моделі на кінцевому етапі завантаження

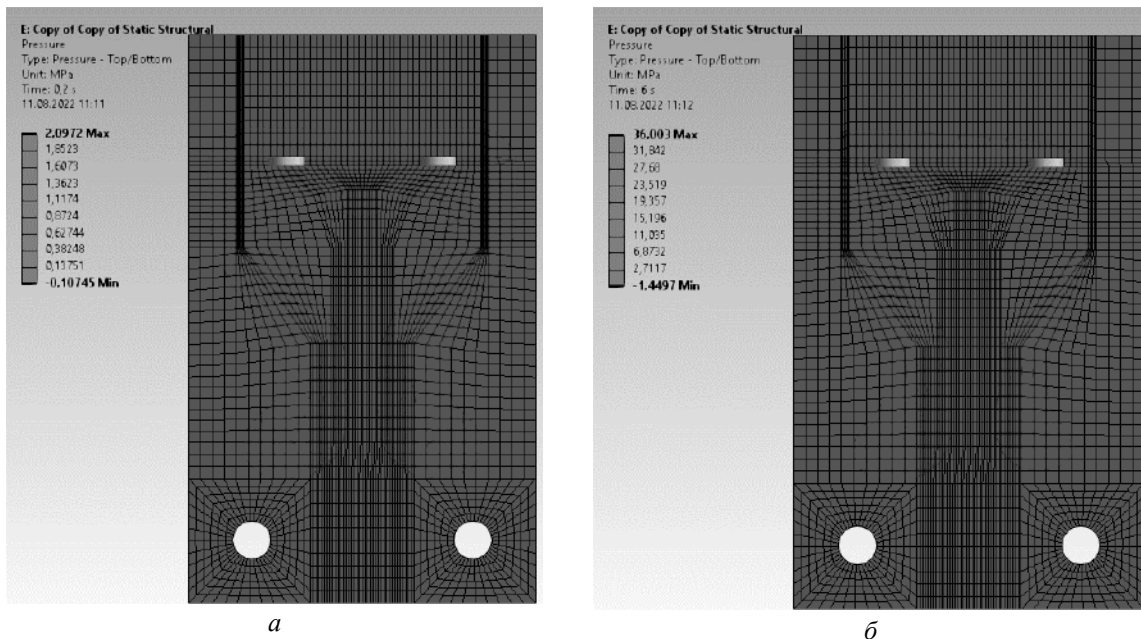


Рис. 6. Поля контактної напруженості в опорній плиті бази колони
 (а – бокове переміщення 0 мм; б – бокове переміщення 5 мм)

Для побудови залежності «М- θ » і подальшого визначення початкової жорсткості бази колони визначався кут повороту θ , для чого в моделі була передбачена контрольна точка (рис. 7), для якої

фіксувалися значення кута повороту моделі на кожному кроці завантаження.

На рис. 8 наведено графіки залежності «М- θ », отримані за результатами розрахунку чисельних моделей.

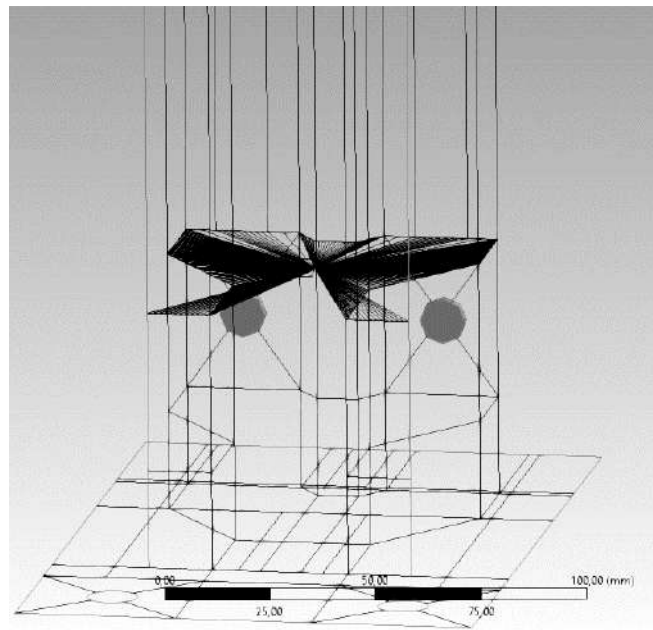
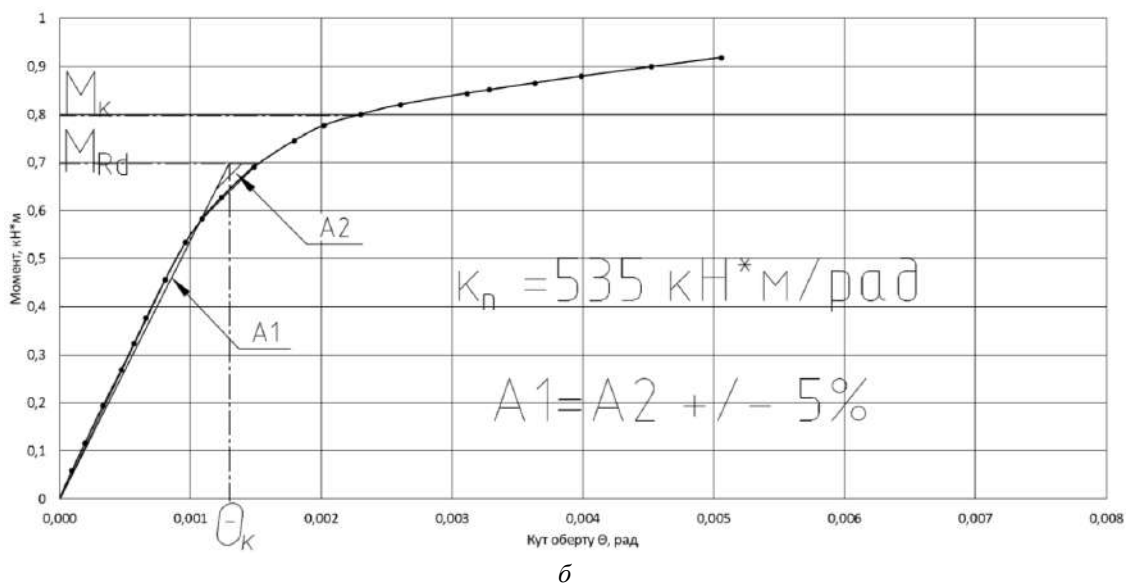
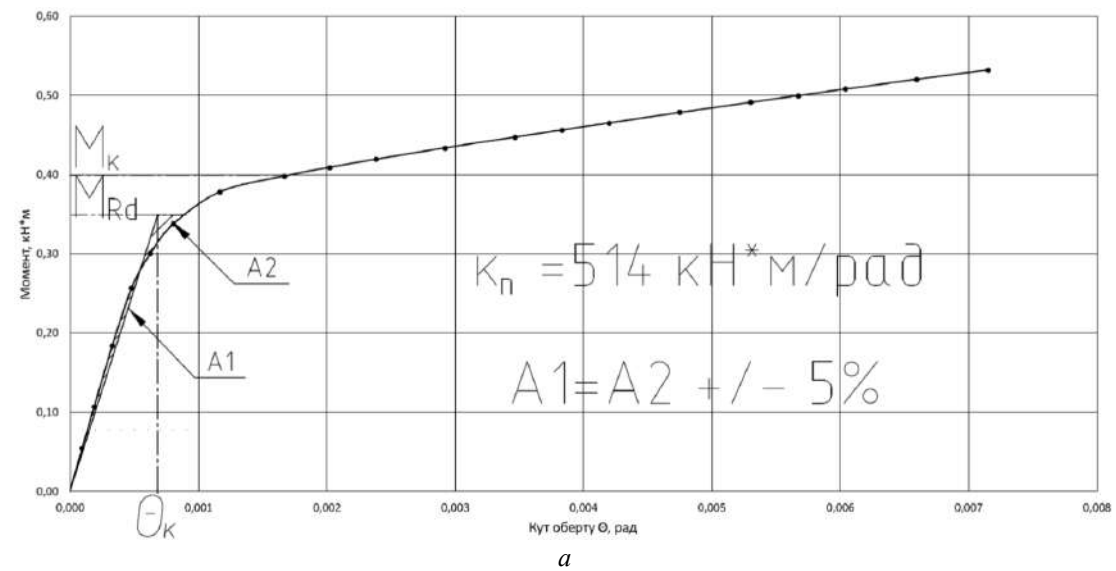


Рис. 7. Положення контрольної точки для визначення кута повороту.



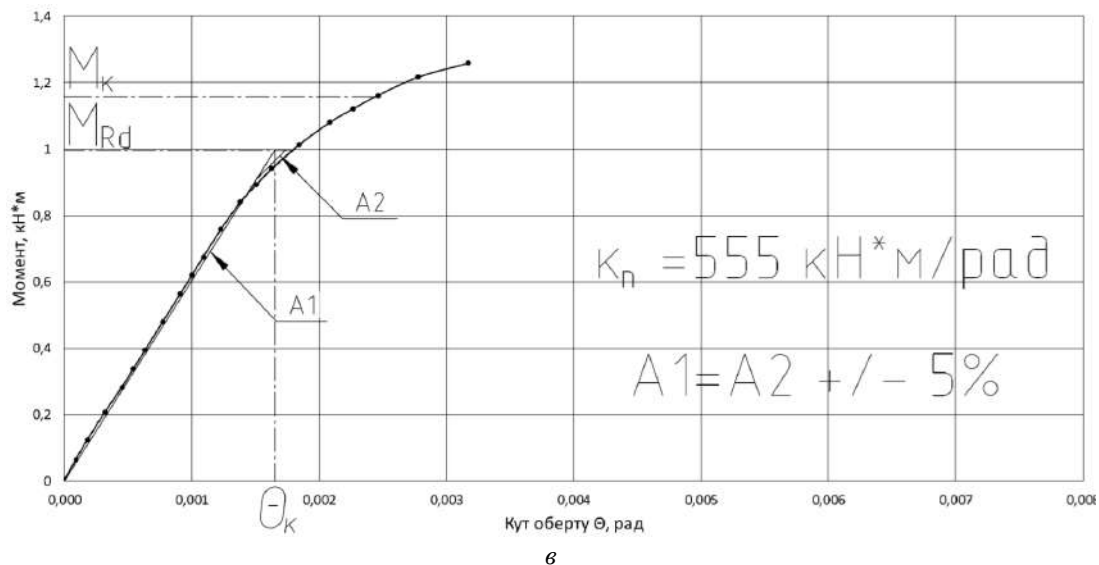


Рис. 8. Залежність «М- θ»

(а – $F_1=20$ кН; б – $F_1=40$ кН; в – $F_1=60$ кН; M_k – характеристичне значення граничного згинального моменту, M_{Rd} – розрахункове значення граничного згинального моменту, θ_k – кут обертуті, K_n – початкова оберտальна жорсткість, A1, A2 – площі фігур, обмежених лінією, що проходить через початок координат з кутовим коефіцієнтом K_n та лінією залежності М-θ).

На підставі вказівок [2] проведено обробку отриманих залежностей «М-θ» та отримано значення початкової оберտальної жорсткості прийнятого конструктивного рішення бази стійки палетного стелажу.

Висновки

На підставі розробленої чисельної моделі визначено жорсткість бази колони стійки палетного стелажу. Отримані значення початкової оберտальної жорсткості можуть використовуватися в подальшому статичному аналізі розрахункової схеми палетних стелажів для визначення їх несучої здатності при заданих умовах навантаження.

Література

1. ДСТУ EN 15512:2015. Системи складських стаціонарних стелеві. Збірно-розбірні палетні стелажні системи. Принципи проектування конструкцій [Текст] / EN 15512:2009, IDT.
2. BS EN 1551:2009 Steel static storage systems – Adjustable pallet racking systems – Principles for structural design
3. RMI. Specification for the design, Testing and utilization of industrial steel storage racks [Текст] / Charlotte (USA): Rack Manufactures institute. 2008.
4. Солодовник Ю.Ю., Рюміна Е.А., Рюмін В.В., Яровой Ю.Н. Экспериментальное и численное исследование работы стоек палетных стеллажей. – Науковий вісник будівництва, 2019, Т.2, №2(96) с.252-256. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: DOI: 10.29295/2311-7257-2019-96-2-252-257.
5. Рюмін В.В., Рюміна Е.А., Агєєнко С.Б., Ляшенко І.Ю. Экспериментально-чисельне дослідження роботи плоских сталевих зразків при розтягу. Науковий вісник

будівництва, 2021, т.105,№3 с99-104. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: doi.org/10.29295/2311-7257-2021-105-3-99-105

6. Beniot P. Gilbeert, Kim J.R. Rasmussen. Determination of the base plate stiffness and strength of steel storage racks. [Текст] / Journal of constructional steel research 67 (2011) p. 1031-1041.
7. Baldassino N, Bernuzzi C. Analysis and behaviour of steel storage pallet racks [Текст] / Thin-Walled Structures 2000 Vol. 37., Issue 4., p. 277-304.
8. Beale R.G., Godley MHR. Problems arising with pallet rack semi-rigid base plates [Текст] / 1st international conference on steel and composite structures. 2001. p. 699-706.
9. Godley MHR, Beale RG, Feng X. Rotational stiffness of semi-rigid baseplates [Текст] / 14th international specialty conference on cold formed steel structures. 1998. p. 323-335.
10. Xiaolin Chen, Yijun Liu. Finite Element modeling and simulation with ANSYS Workbench [Текст] / CRC Press. Taylor and Francis Group. 2015. p.408.
11. Bolted connections in ANSYS Workbench: Part I [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.endeavos.com/bolted-connections-ansys-workbench-part-1/>
12. An overview of methods for modelling bolts in ANSYS [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.finiteelementanalysis.com.au/featured/an-overview-of-methods-for-modelling-bolts-in-ansys/>

References

1. Stationary steel warehouse systems. Collapsible pallet racking systems. Principles of construction design. DSTU EN 15512:2015.
2. Steel static storage systems. Adjustable pallet racking systems. Principles for structural design. BS EN 1551:2009

3. RMI. Specification for the design, Testing and utilization of industrial steel storage racks. (2008). *Charlotte (USA): Rack Manufactures institute.*
4. Solodovnyk Y.Y., Ryumina E.A., Ryumin V.V., Yarovoy Y.N. (2019). Experimental and numerical study of the operation of racks of pallet racks. - *Scientific bulletin of construction №2(96), p.252-256.*
5. Ryumin V.V., Ryumina E.A., Ageyenko S.B., Lyashenko I.Yu. (2021). Experimental and numerical study of the performance of flat steel samples under tension. *Scientific bulletin of construction, vol.105, №3, p.99-104.*
6. Beniot P. Gilbeert, Kim J.R. (2016). Determination of the base plate stiffness and strength of steel storage racks. *Journal of constructional steel research 67, p. 1031-1041.*
7. Baldassino N, Bernuzzi C. (2011). Analysis and behaviour of steel storage pallet racks. *Thin-Walled Structures, Vol. 37, Issue 4., p. 277-304.*
8. Godley MHR, Beale RG, Feng X. (2001). Problems arising with pallet rack semi-rigid base plates. *1st international conference on steel and composite structures, p. 699-706.*
9. Godley MHR, Beale RG, Feng X. (1998). Rotational stiffness of semi-rigid baseplates. *14th international specialty conference on cold formed steel structures, p. 323-335.*
10. Xiaolin Chen, Yijun Liu. (2015). Finite Element modeling and simulation with ANSYS Workbench. *CRC Press. Taylor and Francis Group, p.408.*
11. *Bolted connections in ANSYS Workbench: Part I.*
12. *An overview of methods for modelling bolts in ANSYS.*

Рецензент: д-р техн. наук проф. С.М. Яровий, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна.

Автор: РІУМІН Володимир Володимирович
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних конструкцій та матеріалознавства Харківський національний університет будівництва та архітектури
E-mail - luger09par@yahoo.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8884-589X>

Автор: СОЛОДОВНИК Юлія Юріївна
науковий співробітник кафедри будівельних конструкцій та матеріалознавства Харківський національний університет будівництва та архітектури
E-mail - solladesign@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5243-9993>

Автор: РІУМІНА Катерина Олександрівна
науковий співробітник Харківський національний університет будівництва та архітектури
E-mail - e.a.perepelica@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0574-0038>

DETERMINATION OF BASE PLATE STIFFNESS OF STEEL STORAGE RACKS.

V Riumin, Y. Solodovnik, K. Riumina

Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine

In recent trends the development of structural steel using cold formed steel section plays a vital role in main frame construction of portal frames. These frames find its use in the construction of economic industrial, agricultural and residential buildings due to its lightweight and robustness. With the major claims in comparison with hot rolled steel profiles, cold formed steel possesses low cost, highly versatile with standard design procedures. Among various structural designs, industrial storage racks are the most prominent structures constructed using cold formed steel. It has been widely incorporated with the rational space utilization in warehouses and factories for goods storage. These rack systems have been classified as static and dynamic types. The adjustable pallet rack was found to be the commonly used static system. It consists of transversal beams and column upright which is grounded with base plate connections. This system provides the stability in down aisle direction. The beams (stringers) have boxed cross-sections while columns (uprights) are open thin walled perforated to accept the tabs of beam end-connectors, which join beams and columns together without bolts or welds.

This paper addresses the problem of determining the stiffness and strength of steel storage rack base plate assemblies. Base plate assemblies are usually bolted to an upright and to a concrete floor, and they are used to provide resistance against the flexural buckling of the upright and/or the overall down-aisle buckling of the frame. The semi-rigid stiffness is usually determined by means of a test of two pre-loaded uprights connected to a concrete block in a dual-actuator set-up. Guidance for conducting the test is provided in the European Standard EN 15512. However, several aspects of the test need clarification, notably the test set-up and the transducer arrangement for measuring the rotations of the base plate.

Keywords: storage rack, base plate assembly, initial rotational stiffness.