



DOI: [10.71167/uaceg.2026.590207](https://doi.org/10.71167/uaceg.2026.590207)

Получена: 09.11.2025 г.

Приета: 11.12.2025 г.

ОТНОСНО ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ИЗБЯГВАНЕ НА ПРОВЕРКАТА НА ОБЩАТА УСТОЙЧИВОСТ НА СТОМАНЕНИТЕ ГРЕДИ

Т. Георгиев¹

Ключови думи: устойчивост, огъване, проверки, греди

РЕЗИЮМЕ

В статията са разгледани начините за бърза проверка на общата устойчивост на огънати греди, както по Еврокод 3, така и по Нормите за проектиране на стоманени конструкции от 1987 година, които все още са в сила.

Направено и сравнение на резултатите по двата нормативни документа чрез числени примери.

1. Въведение

Елементите, подложени на огъване, винаги губят обща устойчивост по пространствена форма. Това прави задачата за определяне на носимоспособността при обща загуба на устойчивост особено трудна. За първи път, за често срещания случай на греда с I-сечение, тя е решена от Тимошенко в далечната 1905 година [9]. Неудобството на неговото решение е, че гредата е натоварена с два противоположни и равни по стойност момента в краищата си. Гредата няма опорни реакции, защото товарите са самоуравновесени. Това решение за определяне на критичния огъващ момент M_{cr} е класическо и е доразвивано от много автори с цел да се решат реално срещаните в практиката случаи.

Така се стига до често ползваното, но невключено в окончателната редакция на Еврокод 3 от приложение „F”. То е включено в [2 – 5].

¹ Тодор Георгиев, проф. д-р инж., кат. „Строителни конструкции“, ВСУ „Л. Каравелов“, ул. „Суходолска“ № 175, 1373 София, e-mail: georgiev.todor.d@gmail.com

В [6] подробно са обяснени причините за това отпадане, при това няколко години преди отпадането.

Съгласно изискванията на Еврокод 3, проверката на общата устойчивост на стоманените греди може да се извърши по няколко „ръчни“ начина. В практиката те се наричат „общ случай“, „алтернативен случай“ и „опростен метод“.

Трябва да се направят няколко уточнения. В Еврокод 3 [7] не съществува понятието „общ случай“ за проверка на общата устойчивост на огънати елементи“, което е получило употреба в практиката. Приетото в ЕК 3 е следното: „носимоспособност на измятане“, определена чрез „криви на измятане – общ случай“.

Същото се отнася и за т.нар. „алтернативен случай“. Приетото в ЕК 3 е следното: „носимоспособност на измятане“, определена чрез „криви на измятане за валцувани сечения, или еквивалентни заварени сечения“. В таблица 6.5 на [7] е пояснено за какви сечения става дума: валцувани I-сечения и заварени I-сечения.

Вместо „опростен метод“, също в [7], се говори за „опростени методи“. Множественото число се употребява, защото опростените методи за проверка на носимоспособността на измятане са два. И двата метода се отнасят за елементи с дискретни странични укрепвания на натиснатия пояс в отделни точки. Те дават възможност да се избегне изчисляването на критичния огъващ момент M_{cr} , което е доста сложно и не се изучава по време на следването на студентите.

Първият „опростен“ метод косвено проверява устойчивостта по формула 6.59 от [7], а вторият – по формула 6.60.

У нас има няколко публикации върху опростените методи, правени преди доста години [3 – 5, 8, 9]. Има и сполучлив опит да се приложат опростените методи и за случаите на нецентричен натиск [10].

В настоящата статия ще бъде разгледан първият от „опростените методи“, както и подобен метод, който е включен в [11]. Напомняме, че Нормите за проектиране на стоманени конструкции от 1987 год. все още не са изцяло отпаднали, поради Наредбата на МРРБ за въвеждане на системата на Еврокодовете [12]. По категоричното искане на българската камара на инженерите в инвестиционното проектиране, по т.нар. „национални норми“ остават строежите, които са частни и са по-малки (категории 3, 4 и 5 на ЗУТ). При тях частният инвеститор избира дали да се проектират по системата на Еврокодовете, или по действащите национални норми за проектиране.

2. Косвената проверка на устойчивостта на огънатите елементи съгласно Еврокод 3-1-1, по първия от т.нар. „опростени методи“

Първият „опростен метод“, съгласно 6.3.2.4 на [7] дава условията, при чието изпълнение може да не се проверяват на измятане огънатите елементи. Те са:

- Натиснатият пояс да е странично подпрян в отделни точки; това подпирание е илюстрирано на фиг. 1.
- Изпълнено е условието по формула 6.59:

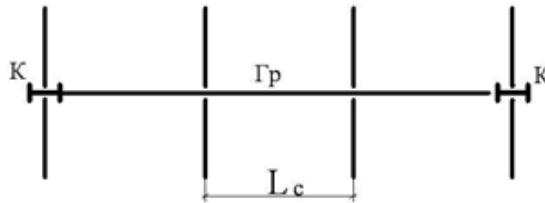
$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c,0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} . \quad (1)$$

Участващите във формула 1 величини са:

$\bar{\lambda}_f$ е условната стройност на натиснатия пояс в участъка между точките на укрепване (в българския превод тя е наречена „стройност“, в BS 3-1-1 тя е „условна“);

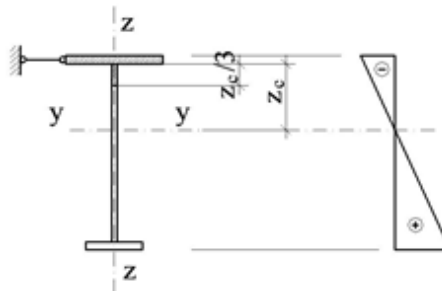
L_c – илюстрирана на фиг. 1; това е разстоянието между точките на подпиране.

k_c – корекционен коефициент на стройността на натиснатия пояс; отчита се от табл. 6.6 на [7] в зависимост от вида на моментовата диаграма между точките на странично подпиране; в тази статия – гл. таблица 1, този коефициент отчита „пълнотата“ на моментовата диаграма.



Фиг. 1. Грда с междинни укрепления на натиснатия пояс – поглед отгоре

$i_{f,z}$ – инерционният радиус на еквивалентния натиснат пояс спрямо ос z ; определя се съгласно размерите по фиг. 2;



Фиг. 2. Еквивалентен, натиснат пояс в опростените методи (по [4])

На фиг. 2 z_c е височината на натисковата зона на огънатия елемент;

$\lambda_1 = 93,9\varepsilon$ и $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$, където f_y е характеристикната стойност на границата на

провлачане;

$\bar{\lambda}_{c,0}$ – условната гранична стройност на натиснатия пояс; $\bar{\lambda}_{c,0} = 0,5$;

$\frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$ – отношението на изчислителната носимоспособност на огъване на

сечението на огънатия елемент и изчислителният огъващ момент.

Много подробен анализ на формула 1 е направен в [8] от проф. Н. Драганов. Показано е как е приета стойността на $\bar{\lambda}_{c,0}$. Освен това са направени две удобни таблици за ползване в практиката.









Формула 1 може да се представи в следния вид:

$$\lambda_{f,c} = \frac{L_c}{i_{f,z}} \leq \bar{\lambda}_{c,0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}. \quad (2)$$

Също и в този вид:

$$\lambda_{f,c} = \frac{L_c}{i_{f,z}} \leq 0,5 \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \cdot \frac{93,9\varepsilon}{k_c} = 46,95 \frac{\varepsilon}{k_c} \cdot \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}. \quad (3)$$

Таблица 1 [7]

Разпределение на момента	k_c
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

Ако се приеме в полза на сигурността, че $\frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} = 1$, тогава:

$$\frac{L_c}{i_{f,z}} \leq 46,95 \frac{\varepsilon}{k_c}. \quad (4)$$

Формула 4 може да се представи като 3 още по-опростени формули за трите най-употребявани класа стомани, както следва:

За стомана, клас S235:

$$\frac{L_c}{i_{f,z}} \leq 46,9 \frac{1}{k_c}. \quad (5)$$

За стомана, клас S275:

$$\frac{L_c}{i_{f,z}} \leq 43,3 \frac{1}{k_c}. \quad (6)$$

И за клас S355:

$$\frac{L_c}{i_{f,z}} \leq 38,1 \frac{1}{k_c} . \quad (7)$$

Като заключение може да се каже следното:

- Формули 5, 6 и 7 имат скрити резерви в отношението $\frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$, което обикновено е по-голямо от 1, тъй като якостното оразмеряване предхожда оразмеряването на устойчивост.
- Таблица 1 (тя е табл. 6.6 от [7]) се нуждае от допълване. Например, ако гредата е просто подпряна, натоварена е с равномерно разпределен товар и има едно или две междинни странични подпирания на натисковия пояс, то няма как да се отчете стойност на k_c .
- Формула 1 не държи сметка за това, къде е приложен товарът – по горния, или по долния пояс.
- Формула 1 не държи сметка за това кой от поясите е укрепен в отделни точки.

3. Възможности да не се проверява устойчивостта на греди съгласно НПСК 87 [11]

В НПСК, в чл. 49 са изброени изискванията към пълностенните греди, които трябва да бъдат изпълнени, за да не се изисква проверка на общата им устойчивост.

За греди (както валцувани, така и заварени), със или без странични укрепявания, в отделни точки се изисква да имат две оси на симетрия, или да са с малко по-развит горен пояс. Другите изисквания са свързани със съотношенията на някои от размерите на сечението:

$$1 < \frac{h_0}{b_f} < 6, \quad (8)$$

където $h_0 = h - t_f$ е разстоянието между центровете на тежестта на двата пояса; h е височината на сечението; t_f е дебелината на пояса;

$$15 \leq \frac{b_f}{t_f} \leq 35, \quad (9)$$

където b_f е широчината на поясите.

Формулите, с които се проверява дали проверката на общата устойчивост отпада, са три.

Тази, която се отнася до участък между две точки на подпирание, независимо от нивото на прилагане на товара (горен или долен пояс), както и ако моментовата диаграма между подпиранията е правоъгълна:

$$\frac{L_c}{b_f} = \left[0,41 + 0,0032 \frac{b_f}{t_f} + \left(0,73 - 0,016 \frac{b_f}{t_f} \right) \frac{b_f}{h_0} \right] \sqrt{\frac{E}{R_y}}. \quad (10)$$

Новите означения са:

E е модулът на еластичност;

R_y – т.нар. „изчислително съпротивление“ на стоманата на опън, натиск и огъване.

Има смисъла на f_y/γ_{M1} според означенията на [7].

За най-близката по свойства стомана, до стоманата клас S235 отношението

$$\sqrt{\frac{E}{R_y}} = 30,3.$$

Другите две формули се отнасят за греди без междинни укрепвания. Първата е за товар, приложен върху горния пояс (форм. 11), а втората – за товар, приложен по долния пояс (форм. 12).

$$\frac{L_c}{b_f} = \left[0,35 + 0,0032 \frac{b_f}{t_f} + \left(0,76 - 0,02 \frac{b_f}{t_f} \right) \frac{b_f}{h_0} \right] \sqrt{\frac{E}{R_y}}. \quad (11)$$

При товар, приложен върху долния пояс:

$$\frac{L_c}{b_f} = \left[0,57 + 0,0032 \frac{b_f}{t_f} + \left(0,92 - 0,02 \frac{b_f}{t_f} \right) \frac{b_f}{h_0} \right] \sqrt{\frac{E}{R_y}}. \quad (12)$$

Като заключение може да се каже следното:

- Формулите в НПСК имат по-широк обхват.
- Формулите могат да отчетат нивото на прилагане на товара.
- Прилагането на товара по долния пояс е по-благоприятно.
- Няма информация как са получени трите формули 10, 11 и 12.

4. Сравнение чрез числени примери, решени по двата нормативни документа

Пример 1:

Проста греда без междинни подпирания, дълга 6 m. Стомана, клас S235.

$M_{y,Ed} = 80$ kNm; $M_{c,Rd} = 134,2$ kNm; $b_f = 150$ mm; $t_f = 10,7$ mm; $h = 300$ mm;

$i_{f,z} = 39,5$ mm; $k_c = 0,94$; товарът е приложен върху горния пояс.

Резултат по ЕК 3: (работим с формула 5)

$$\frac{L_c}{i_{f,z}} = \frac{600}{3,95} = 151,9 > 46,9 \frac{1}{k_c} = \frac{46,95}{0,94} = 50 \text{ (общата устойчивост не е осигурена).}$$

Отчитаме резерва на формулата.

$$\frac{L_c}{i_{f,z}} = \frac{600}{3,95} = 151,9 > 46,9 \frac{1}{k_c} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} = \frac{46,95}{0,94} \frac{132,2}{80} = 124,3 \text{ (общата устойчивост не е}$$

осигурена).

Резултат по НПСК: (работим с формула 11)

$$\frac{L_c}{b_f} = \frac{600}{15} = 40.$$

$$\left[0,35 + 0,0032 \frac{b_f}{t_f} + \left(0,76 - 0,02 \frac{b_f}{t_f} \right) \frac{b_f}{h_0} \right] \sqrt{\frac{E}{R_y}} =$$

$$= \left[0,35 + 0,0032 \frac{15}{1,07} + \left(0,76 - 0,02 \frac{15}{1,07} \right) \frac{15}{28,93} \right] 30,3 =$$

$$= 19,5.$$

Следователно: $\frac{L_c}{b_f} = 40 > \left(\frac{L_c}{b_f} \right) = 19,5.$

Общата устойчивост не е осигурена.

Пример 2:

Проста греда, дълга 9 m, с две междинни подпирания през 3 m. В точките на подпирание гредата е натоварена с равни концентрирани сили. Стомана, клас S235. $M_{y,Ed} = 280 \text{ kNm}$, моментът е постоянен в средната третина; $M_{c,Rd} = 381 \text{ kNm}$; $b_f = 190 \text{ mm}$; $t_f = 14,6 \text{ mm}$; $h = 450 \text{ mm}$; $i_{f,z} = 47,6 \text{ mm}$; $k_c = 0,94$; товарът е приложен върху горния пояс.

Резултат по ЕК 3: (работим с формула 5)

$$\frac{L_c}{i_{f,z}} = \frac{300}{4,76} = 63 > 46,9 \frac{1}{k_c} = \frac{46,95}{1} = 46,95 \text{ (общата устойчивост не е осигурена).}$$

Отчитаме резерва на формулата.

$$\frac{L_c}{i_{f,z}} = 63 > 46,9 \frac{1}{k_c} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} = \frac{46,95}{1} \frac{381}{280} = 63,8 \text{ (общата устойчивост е осигурена с}$$

малък резерв).

Резултат по НПСК: (работим с формула 10)

$$\frac{L_c}{b_f} = \frac{300}{19} = 15,79.$$

$$\left[0,41 + 0,0032 \frac{b_f}{t_f} + \left(0,73 - 0,016 \frac{b_f}{t_f} \right) \frac{b_f}{h_0} \right] \sqrt{\frac{E}{R_y}} =$$

$$= \left[0,41 + 0,0032 \frac{19}{1,46} + \left(0,73 - 0,016 \frac{19}{1,46} \right) \frac{19}{43,54} \right] 30,3 =$$

$$= 20,57.$$

Следователно: $\frac{L_c}{b_f} = 15,79 < \left(\frac{L_c}{b_f} \right) = 20,57$.

Общата устойчивост е осигурена.

5. Заключение

Разгледаният първи опростен метод от Еврокод 3 е много удобен за бърза проверка на това, дали общата устойчивост на огънатия елемент е гарантирана. Ако проверката не излезе, много лесно може да се направят корекции на решението и проверката да се повтори.

Формулите от НПСК, с които се доказва, че проверка на обща устойчивост не е необходима, също са много удобни за употреба. Както и по опростения метод, ако проверката не излезе, може да се направят корекции на решението и проверката да се повтори.

При направеното фрагментарно сравнение се оказва, че по двата нормативни документа се получават сходни резултати за частните случаи, които са разгледани.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. *Varbanov, Hr.* Ustoychivost i dinamikanaelastichnitesistemi. Vtoroizdanie. Tehnika, 1975, str. 322.
2. *Venkov, L. i dr.* Rakovodstvo za proektirane na stomaneni konstruksii nasgradi po Evrokod 3. KIIP – regionalna kolegia, Sofia, 2009.
3. *Draganov, N.* Orazmeryavane na elementite na stomanenite konstruksii saglasno Evrokod 3. S., Stroitelni konstruksii, 2006, 2011.
4. *Tsachev, S.* Stomaneni stroitelni konstruksii s normativna bazapo Evrokod 3. KIIP, Sofia, 2013 i 2014.
5. *Tsachev, S.* Stomaneni stroitelni konstruksii s normativna baza po Evrokod 3. Osnovno preraboteno i dopalнено izdanie. KIIP, Sofia, 2018.
6. *Braham, M., N. Rangelov.* Obshta ustoychivost na stomaneni gredi s I-sechenie – edin komentar varhu podhodanaEvrokod 3. Stroitelstvo, br. 1, str. 2 – 9, 2001.
7. BDS EN 1993 1-1:2005; Evrokod 3: Proektirane na stomaneni konstruksii. Chast 1-1: Obshti pravila i pravila za sgradi.
8. *Draganov, N.,* Evrokod 3: BDS EN 1993-1-1, Proektirane na stomaneni konstruksii na sgradi. Komentari, primeri, preporaki, S., 2016.
9. *Zdravkov, L.* Obshta ustoychivost na stomaneni gredi pri ogavane. XIII mezhdunarodna nauchna konferentsia VSU'2013, S., 2013.
10. *Radoslavov, G.* Izsledvane na stomaneni elementi s promenljivo naprechnо sechenie, – avtoreferat na disertatsia. UASG, S., 2015.
11. Normi za proektirane na stomaneni konstruksii. KTSU, S., 1987.
12. Naredba № RD-02-20-19 ot 29 dekemvri 2011 g., za proektirane na stroitelnite konstruksii na stroezhite chrez prilagane na evropeyskata sistema za proektirane na stroitelni konstruksii, obnarodvana v DV, br. 2 ot 2012.

ON THE POSSIBILITIES FOR REDUCING THE PROCEDURE FOR CHECKING THE GENERAL STABILITY OF STEEL BEAMS

T. Georgiev¹

Keywords: steel, stability, bending, checks, beams

ABSTRACT

The paper examines the methods for quick verification of the general stability of beams, both according to Eurocode 3 and the 1987 Code for the Design of Steel Structures, which is still in use.

A comparison of the results based on the two regulatory documents is carried out through numerical examples.

¹ Todor Georgiev, Prof. Dr. Eng., University of Structural Engineering & Architecture (VSU) “Lyuben Karavelov”, 175 Suhodolska St., Sofia 1373, e-mail: georgiev.todor.d@gmail.com