

УДК 624.071.34

*В.М. Бібік, ст.викладач
М.В. Бібік, к.т.н., доцент
І.М. Василенко, студентка*

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ СУЦІЛЬНОГО ПЕРЕРІЗУ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМУ СТИСКУ ЗА РІЗНИМИ НОРМАМИ

Наведено аналіз різних моделей розрахунку елементів суцільного перерізу при центральному стиску відповідно до СНиП II-23-81, ДБН В.2.6-163 та EN 1993-1-1. Зроблено порівняння результатів розрахунку стержнів двотаврового, таврового та трубчастого перерізів за різними нормами. Указано відмінності між різними нормами.*

Ключові слова: *суцільний переріз, центральний стиск, стійкість елементів.*

УДК 624.071.34

*В.Н. Бибик, ст. преподаватель
Н.В. Бибик, к.т.н., доцент
И.Н. Василенко, студентка*

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ СПЛОШНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ СЖАТИИ ПО РАЗНЫМ НОРМАМ

Приведен анализ различных моделей расчета элементов сплошного сечения при центральном сжатии в соответствии со СНиП II-23-81, ДБН В.2.6-163 и EN 1993-1-1. Выполнено сравнение результатов расчетов стержней двутаврового, таврового и трубчатого сечения. Указаны отличия разных норм.*

Ключевые слова: *сплошное сечение, центральное сжатие, устойчивость элементов.*

UDC 624.071.34

*V.M. Bibik, senior lecturer
M.V. Bibik, PhD, Associate Professor
I.M. Vasilenko, student*

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

CALCULATION OF SOLID SECTION ELEMENTS UNDER CENTRAL COMPRESSION ACCORDING TO DIFFERENT STANDARDS

*Analysis of different calculating models of the elements of solid section under central compression according to SNIP II-23-81 * DBN B.2.6-163 and EN 01.01.1993 was presented. The comparison of calculations results for I-type, T-type and tube section elements was made. Differences between various standards are declared.*

Keywords: *solid cross-section, central compression, stability of elements.*

Вступ. Нині паралельно з нормами [3] представлена можливість використання європейських норм [4], для яких розроблено національні додатки. Але на сьогодні недостатньо практичних напрацювань, які б показали різницю між цими нормативними документами.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Останнім часом дослідженням стійкості елементів при центральному стиску займалися Ю.С. Мартинов [6], Н. Рубін [8], М. Краус [9].

Мета статті полягає в порівнянні сучасних європейських норм [4] розрахунку на стійкість елементів суцільного перерізу при центральному стиску з попередніми [1] та нині існуючими державними нормами [3].

Основні матеріали та результати. Для порівняння елементів суцільного перерізу при центральному стиску за різними нормами було зроблено розрахунки, побудовано графіки залежності коефіцієнта стійкості від умовної гнучкості для трьох типів поперечного перерізу: двотавр, труба і тавр.

Розрахунок за нормами [1].

Значення коефіцієнта стійкості елементів суцільного перерізу залежить від умовної гнучкості елемента, яка розраховується за формулою

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}}, \quad (1)$$

де R_y – розрахунковий опір сталі; E – модуль пружності.

Значення φ знаходиться за формулами :

при $0 < \bar{\lambda} \leq 2,5$

$$\varphi = 1 - (0,073 - 5,53 \frac{R_y}{E}) \bar{\lambda} \sqrt{\bar{\lambda}}; \quad (2)$$

при $2,5 < \bar{\lambda} \leq 4,5$

$$\varphi = 1,47 - 13,0 \frac{R_y}{E} - (0,317 - 27,3 \frac{R_y}{E}) \bar{\lambda} + (0,0275 - 5,53 \frac{R_y}{E}) \bar{\lambda}^2; \quad (3)$$

при $\bar{\lambda} > 4,5$

$$\varphi = \frac{332}{\bar{\lambda} (51 - \bar{\lambda})}. \quad (4)$$

Для різних значень розрахункових опорів створена таблиця 72 [1]. Стійкість суцільних елементів розраховується за формулою

$$\frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c. \quad (5)$$

Розрахунок за нормами [3].

На відміну від нормативного документа [1], коефіцієнт стійкості за нормами [3] дозволяє більш детально врахувати вплив форми поперечного перерізу.

Значення коефіцієнта φ визначається залежно від умовної гнучкості $\bar{\lambda}$. Так, при $\bar{\lambda} \geq 0,4$

$$\varphi = \frac{0,5}{\bar{\lambda}^2} (\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48\bar{\lambda}^2}). \quad (6)$$

Значення коефіцієнта δ обчислюється за формулою

$$\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta\bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2, \quad (7)$$

де α і β – коефіцієнти, що характеризують початкові неправильні форми та залишкові напруження, визначаються залежно від типу перерізу.

Значення коефіцієнтів φ слід приймати не більшими за $7,6 / \bar{\lambda}^2$ у випадку, коли $\bar{\lambda} > 3,8$ для типу кривої стійкості a ; $\bar{\lambda} > 4,4$ для типів кривої стійкості b ; $\bar{\lambda} > 5,8$ для типів кривої стійкості c . При значеннях $\bar{\lambda} < 0,4$ для всіх типів кривої стійкості допускається приймати $\varphi = 1,0$. Значення коефіцієнтів φ наведені у таблиці К.1 [3].

Стійкість суцільних елементів визначається за формулою

$$\frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1. \quad (8)$$

Розрахунок за нормами [4].

Особливістю кривих стійкості є відображення залежності знижувального коефіцієнта χ від умовної гнучкості елемента і типу поперечного перерізу. Криві втрати стійкості враховують вплив залишкових напружень для найбільш поширених типів поперечних перерізів. Усього передбачено п'ять кривих.

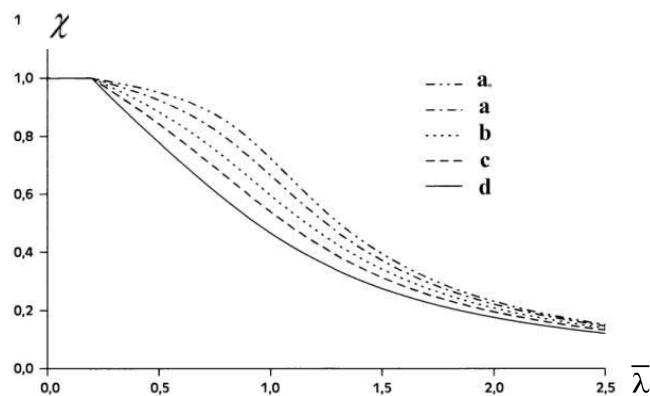


Рис. 1 – Криві втрати стійкості за EN 1993-1-1

Значення коефіцієнта χ можна визначити за графіком (рис. 1) або за формулою

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}^2}}, \text{ але } \chi \leq 1,0. \quad (9)$$

Значення ϕ слід обчислювати за формулою

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha \left(\bar{\lambda} - 0,2 \right) + \bar{\lambda}^2 \right], \quad (10)$$

де $\bar{\lambda}$ – умовна гнучкість елемента; α – коефіцієнт недосконалості, який залежить від способу виготовлення перерізу, знаходиться за табл. 6.1 [4].

Під час розрахунку беруть до уваги клас поперечного перерізу, який характеризує його напружено-деформований стан. В EN передбачено чотири класи перерізу залежно від межі текучості матеріалу, які також ураховуються при визначенні умовної гнучкості. У загальному випадку умовна гнучкість дорівнює

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}, \quad (11)$$

де N_{cr} – критична сила для відповідної форми втрати стійкості у пружній стадії, визначена за характеристиками перерізу бруто; f_y – межа текучості.

Частіше, коли відома розрахункова довжина елементів, $\bar{\lambda}$ визначається за такими формулами:

для поперечних перерізів класів 1, 2 і 3

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1}; \quad (12)$$

для поперечних перерізів класу 4

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{\sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_1} \quad (13)$$

де L_{cr} – приведена довжина у розглядуваній площині згину;

i – радіус інерції відносно відповідної осі, який визначається за характеристиками поперечного перерізу бруто $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon$, тут

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{325}{f_y}}. \quad (14)$$

Розрахункове значення опору стиснутого елемента при перевірці стійкості потрібно приймати таким, що дорівнює:

для поперечних перерізів класів 1, 2 і 3

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}; \quad (15)$$

для поперечних перерізів класів 4

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}, \quad (16)$$

де γ_{M1} – власний коефіцієнт безпеки при визначенні несучої здатності елемента по стійкості. Стиснутий елемент потрібно перевіряти на стійкість таким чином:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0, \quad (17)$$

де N_{Ed} – розрахункове значення стискувальної сили;

$N_{b,Rd}$ – розрахунковий опір на втрату стійкості елемента, що стискається.

Порівняння норм. Для порівняння будівельних норм при розрахунку центрально стиснутих елементів (ЦСЕ) використовуємо три типи поперечного перерізу: двотавр, трубу і тавр. Для можливості зіставлення результатів розрахунків приймаємо $R_y = f_y = 24 \text{ kH/cm}^2$. Слід відмітити, що для найбільш поширених типів поперечного перерізу для центрально стиснутих елементів за EN використовуються криві стійкості: $a=0,21$, $b=0,34$ і $c=0,49$. Криві втрати стійкості a_0 і d застосовуються дуже рідко, тому для більшої наочності вони не розглядаються. Як критерій зіставлення розрахунків за різними нормативними документами приймаємо коефіцієнт φ (в EN відповідником йому є знижувальний коефіцієнт χ).

Побудуємо графіки залежності коефіцієнта φ від умовної гнучкості елемента (рис. 2 – 4).

Результати проведених розрахунків показують, що кожний вид поперечного перерізу ілюструється своєю кривою $\varphi - \bar{\lambda}$, а зміна їхніх розмірів практично не впливає на загальний вигляд графіків. Для двотавра крива за EN розміщується вище, ніж за СНиП та ДБН, які знаходяться на однаковому рівні. А в графіках, котрі ілюструють залежність коефіцієнта стійкості від умовної гнучкості для труби, криві за ДБН та EN повністю співпадають та дають більші значення коефіцієнта φ , ніж за СНиП. Криві $\varphi - \bar{\lambda}$ розрахунку за ДБН та EN для тавра практично збігаються при $\bar{\lambda} > 2$, при меншій гнучкості крива розрахунку за EN розташована вище. Значення коефіцієнта φ при розрахунках ЦСЕ з тавру за СНиП більші, ніж за іншими нормами практично на всьому діапазоні $\bar{\lambda}$.

Для більшої наочності наведемо різницю між різними кривими $\varphi - \bar{\lambda}$, які були побудовані на попередніх графіках. Результати порівняння зображено на рис. 5 – 7.

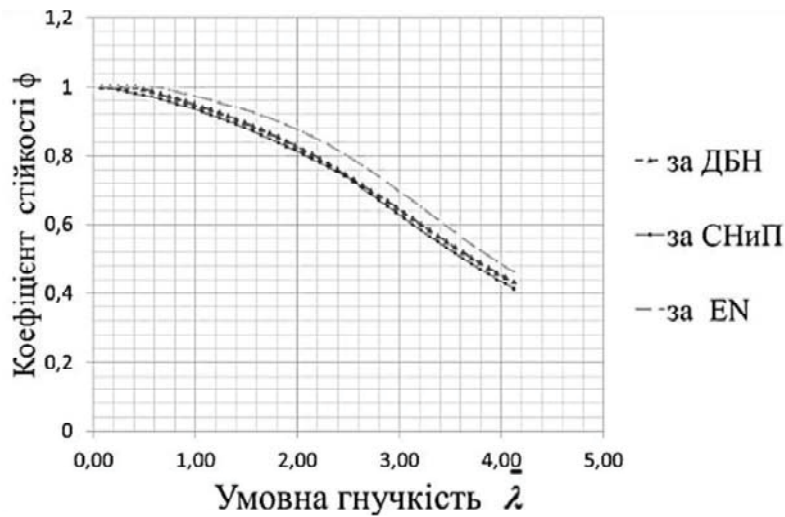


Рис. 2 – Графік залежності коефіцієнта ϕ від умовної гнучкості для ЦСЕ з двотавра № 20 ГОСТ 8239-89

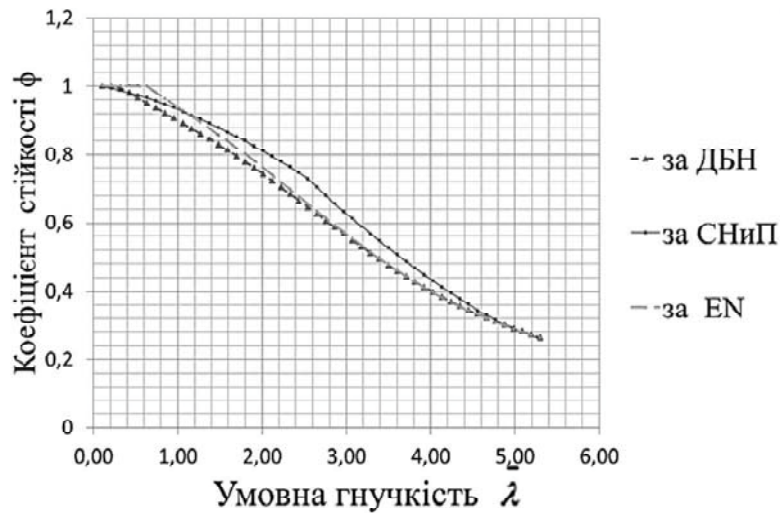


Рис. 3 – Графік залежності коефіцієнта ϕ від умовної гнучкості для ЦСЕ з тавра 20ШТЗ ТУ 14-2-685-86

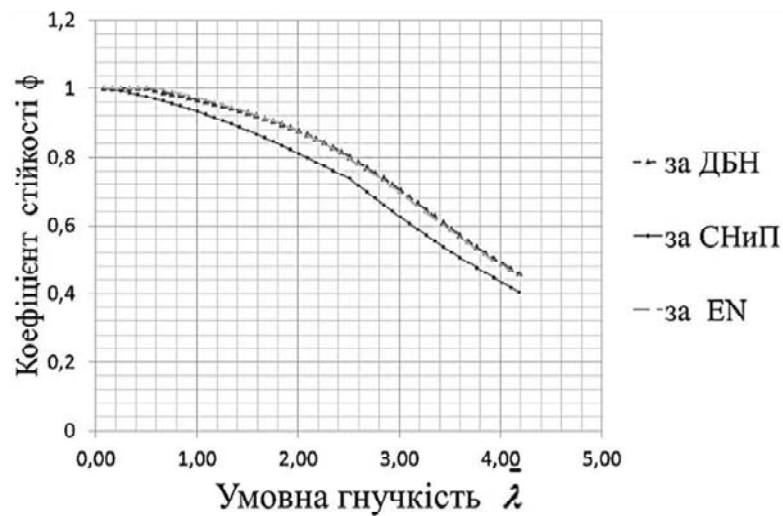


Рис. 4 – Графік залежності коефіцієнта ϕ від умовної гнучкості для ЦСЕ з труби 140x6 ГОСТ 8732-78

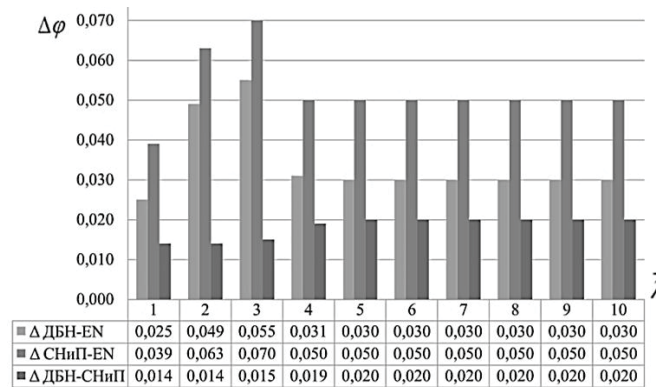


Рис. 5 – Різниця між кривими ДБН – EN, СНиП – EN і ДБН – СНиП для ЦСЕ з двотавра № 20 ГОСТ 8239-89

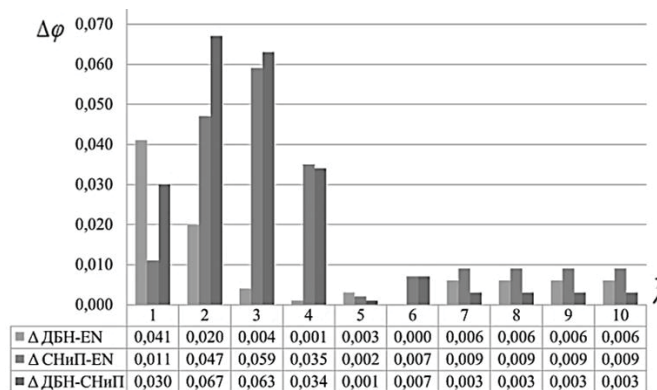


Рис. 6 – Різниця між кривими ДБН – EN, СНиП – EN і ДБН – СНиП для ЦСЕ з тавра 20ШТЗ ТУ 14-2-685-86

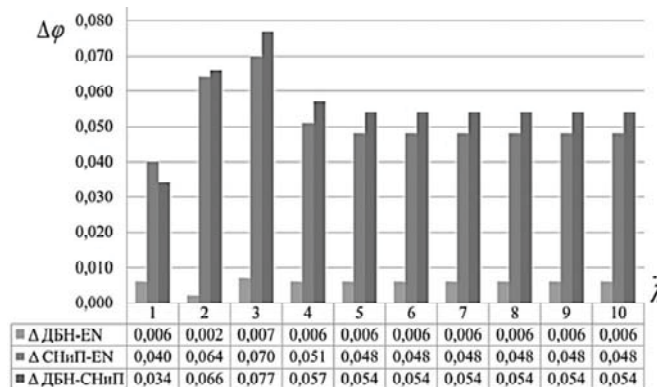


Рис. 7 – Різниця між кривими ДБН – EN, СНиП – EN і ДБН – СНиП для ЦСЕ з труби 140х6 ГОСТ 8732-78

Для ЦСЕ з двотавра найбільш близькими між собою є розрахунки за ДБН – СНиП: у середньому різниця складає 1,8%; ДБН – EN – 3,4% і СНиП – EN – 5,22%. Результати розрахунку ЦСЕ таврового перерізу за вітчизняними та європейськими стандартами майже збігаються, різницю можна помітити лише при дуже малій гнучкості, в середньому різниця складає менше ніж 1%. Порівнюючи аналогічні розрахунки за СНиП – EN, отримуємо різницю до 1,7% та для ДБН – СНиП 2,21%. Для перерізів з труби розрахунки за ДБН – EN дають майже однаковий результат.

На основі проведеного аналізу можна стверджувати, що в більшості випадків українські та європейські стандарти дають схожі результати.

На графіках (рис. 8 – 10) зображено різницю між різними кривими $\varphi - \bar{\lambda}$ за ДБН та EN і її зміну залежно від розмірів поперечних перерізів.

Проведені розрахунки ЦСЕ показують, що абсолютна різниця між кривими за ДБН та EN змінюється залежно від типу поперечного перерізу. Так, для ЦСЕ з двотавра ця різниця є найбільшою приблизно – 4% . Для труби і тавра вона складає відповідно 0,5 і 0,7%. Із зменшенням розмірів поперечних перерізів зменшується і різниця між кривими.

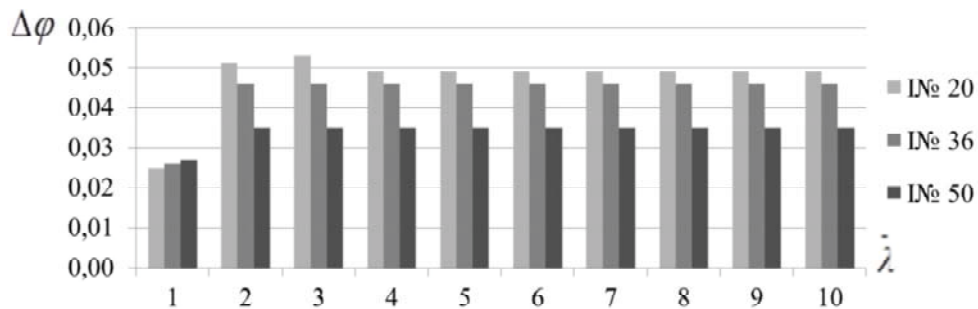


Рис. 8 – Різниця між кривими ДБН та EN для ЦСЕ з двотаврів № 10, № 40, № 60 за ГОСТ 8239-89

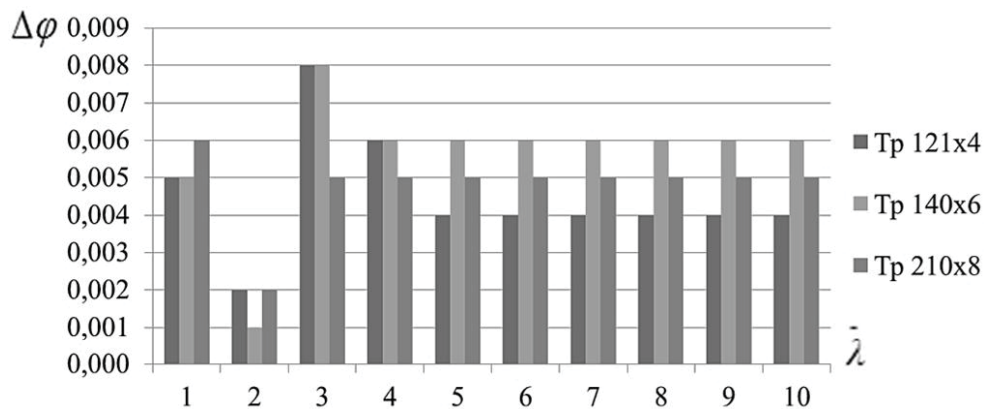


Рис. 9 – Різниця між кривими ДБН та EN при розрахунку ЦСЕ з Тр121x4, Тр140x6, Тр210x8 за ГОСТ 8732-78

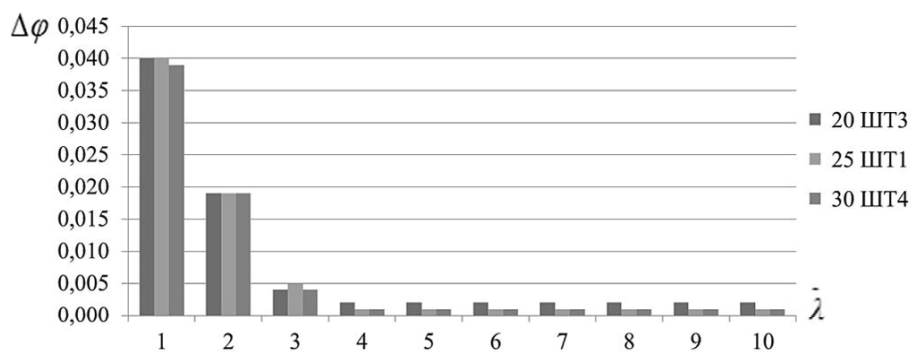


Рис. 10 – Різниця між кривими ДБН та EN для ЦСЕ з тавру 20ШТ1, 25ШТ1, 30ШТ4 за ТУ 14-2-685-86

Висновки. Розрахунки ЦСЕ за різними нормами мають відмінні результати. Кожний вид поперечного перерізу проілюстровано своєю кривою $\varphi - \bar{\lambda}$, різниця в розрахунках за ДБН і EN змінюється залежно від типу поперечного перерізу. Для двотавра вона є найбільшою – 4%, для тавра і труби – 0,5 та 0,7%. Зміна розмірів поперечного перерізу практично не впливає на загальний вид кривої $\varphi - \bar{\lambda}$, різниця між кривими ДБН – СНиП – 3,7%, СНиП – EN – 4% і ДБН – EN – 1,2%. Основні відмінності в отриманих результатах пов’язані з урахуванням класу поперечного перерізу при визначенні гнучкості, більшою кількістю кривих стійкості та знаходженням знижувального коефіцієнта. Розрахунки за Єврокодом дають більші запаси, ніж за ДБН.

Література

1. СНиП II-23-81*. *Стальные конструкции*. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
2. *Пособие по проектированию стальных конструкций* (к СНиП II-23-85* «Стальные конструкции») / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстрой СССР, 1989. – 148 с.
3. ДБН В.2.6.-163. *Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу*. – К.: Мінбуд України, 2010. – 127 с.
4. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010. *Єврокод 3: Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд*. – К.: Мінбуд України, 2011. – 150 с.
5. *Руководство для проектировщиков к Еврокоду 3: Проектирование стальных конструкций EN 1993-1-1, 1993-1-3, EN 1993-1-8*; Л. Гарднер, Д.А. Нетеркот; ред. серии Х. Гульванесян. пер. с англ. – 2 – е изд, стер. – М.: МГСУ, 2012. – 224 с.
6. *Модели сопротивления центральному сжатию стальных элементов по различным нормативным документам* / Мартынов Ю. С., Надольский В. В., Таймасов А. Н. // *Техническое нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве*. – 2013. – № 4. – С. 58 – 62.
7. *Rules for Member Stability in EN 1993-1-1* Boissonade, N., Greiner, R., Jaspert, J.-P., Lindner, J. // *Background documentation and design guidelines, ECCS Technical Committee 8 – Structural Stability, Brussels, 2006*. – P. 119.
8. Rubin, H. *Grundlage für die N-My-Mz-Interaktion von I-Querschnitten*, *Stahlbau* 69. – 2000. – Issue 10. – P. 807 – 812.
9. Kraus, M. *Zur Anwendung der Wölbkrafttorsion auf Systeme mit Wölbfedern*; – Werner-Verlag GmbH, 1993.
10. Kindmann, R. *Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit–Grundlagen, Methoden, Berechnungsverfahren, Beispiele* // Fricke, J. – Ernst & Sohn Verlag; – 2002.

Надійшла до редакції 08.04.2014
©В.М. Бібік, М.В. Бібік, І.М. Василенко