



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-6:2011/Зміна № 2:20__
(EN 1993-1-6:2007/A1:2017, IDT)

ЄВРОКОД 3. ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ. ЧАСТИНА 1-6. МІЦНІСТЬ ТА СТІЙКІСТЬ ОБОЛОНОК

(Проект, перша редакція)

Київ
ДП «УкрНДНЦ»
20__

ЄВРОКОД 3. ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ.

ЧАСТИНА 1-6. МІЦНІСТЬ ТА СТІЙКІСТЬ ОБОЛОНОК (EN 1993-1-6:2007, IDT)

1. РОЗРОБЛЕНО: Технічний комітет стандартизації «Металобудівництво» (ТК 301); Товариство з обмеженою відповідальністю «Український інститут сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського»
2. ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» від _____ № ____ з 20 ____ - ____ - ____

ЄВРОПЕЙСЬКИЙ СТАНДАРТ

EN 1993-1-6:2007/A1

Квітень 2017 рік

ICS 91.010.30, 91.080.13

(Український переклад англomовної версії)

Єврокод 3.Проектування сталевих конструкцій.
Частина 1-6. Міцність та стійкість оболонок

Ця зміна A1 вносить зміни у Європейський стандарт EN 1993-1-6:2007; вона була схвалена CEN 17 січня 2017 року.

Члени CEN зобов'язані дотримуватися Внутрішніх постанов CEN/CENELEC, які передбачають умови включення цієї зміни до відповідного національного стандарту без будь-якого змінювання. Актуальні переліки та бібліографічні посилання, що стосуються таких національних стандартів, можуть бути отримані за зверненням до Центру управління CEN-CENELEC або до будь-якого члена CEN.

Ця зміна існує у трьох офіційних версіях (англійською, французькою, німецькою мовами). Версія будь-якою іншою мовою, перекладена за відповідальності члена CEN на його мову і доведена до відома Центру управління CEN-CENELEC, має той самий статус, що й офіційні версії.

Члени CEN – державні органи із стандартизації Австрії, Бельгії, Болгарії, Хорватії, Кіпру, Чеської Республіки, Данії, Естонії, Фінляндії, Республіки Македонія, Франції, Німеччини, Греції, Угорщини, Ісландії, Ірландії, Італії, Латвії, Литви, Люксембургу, Мальти, Нідерландів, Норвегії, Польщі, Португалії, Румунії, Сербії, Словаччини, Словенії, Іспанії, Швеції, Швейцарії, Туреччини та Великобританії.



ЄВРОПЕЙСЬКИЙ КОМІТЕТ ІЗ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

Центр Управління CEN-CENELEC: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels

© 2017 CEN Всі права на використання у будь-якій формі та будь-яким чином зберігаються у всьому світі за національними членами CEN.

Ref. No.: EN 1993-1-6:2007/A1:2017 E

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN 1993-1-6:2007/A1

April 2017

ICS 91.010.30; 91.080.13

English Version

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures

Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie
1-6 : Résistance et stabilité des structures en coque

Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von
Stahlbauten - Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität
von Schalen

This amendment A1 modifies the European Standard EN 1993-1-6:2007; it was approved by CEN on 17 January 2017.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for inclusion of this amendment into the relevant national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the CEN-CENELEC Management Centre or to any CEN member.

This amendment exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the CEN-CENELEC Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, Former Yugoslav Republic of Macedonia, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and United Kingdom.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels

© 2017 CEN All rights of exploitation in any form and by any means reserved worldwide for CEN national Members.

Ref. No.: EN 1993-1-6:2007/A1:2017 E

ЗМІСТ

C CONTENTS

		Pages
Передмова до Європейського стандарту.....	8	European foreword..... 8
1 Зміни до Вступу.....	10	1 Modifications to the Foreword 10
2 Зміна по тексту всього стандарту.....	10	2 Modification throughout the whole standard..... 10
3 Зміна до 1.2 «Нормативні посилання».....	11	3 Modification to 1.2, Normative references..... 11
4 Зміни до 1.3 «Терміни та визначення».....	11	4 Modifications to 1.3, Terms and definitions..... 11
5 Зміни до 1.4 «Познаки».....	14	5 Modifications to 1.4, Symbols 14
6 Зміна до 2.2.5 «Лінійно-пружний розрахунок біфуркації (ЛБР)».....	16	6 Modification to 2.2.5, Linear elastic bifurcation analysis (LBA)..... 16
7 Зміна до 2.2.6 «Геометрично нелінійний пружний розрахунок (ГНР)».....	16	7 Modification to 2.2.6, Geometrically nonlinear elastic analysis (GNA)..... 16
8 Зміна до 2.2.7 «Фізично нелінійний розрахунок (ФНР)».....	16	8 Modification to 2.2.7, Materially nonlinear analysis (MNA)..... 16
9 Зміна до 2.2.8 «Геометрично і фізично нелінійний розрахунок (ГФНР)».....	16	9 Modification to 2.2.8, Geometrically and materially nonlinear analysis (GMNA).... 16
10 Зміна до 2.2.9 «Геометрично нелінійний пружний розрахунок із врахуванням дефектів (ГННР)».....	16	10 Modification to 2.2.9, Geometrically nonlinear elastic analysis with imperfections included (GNIA)..... 16

11	Зміна до 2.2.10 «Геометрично і фізично нелінійний розрахунок із урахуванням дефектів (ГФННР)».....	18	11	Modification to 2.2.10, Geometrically and materially nonlinear analysis with imperfections included (GMNIA).....	18
12	Зміна до 3.3 «Геометричні допуски і геометричні дефекти».....	18	12	Modification to 3.3, Geometrical tolerances and geometrical imperfections...	18
13	Зміни до 4.1.1, «ГС1: Границя текучості»...	18	13	Modifications to 4.1.1, LS1: Plastic limit.....	18
14	Зміна до 4.2.2.2 «Первинні напруження».....	20	14	Modification to 4.2.2.2, Primary stresses.....	20
15	Зміна до 4.2.4 «Проектування за допомогою загального числового розрахунку».....	21	15	Modification to 4.2.4, Design by global numerical analysis.....	21
16	Зміна до 5.3 «Види розрахунку».....	22	16	Modification to 5.3, Types of analysis.....	22
17	Зміна до розділу 6 «Граничний стан пластичності (LS1)».....	22	17	Modification to Clause 6, Plastic limit state (LS1).....	22
18	Зміни до 6.2.1 «Розрахункові величини напружень».....	22	18	Modifications to 6.2.1, Design values of stresses.....	22
19	Зміни до 6.3 «Проектування шляхом загального числового ФНР або ГФНР аналізу».....	24	19	Modifications to 6.3, Design by global numerical MNA or GMNA analysis.....	24
20	Зміна до 8.2 «Спеціальні визначення і позначки».....	27	20	Modification to 8.2, Special definitions and symbols.....	27

21	Зміни до 8.5.2 «Розрахунковий опір (міцність на поздовжній згин)».....	28	21	Modifications to 8.5.2, Design resistance (buckling strength).....	28
22	Долучення нового підpunkту 8.6 «Розрахунок із застосуванням величин номінального опору».....	29	22	Addition of a new Subclause 8.6, Design using reference resistances.....	29
23	Зміни до 8.6.2 (новий номер 8.7.2) «Розрахункова величина опору».....	35	23	Modifications to 8.6.2 (new subclause number: 8.7.2), Design value of resistance...	35
24	Зміни до 8.7.2 (новий номер 8.8.2) «Розрахункове значення опору».....	40	24	Modifications to 8.7.2 (new subclause number: 8.8.2), Design value of resistance...	40
25	Зміна до додатка В (обов'язкового) «Додаткові формули опорів пластичному руйнуванню»	42	25	Modification to Annex B (normative), Additional expressions for plastic collapse resistances.....	42
26	Зміна до С.3.3 «Циліндр закріплений: рівномірний внутрішній тиск і осьове навантаження».....	42	26	Modification to C.3.3, Cylinder, pinned: uniform internal pressure with axial loading.....	42
27	Зміни до D.1.2.2 «Меридіональні параметри поздовжнього згину».....	43	27	Modifications to D.1.2.2, Meridional buckling parameters.....	43
28	Зміна до D.1.3.2 «Колові параметри поздовжнього згину».....	44	28	Modification to D.1.3.2, Circumferential buckling parameters.....	44

29	Зміна до D.1.4.2 «Параметри поздовжнього згину в випадку зсуву».....	45	29	Modification to D.1.4.2, Shear buckling parameters	45
30	Зміни до D.1.5.2 «Параметри меридіонального поздовжнього згину».....	45	30	Modifications to D.1.5.2, Pressurised meridional buckling parameters.....	45
31	Зміна до D.1.6 «Сумісна дія меридіонального (осьового) стиску, колового (обруч) стиску і зсуву».....	46	31	Modification to D.1.6, Combinations of meridional (axial) compression, circumferential (hoop) compression and shear.....	46
32	Зміни до D.4.2.2 «Меридіональний стиск».....	47	32	Modifications to D.4.2.2, Meridional compression.....	47
33	Долучення додатка Е (обов'язкового) «Формули для розрахунку номінального опору».....	48	33	Addition of a new Annex E (normative), Expressions for reference resistance design.....	48

Передмова до Європейського стандарту

Цей документ (EN 1993-1-6:2007/A1:2017) підготовлений Технічним комітетом CEN/TC 250 «Будівельні Єврокоди», секретаріат якого підтримується BSI.

Статус цієї «Зміни» до Європейського стандарту можна буде порівняти до статусу національного стандарту з публікацією ідентичного тексту або схваленням не пізніше квітня 2018 року, у цьому разі не сумісні з ним національні стандарти мають бути скасовані не пізніше квітня 2018 року.

Звертаємо увагу на те, що деякі елементи цього документа можуть бути предметом патентних прав. CEN (і/або CENELEC) не несе відповідальність за ідентифікацію будь-якого чи всіх таких патентних прав.

Цей документ був підготовлений згідно з мандатом, наданим CEN

European foreword

This document (EN 1993-1-6:2007/A1:2017) has been prepared by Technical Committee CEN/TC 250 «Structural Eurocodes», the secretariat of which is held by BSI.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by April 2018, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by April 2018.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. CEN [and/or CENELEC] shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

This document has been prepared under a mandate given

Комісією європейської спільноти і Європейською асоціацією вільної торгівлі.

Відповідно до внутрішніх постанов CEN-CENELEC цей стандарт зобов'язані прийняти національні органи стандартизації таких країн: Австрії, Бельгії, Болгарії, Хорватії, Кіпру, Чеської Республіки, Данії, Естонії, Фінляндії, Республіки Македонія, Франції, Німеччини, Греції, Угорщини, Ісландії, Ірландії, Італії, Латвії, Литви, Люксембургу, Мальти, Нідерландів, Норвегії, Польщі, Португалії, Румунії, Сербії, Словаччини, Словенії, Іспанії, Швеції, Швейцарії, Туреччини та Великобританії.

to CEN by the European Commission and the European Free Trade Association.

According to the CEN-CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, Former Yugoslav Republic of Macedonia, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and the United Kingdom.

1 Зміни до Вступу

Вступ, розділ «Національний додаток до EN 1993-1-6».
Долучити у відповідних місцях переліку такі позиції:

«– 6.2.1(6)»;

та

«– 8.6.3(5);».

Вступ, розділі «Національний додаток до EN 1993-1-6»:
замінити

«– 8.7.2 (7)

– 8.7.2 (16)

– 8.7.2 (18) (2 рази)»

на:

«– 8.8.2 (9)

– 8.8.2 (18)

– 8.8.2 (20) (2 рази)».

2 Зміна по тексту всього стандарту

Замінити « r_R » на « R ».

1 Modifications to the Foreword

In the **Foreword**, in the section «National Annex for EN 1993-1-6», **add** the following entries into the list at the appropriate places:

«– 6.2.1(6)»;

and

«– 8.6.3(5);».

In the **Foreword**, in the section «National Annex for EN 1993-1-6», **replace**:

«– 8.7.2 (7)

– 8.7.2 (16)

– 8.7.2 (18) (2 times)»

with:

«– 8.8.2 (9)

– 8.8.2 (18)

– 8.8.2 (20) (2 times)».

2 Modification throughout the whole standard

Replace « r_R » with « R ».

3 Зміна до 1.2 «Нормативні посилання»

Замінити у переліку частин EN 1993 «Частина 1.1:» на «Частина 1.1: 2005:».

4 Зміни до 1.3 «Терміни та визначення»

Підпункт 1.3.2.1.

Замінити текст на такий:

«1.3.2.1 граничний стан пластичного руйнування (ГС1)

Граничний стан за несучою здатністю, за умов якого в конструкції виникають зони пластичної деформації, через що конструкція втрачає здатність до опору навантаженням, які зростають.».

Долучити пункт 1.3.5.3:

«1.3.5.3 розрахунок за напівмембранною теорією

Розрахунок, що визначає поведінку несиметрично навантаженої або обпертої тонкостінної циліндричної оболонкової конструкції за

3 Modification to 1.2, Normative references

In the **list** of the parts of EN 1993, **replace** «Part 1.1:» with «Part 1.1:2005:».

4 Modifications to 1.3, Terms and definitions

Replace the whole Entry 1.3.2.1 with:

«1.3.2.1 plastic failure limit state (LS1)

ultimate limit state where the structure develops zones of yielding in a pattern such that its ability to resist increased loading is deemed to be exhausted.».

Add a new Entry 1.3.5.3:

«1.3.5.3 semi-membrane theory analysis

analysis that predicts the behaviour of an unsymmetrically loaded or supported thin-walled cylindrical shell structure by

припущення, що лише мембранні зусилля і згинальні моменти у кільцевому напрямку задовольняють умови рівноваги із зовнішніми навантаженнями.»;

та **замінити номер** колишнього підпункту **1.3.5.3** на **1.3.5.4**, а також нумерацію усіх наступних визначень у **1.3.5.**

Підпункт 1.3.5.6

(новий номер **1.3.5.7**).

Замінити текст на такий:

«1.3.5.7 фізично нелінійний розрахунок (ФНР)

Розрахунок на основі теорії згину оболонки для ідеальної конструкції з використанням припущення щодо малих прогинів, як в 1.3.5.4, але з урахуванням нелінійних пружно-пластичних характеристик ідеального матеріалу (абсолютно ідеалізована реакція після пластичного деформування).».

Підпункт 1.3.5.7

(новий номер **1.3.5.8**).

Замінити текст на такий:

assuming that only membrane forces and circumferential bending moments satisfy equilibrium with the external loads.»;

and **renumber** accordingly the former Entry **1.3.5.3** (as **1.3.5.4**) and the following definitions in **1.3.5.**

Replace the former **Subclause 1.3.5.6** (newly **renumbered** as **1.3.5.7**) with:

«1.3.5.7 materially nonlinear analysis (MNA)

analysis based on shell bending theory applied to the perfect structure, using the assumption of small deflections, as in 1.3.5.4, but adopting an ideal elastic plastic material law (idealised perfectly plastic response after yield).».

Replace the former **Subclause 1.3.5.7** (**newly renumbered** as **1.3.5.8**) with:

«1.3.5.8 геометрично та фізично нелінійний розрахунок (ГФНР)

Розрахунок на основі теорії згину оболонки для ідеальної конструкції з використанням припущень нелінійної теорії великих прогинів для переміщень та з урахуванням нелінійних пружно-пластичних та зміцнювальних характеристик матеріалу, де це доречно, причому на кожному етапі навантаження має бути перевірено біфуркаційне власне значення.».

Підпункт 1.3.5.9

(новий номер **1.3.5.10**)

Замінити текст на такий:

«1.3.5.10 геометрично та фізично нелінійний розрахунок з урахуванням недосконалостей (ГФННР)

Розрахунок з урахуванням недосконалостей, що базується на принципах теорії згину оболонки у випадку недосконалої конструкції (тобто геометрія середньої поверхні має непередбачувані відхилення від ідеальної форми),

«1.3.5.8 geometrically and materially nonlinear analysis (GMNA)

analysis based on shell bending theory applied to the perfect structure, using the assumptions of nonlinear large deflection theory for the displacements and a fully nonlinear elastic-plastic-hardening material law, where appropriate, and in which a bifurcation eigenvalue check is included at each load level.».

Replace the former **Subclause 1.3.5.9** (newly **renumbered** as **1.3.5.10**) with:

«1.3.5.10 geometrically and materially nonlinear analysis with imperfections included (GMNIA)

analysis with imperfections explicitly included, based on the principles of shell bending theory applied to the imperfect structure (i.e. the geometry of the middle surface includes unintended deviations from the ideal shape),

включаючи нелінійну теорію великих прогинів для переміщень, яка повністю враховує будь-яку зміну геометрії внаслідок дій на оболонку та абсолютно нелінійні пружно-пластичні й зміцнювальні характеристики матеріалу, де це доречно.

Примітка. Недосконалості також можуть враховувати ефект відхилень у граничних умовах і ефект залишкового напруження. На кожному етапі навантаження має бути перевірено біфуркаційне власне значення.».

5 Зміни до 1.4 «Познаки»

Пункт (12)

Вилучити примітку;

замінити рядок:

« α – коефіцієнт ослаблення пружного опору при оцінюванні міцності на повздовжній згин»

на такий:

« α – понижувальний коефіцієнт пружного опору для оцінювання міцності на втрату стійкості;

α_G – понижувальний коефіцієнт геометричної форми;

including nonlinear large deflection theory for the displacements that accounts fully for any change in geometry due to the actions on the shell and a fully nonlinear elastic-plastic-hardening material law, where appropriate.

Note 1 to entry: The imperfections may also include imperfections in boundary conditions and residual stresses. A bifurcation eigenvalue check is included at each load level.».

5 Modifications to 1.4, Symbols

Delete the **NOTE** in **Paragraph (12)**.

In **Paragraph (12)**, **replace** the following line:

« α – elastic imperfection reduction factor in buckling strength assessment»

with:

« α – elastic buckling reduction factor in buckling strength assessment;

α_G – geometric reduction factor;

α_1 – понижувальний коефіцієнт недосконалості;».

α_1 – imperfection reduction factor;».

Замінити рядок:

In **Paragraph (12)**, **replace** the following line:

« χ – коефіцієнт послаблення стійкості для пружно-пластичних ефектів при оцінюванні міцності на повздожній згин;»

« χ – buckling reduction factor for elastic-plastic effects in buckling strength assessment;»

на такий:

with:

« χ – понижувальний коефіцієнт втрати стійкості у пружно-пластичному стані для пружно-пластичних ефектів за умов оцінювання міцності на повздожній згин;».

« χ – elastic-plastic buckling reduction factor for elastic-plastic effects in buckling strength assessment;».

Замінити:

In **Paragraph (12)**, **replace:**

« χ_{ov} – загальний коефіцієнт послаблення опору стійкості для всієї оболонки;»

« χ_{ov} – overall buckling resistance reduction factor for complete shell;»

на:

with:

« χ_{ov} – загальний понижувальний коефіцієнт втрати стійкості у пружно-пластичному стані для всієї оболонки;».

« χ_{ov} – overall elastic-plastic buckling reduction factor for a complete shell;».

6 Зміна до 2.2.5 «Лінійно-пружний розрахунок біфуркації (ЛБР)»

Пункт (1)

Замінити «8.6 та 8.7» на «8.7 та 8.8».

7 Зміна до 2.2.6 «Геометрично нелінійний пружний розрахунок (ГНР)»

Пункт (2)

Замінити «8.7» на «8.8».

8 Зміна до 2.2.7 «Фізично нелінійний розрахунок (ФНР)»

Пункт (1)

Замінити «8.6 та 8.7» на «8.7 та 8.8».

9 Зміна до 2.2.8 «Геометрично і фізично нелінійний розрахунок (ГФНР)»

Пункти (1) та (2)

Замінити текст на такий:

«(1) Результатом розрахунку ГФНР, аналогічно до 2.2.7, є геометрично нелінійне граничне

6 Modification to 2.2.5, Linear elastic bifurcation analysis (LBA)

In **Paragraph (1)**, *replace* «8.6 and 8.7» with «8.7 and 8.8».

7 Modification to 2.2.6, Geometrically nonlinear elastic analysis (GNA)

In **Paragraph (2)**, *replace* «8.7» with «8.8».

8 Modification to 2.2.7, Materially nonlinear analysis (MNA)

In **Paragraph (1)**, *replace* «8.6 and 8.7» with «8.7 and 8.8».

9 Modification to 2.2.8, Geometrically and materially nonlinear analysis (GMNA)

Replace Paragraphs (1) and (2) with the following ones:

«(1) The result of a GMNA analysis, analogously to 2.2.7, gives the geometrically nonlinear

пластичне руйнівне навантаження для ідеальної конструкції і приріст пластичної деформації, які можна використовувати для перевірки граничних станів за несучою здатністю ГС1 і ГС2.

(2) Якщо в будь-якій частині оболонки переважають стискальні або зсувні напруження, розрахунок ГФНР дає навантаження, за якого відбувається втрата стійкості ідеальної конструкції у пружно-пластичному стані. Це навантаження за умов втрати стійкості ідеальної оболонки завжди слід визначати, коли граничний стан ГС3 перевіряють за допомогою аналізу ГФНР, див. 8.8. ».

10 Зміна до 2.2.9 «Геометрично нелінійний пружний розрахунок з урахуванням дефектів (ГННР)»

Пункт (1)

Замінити «8.7» на «8.8».

plastic failure load of the perfect structure and the plastic strain increment, that may be used for checking the limit states LS1 and LS2.

(2) Where compression or shear stresses are predominant in some part of the shell, a GMNA analysis gives the elasto-plastic buckling load of the perfect structure. This perfect shell buckling load should always be determined when the limit state LS3 is verified using GMNIA analysis, see 8.8.».

10 Modification to 2.2.9, Geometrically nonlinear elastic analysis with imperfections included (GNIA)

In **Paragraph (1)**, *replace* «8.7» with «8.8».

11 Зміна до 2.2.10 «Геометрично і фізично нелінійний розрахунок із урахуванням дефектів (ГФННР)»

Пункт (1)

Замінити «8.7» на «8.8».

11 Modification to 2.2.10, Geometrically and materially nonlinear analysis with imperfections included (GMNIA)

In **Paragraph (1)**, *replace* «8.7» with «8.8».

12 Зміна до 3.3 «Геометричні допуски і геометричні дефекти»

Пункт (3)

Замінити «8.7» на «8.8» двічі.

12 Modification to 3.3, Geometrical tolerances and geometrical imperfections

In **Paragraph (3)**, *replace* twice «8.7» with «8.8».

13 Зміни до 4.1.1 «ГС1: Границя текучості»

Підпункт (4.1.1)

Замінити заголовок на такий: «ГС1: граничний стан пластичного руйнування».

13 Modifications to 4.1.1, LS1: Plastic limit

Replace the title itself of **Subclause 4.1.1** with «LS1: Plastic failure limit state».

Пункт (1)

Замінити текст на такий:

«(1) За несучою здатністю на межі пластичного руйнування як граничний стан приймають стан, за якого здатність конструкції до опору діям вичерпана пластичністю матеріалу.

Replace Paragraph (1) with:

«(1) The limit state of the plastic failure should be taken as the condition in which the capacity of the structure to resist the actions on it is exhausted by plasticity in the material.

Опір конструкції в граничному стані пластичного руйнування слід відрізняти від номінального опору пластичним деформаціям, який виводять як навантаження пластичного руйнування, отримане з механізму, заснованого на теорії малих переміщень з використанням характеристик ідеального пружно-пластичного матеріалу.».

Пункт (3)

Замінити текст на такий:

«(3) За відсутності кріпильних отворів можна вважати, що перевірку граничного стану за несучою здатністю розриву при розтягу охоплено перевіркою граничного стану пластичного руйнування. Однак, у разі появи отворів для кріпильних виробів слід виконати додаткову перевірку відповідно до 6.2 стандарту EN 1993-1-1:2005.».

Пункт (4)

Замінити текст на такий:

«(4) Під час перевірки граничного стану пластичного руйнування

The plastic failure resistance should be distinguished from the plastic reference resistance which is derived as the plastic collapse load obtained from a mechanism based on small displacement theory using an ideal elastic-plastic material law.».

Replace Paragraph (3) with:

«(3) In the absence of fastener holes, verification at the limit state of tensile rupture may be assumed to be covered by the check for the plastic failure limit state. However, where holes for fasteners occur, a supplementary check in accordance with EN 1993-1-1:2005, 6.2 should be carried out.».

Replace Paragraph (4) with:

«(4) In verifying the plastic failure limit state, plastic or partially

можна передбачити пластичну або частково пластичну поведінку конструкції (тобто положеннями про пружну сумісність можна знехтувати).

Примітка. Оскільки граничний стан пластичного руйнування включає в себе зміну геометрії, можна відзначити, що цей граничний стан може також охоплювати миттєве випинання, яке може відбуватися в пружному стані. Номінальний опір пластичним деформаціям не включає зміну геометрії, тому цієї явної аномалії не виникає.».

14 Зміна до 4.2.2.2 «Первинні напруження»

Пункти (1) та (2)

Замінити текст на такий:

«(1) Первинні напруження слід приймати як напружений стан, необхідний для рівноваги з прикладеними навантаженнями. Їх можна обчислити за будь-якою реалістичною статично допустимою детермінованою системою. Граничний стан пластичного руйнування (ГС1) слід вважати досягнутим, якщо

plastic behaviour of the structure maybe assumed (i.e. elastic compatibility considerations may be neglected).

NOTE Since the plastic failure limit state includes change of geometry, it may be noted that this limit state may also capture snap-through buckling, which may occur in the elastic state. The plastic reference resistance does not include change of geometry, so this apparent anomaly does not occur.».

14 Modification to 4.2.2.2, Primary stresses

Replace Paragraphs (1) and (2) with:

«(1) The primary stresses should be taken as the stress system required for equilibrium with the imposed loading. They may be calculated from any realistic statically admissible determinate system. The plastic failure limit state (LS1) should be deemed to be reached when the primary stress reaches the yield strength

первинне напруження дійшло до границі текучості по всій товщині стінки в достатній кількості точок, тому лише резерв деформаційного зміцнення або зміна геометрії призведуть до збільшення опору конструкції.

(2) Обчислення первинного напруження має бути засноване на будь-якій системі інтегральних напружень, які задовольняють вимоги щодо рівноваги конструкції. У цьому випадку може також бути враховано переваги теорії пластичності. Як альтернативний варіант, оскільки лінійно-пружний розрахунок задовольняє вимоги щодо рівноваги, його оцінку також можна використовувати як надійне представлення граничного стану пластичного руйнування (ГС1). Можна застосовувати будь-який із методів розрахунку, наведених у 5.3.».

15 Зміна до 4.2.4 «Проектування за допомогою загального числового розрахунку»

Пункт (6)

Замінити «8.7» на «8.8».

throughout the full thickness of the wall at a sufficient number of points, such that only the strain hardening reserve or a change of geometry would lead to an increase in the resistance of the structure.

(2) The calculation of primary stresses should be based on any system of stress resultants, consistent with the requirements of equilibrium of the structure. It may also take into account the benefits of plasticity theory. Alternatively, since linear elastic analysis satisfies equilibrium requirements, its predictions may also be used as a safe representation of the plastic failure limit state (LS1). Any of the analysis methods given in 5.3 may be applied.».

15 Modification to 4.2.4, Design by global numerical analysis

In **Paragraph (6)**, **replace** «8.7» with «8.8».

16 Зміна до 5.3 «Види розрахунку» **16 Modification to 5.3, Types of analysis**

Таблиця 5.2

In **Table 5.2**, *replace* the row:

Замінити рядок:

«

Фізично нелінійний розрахунок (ФНР) Materially nonlinear analysis (MNA)	лінійна linear	нелінійна nonlinear	ідеальна perfect
--	-------------------	------------------------	---------------------

»

на:

with:

«

Фізично нелінійний розрахунок (ФНР) Materially nonlinear analysis (MNA)	лінійна linear	Ідеальна пружно- пластична ideal elastic-plastic	ідеальна perfect
--	-------------------	--	---------------------

»

17 Зміна до розділу 6 «Граничний стан пластичності (LS1)»

17 Modification to Clause 6, Plastic limit state (LS1)

Замінити заголовок на такий:
«Граничний стан пластичного руйнування (ГС1)».

Replace the **title** itself with
«Plastic failure limit state (LS1)».

18 Зміни до 6.2.1 «Розрахункові величини напружень»

18 Modifications to 6.2.1, Design values of stresses

Пункт (1)

Replace Paragraph (1) with:

Замінити текст на такий:

«(1) Незважаючи на те, що проектування за напруженням засноване на пружному розрахунку, а, отже, не може точно передбачати граничний стан пластичного руйнування, його

«(1) Although stress design is based on an elastic analysis and therefore cannot accurately predict the plastic failure limit state, it may be used, on the basis of the lower bound theorem, to provide a

можна використати, виходячи з теоремами щодо нижньої межі, для знаходження консервативної оцінки опору пластичному руйнуванню, яку застосовують для представлення граничного стану пластичного руйнування, див. 4.1.1.»

Пункти (5) та (6)

Замінити текст на такий:

«(5) Під час використання розрахунку за мембранною теорією або розрахунку на основі теорії лінійного згину оболонки (ЛР) отримане в результаті двовимірне поле інтегральних напружень $n_{x,Ed}$, $n_{\theta,Ed}$ та $n_{x\theta,Ed}$ може бути представлене еквівалентним розрахунковим напруженням $\sigma_{eq,Ed}$, отриманим за формулою:

$$\sigma_{eq,Ed} = \frac{1}{t} \sqrt{n_{x,Ed}^2 + n_{\theta,Ed}^2 - n_{x,Ed} \cdot n_{\theta,Ed} + 3n_{x\theta,Ed}^2} \quad (6.1)$$

(6) У разі використання розрахунку ЛР або ГНР та якщо величина найбільшого поверхневого напруження Мізеса, визначеного за формулами (6.2)–(6.4), у j разів перевищує мембранне

conservative assessment of the plastic collapse resistance which is used to represent the plastic failure limit state, see 4.1.1.»

Replace Paragraphs (5) and (6)
with:

«(5) Where a membrane theory analysis is used, or where a linear bending theory analysis (LA) is used subject to the conditions defined in (6), the resulting two-dimensional field of stress resultants $n_{x,Ed}$, $n_{\theta,Ed}$ and $n_{x\theta,Ed}$ may be represented by the equivalent design stress $\sigma_{eq,Ed}$ obtained from:

(6) Where an LA or GNA analysis is used, and the magnitude of the largest von Mises surface stress found using Formulae (6.2) to (6.4) exceeds j times the von Mises membrane stress found

напруження Мізеса, визначене з використанням формули (6.1) в тому ж місці, еквівалентне напруження слід приймати як значення, визначене за формулами (6.2)–(6.4).

using Formula (6.1) at the same location, the equivalent stress should be taken as the value determined using Formulae (6.2) to (6.4).

$$\sigma_{\text{eq,Ed}} = \sqrt{\sigma_{\text{x,Ed}}^2 + \sigma_{\text{\theta,Ed}}^2 - \sigma_{\text{x,Ed}} \cdot \sigma_{\text{\theta,Ed}} + 3\tau_{\text{x\theta,Ed}}^2} \quad (6.2)$$

де

in which:

$$\sigma_{\text{x,Ed}} = \frac{n_{\text{x,Ed}}}{t} \pm \frac{m_{\text{x,Ed}}}{(t^2 / 4)} \quad (6.3)$$

$$\sigma_{\text{\theta,Ed}} = \frac{n_{\text{\theta,Ed}}}{t} \pm \frac{m_{\text{\theta,Ed}}}{(t^2 / 4)} \quad (6.3)$$

$$\tau_{\text{x\theta,Ed}} = \frac{n_{\text{x\theta,Ed}}}{t} \pm \frac{m_{\text{x\theta,Ed}}}{(t^2 / 4)} \quad (6.4)$$

Примітка 1. Формули (6.2)–(6.4) дають спрощене консервативне еквівалентне напруження для проектування.

NOTE 1 Formulae (6.2) to (6.4) give a simplified conservative equivalent stress for design purposes.

Примітка 2. Значення j можна обирати за Національним додатком. Рекомендовано значення 3. »

NOTE 2 The National Annex may choose the value of j . The recommended value is 3.»

19 Зміни до 6.3 «Проектування шляхом загального числового ФНР або ГФНР аналізу»

19 Modifications to 6.3, Design by global numerical MNA or GMNA analysis

Пункт (1)П

Replace Paragraph (1)P with:

Замінити текст на такий:

«(1)П Розрахунковий опір пластичному руйнуванню визначають через коефіцієнт запасу міцності R_{pl} , який

«(1)P The design plastic failure resistance shall be determined as a load factor R_{pl} applied to the design values F_{Ed} of the

використовують для combination of actions for the
розрахункових значень F_{Ed} relevant load case.».
комбінацій впливів для
відповідного сполучення
навантажень.».

Пункт (3)

Замінити текст на такий:

«(3) Під час проведення розрахунку ФНР або ГФНР, заснованому на розрахунковій границі текучості f_{yd} , на оболонку мають впливати розрахункові величини сполучень навантажень, описаних у (2), із поступовим збільшенням на коефіцієнт запасу міцності R до досягнення граничного стану пластичного руйнування R_{pl} .».

Пункт (4)

Замінити «8.7» на «8.8».

Пункт (5)

Замінити текст на такий:

«(5) Під час використання розрахунку ГФНР, якщо він прогнозує максимальне навантаження, а потім його зменшення, для визначення коефіцієнта запасу міцності R_{GMNA}

Replace Paragraph (3) with:

«(3) In an MNA or GMNA analysis based on the design yield strength f_{yd} , the shell should be subject to the design values of the load cases detailed in (2), progressively increased by the load ratio R until the plastic failure condition at the load ratio R_{pl} is reached.».

In **Paragraph (4)**, **replace** «8.7» with «8.8».

Replace Paragraph (5) with:

«(5) Where a GMNA analysis is used, if the analysis predicts a maximum load followed by a descending path, the maximum value should be used to determine the load ratio R_{GMNA} . Where a

використовують максимальне значення. Якщо розрахунок ГФНР не передбачає максимального навантаження, але показує поступово зростаючу залежність «дія-переміщення» без деформаційного зміцнення матеріалу, коефіцієнт запасу міцності R_{GMNA} слід приймати не більшим ніж величина, за якої максимальна еквівалентна пластична деформація Мізеса в конструкції набуває значення $\epsilon_{mps} = n_{mps} \cdot (f_{yd}/E)$.

Примітка. У національному додатку може бути передбачено на вибір значення n_{mps} . Рекомендовано значення $n_{mps} = (66 - f_{yd}/15)$, де f_{yd} вимірюють у Мпа.».

Долучити пункт (6):

«(6) Розрахунок ГФНР не можна використовувати для визначення номінального опору пластичним деформаціям R_{pl} , який використано в розділі 8 як частину методу розрахунку ЛБР-ФНР.».

Замінити номер пункту (6) на (7), а також номери наступних пунктів відповідним чином.

GMNA analysis does not predict a maximum load, but produces a progressively rising action-displacement relationship without strain hardening of the material, the load ratio R_{GMNA} should be taken as no larger than the value at which the maximum von Mises equivalent plastic strain in the structure attains the value $\epsilon_{mps} = n_{mps} \cdot (f_{yd}/E)$.

NOTE The National Annex may choose the value of n_{mps} . The value $n_{mps} = (66 - f_{yd}/15)$, where f_{yd} is in MPa, is recommended.».

Add a new Paragraph (6):

«(6) A GMNA analysis may not be used to establish the plastic reference resistance R_{pl} , which is used in Clause 8 as part of the LBA-MNA design method.».

Renumber accordingly **Paragraph (6) (as Paragraph (7))** along with the following paragraphs.

Пункту 6 (новий номер 7)

Замінити текст на такий:

«(7) Як характеристичний опір пластичному руйнуванню $R_{pl,k}$ слід приймати R_{MNA} або R_{GMNA} відповідно до використаного розрахунку.».

Пункту (7)П

(новий номер (8)П)

Замінити текст на такий:

«(8)П Розрахунковий опір пластичному руйнуванню F_{Rd} отримують за формулою:

$$F_{Rd} = \frac{F_{Rk}}{\gamma_{M0}} = \frac{R_k \cdot F_{Ed}}{\gamma_{M0}} = R_d \cdot F_{Ed} \quad (6.7)»$$

20 Зміна до 8.2 «Спеціальні визначення і позначки»

Пункт (1)

Замінити текст на такий:

«(1) Слід використовувати спеціальні визначення термінів згідно з 1.3.7, що стосуються втрати стійкості.».

21 Зміни до 8.5.2 «Розрахунковий опір (міцність на повздожній згин)»

Пункт (1)

Replace the former **Paragraph(6)** (new **Paragraph (7)**) with:

«(7) The characteristic plastic failure resistance $R_{pl,k}$ should be taken as either R_{MNA} or R_{GMNA} according to the analysis that has been used.».

Replace the former **Paragraph (7)P** (new **Paragraph (8)P**) with:

«(8)P The design plastic failure resistance F_{Rd} shall be obtained from:

20 Modification to 8.2, Special definitions and symbols

Replace Paragraph (1) with:

«(1) Reference should be made to the special definitions of terms concerning buckling in 1.3.7.».

21 Modifications to 8.5.2, Design resistance (buckling strength)

Replace the first sentence of

Замінити перше речення на

таке:

«Опір втраті стійкості слід представляти напруженнями за втрати стійкості, як зазначено в 1.3.7.»

Пункт (3)

Замінити текст на такий:

«(3) Характеристичні напруження за умов втрати стійкості слід визначати шляхом множення характеристичної границі текучості на понижувальні коефіцієнти втрати стійкості χ у пружно-пластичному стані:

$$\sigma_{x,Rk} = \chi_x f_{yk}, \quad \sigma_{\theta,Rk} = \chi_{\theta} f_{yk}, \quad \tau_{x\theta,Rk} = \chi_{\tau} f_{yk} / \sqrt{3} \quad (8.12)»$$

Пункт (4)

Замінити текст на такий:

«Понижувальні коефіцієнти втрати стійкості у пружно-пластичному стані χ_x , χ_{θ} та χ_{τ} слід визначати як функцію умовної гнучкості оболонки $\bar{\lambda}$ за формулами:

$$\chi = \chi_h - \left(\frac{\bar{\lambda}}{\bar{\lambda}_0} \right) (\chi_h - 1), \quad \text{за умови, що (when) } \bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0 \quad (8.13)$$

$$\chi = 1 - \beta \left(\frac{\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0}{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_0} \right)^{\eta}, \quad \text{за умови, що (when) } \bar{\lambda}_0 < \bar{\lambda} < \bar{\lambda}_p \quad (8.14)$$

Paragraph (1) with:

«The buckling resistance should be represented by the buckling stresses as defined in 1.3.7.».

Replace Paragraph (3) with:

«(3) The characteristic buckling stresses should be obtained by multiplying the characteristic yield strength by the elastic-plastic buckling reduction factors χ :

Replace Paragraph (4) with:

«(4) The elastic-plastic buckling reduction factors χ_x , χ_{θ} and χ_{τ} should be determined as a function of the relative slenderness of the shell $\bar{\lambda}$ from:

$$\chi = \frac{\alpha}{\bar{\lambda}^2}, \text{ за умови, що (when) } \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda} \quad (8.15)$$

де

α – понижувальний коефіцієнт втрати стійкості у пружному стані;

β – коефіцієнт зони пластичних деформацій;

η – показник ступеня взаємодії;

$\bar{\lambda}_0$ – умовна гнучкість на границі міцності;

χ_h – границя зміцнення.».

where:

α is the elastic buckling reduction factor;

β is the plastic range factor;

η is the interaction exponent;

$\bar{\lambda}_0$ is the squash limit relative slenderness;

χ_h is the hardening limit.».

Пункт (8)

Замінити «8.6.2» на «8.7.2».

In **Paragraph (8)**, **replace** «8.6.2» with «8.7.2».

22 Долучення підпункту **8.6** «Розрахунок із застосуванням величин номінального опору»

22 Addition of a new Subclause **8.6**, **Design using reference resistances**

Долучити підрозділ **8.6**; після чого **замінити** номери підрозділів **8.6** та **8.7** на **8.7** та **8.8** відповідно, а також номери всіх **формул** у наступних за ним підрозділах відповідним чином:

Add the following new **Subclause 8.6**; then have the former **Subclauses 8.6** and **8.7** automatically **renumbered** as **8.7** and **8.8** and **renumber** all the **formulae** in the latter subclauses accordingly:

**«8.6 Розрахунок
використанням
номінального опору**

із

значень

8.6.1 Принцип

(1) Оскільки втрата стійкості не буває спричинена окремим мембранним напруженням в окремому місці, а залежить від утворення зони високих напружень, яка може включати значну пластичність, граничний стан втрати стійкості в цьому розділі представлено розрахунковим значенням дій, що додають до точки втрати стійкості та застосовують до спеціально визначених умов.

(2) Вплив мембранних і згинальних ефектів, пластичності та геометричних недосконалостей має бути включено за рахунок використання двох значень номінальних опорів і параметрів втрати стійкості.

«8.6 Design using reference resistances

8.6.1 Principle

(1) Because buckling is not controlled by a single membrane stress at a single location, but depends on the development of a zone of high stress that may include significant plasticity, the buckling limit state, within this section, is represented by the design value of the actions, augmented to the point of buckling and applied to the specific defined conditions.

(2) The influence of membrane and bending effects, of plasticity and geometric imperfections are all included in the use of the two reference resistances and the buckling parameters.

8.6.2 Розрахункові значення дій

(1) Розрахункові значення дій повинні бути прийняті відповідно до 8.1(1)П.

8.6.3 Розрахункове значення опору

(1) Розрахунковий опір втраті стійкості слід визначати виходячи з номінального критичного опору пружним деформаціям R_{cr} та номінального опору пластичним деформаціям R_{pl} для геометрії і сполучення навантажень разом з параметрами придатності α , β , η , λ_0 та χ_h , як зазначено в додатку Е.

(2) Номінальний опір пластичним деформаціям R_{pl} може бути взято з додатка В. Значення R_{pl} для даного сполучення навантажень, включаючи, в залежності від випадку, навантаження $P_{n,Ed}$, $P_{x,Ed}$, $p_{n,Ed}$, F_{Ed} тощо, повинно бути отримано у такий спосіб. Якщо є більше одного навантажувального компонента, співвідношення між різними навантажувальними компонентами повинні зберігатися у постійних пропорціях, причому

8.6.2 Design value of actions

(1) The design values of actions should be taken as in 8.1(1)P.

8.6.3 Design value of resistance

(1) The design buckling resistance should be determined from the reference elastic critical resistance R_{cr} and the reference plastic resistance R_{pl} for the geometry and load case, together with the capacity parameters α , β , η , λ_0 and χ_h as defined in Annex E.

(2) The plastic reference resistance R_{pl} may be taken from Annex B. The value of R_{pl} for a given loadcase, involving as appropriate the loading $P_{n,Ed}$, $P_{x,Ed}$, $p_{n,Ed}$, F_{Ed} , etc. should be obtained as follows. Where there is more than one loading component, the ratios between different loading components should be retained in fixed proportions, with one nominated as the leading load F_{Ed} . The plastic collapse load should

одне з них зазначають як провідне навантаження F_{Ed} . У цьому випадку навантаження пластичного руйнування повинно бути визначене для величини провідного навантаження як F_R . Коефіцієнт номінального опору пластичним деформаціям після цього має бути знайдено як відношення:

$$R_{pl} = \frac{F_R}{F_{Ed}} \quad (8.24)$$

(3) Номінальний критичний опір пружним деформаціям R_{cr} визначено у додатку E для конкретних геометричних характеристик, сполучень навантажень і граничних умов, його можна використовувати лише для цих конкретних випадків.

(4) Умовну гнучкість оболонки має бути знайдено так:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{R_{pl}}{R_{cr}}} \quad (8.25)$$

(5) Понижувальний коефіцієнт втрати стійкості χ у пружно-пластичному стані має бути визначено як функцію умовної

then be determined for the magnitude of the leading load as F_R . The plastic reference resistance should then be found as the ratio:

(3) The elastic critical reference resistance R_{cr} is defined in Annex E for specific geometries, load cases, and boundary conditions and may only be used for these specific cases.

(4) The relative slenderness of the shell should be found as:

(5) The elastic-plastic buckling reduction factor χ should be determined as a function of the relative slenderness of the shell $\bar{\lambda}$

гнучкості оболонки $\bar{\lambda}$ з таких умов: from:

$$\chi = \chi_h - (\bar{\lambda} / \bar{\lambda}_0) (\chi_h - 1), \text{ за умови, що (when) } \bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0 \quad (8.26)$$

$$\chi = 1 - \beta \left(\frac{\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0}{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_0} \right)^\eta, \text{ за умови, що (when) } \bar{\lambda}_0 < \bar{\lambda} < \bar{\lambda}_p \quad (8.27)$$

$$\chi = \frac{\alpha}{\bar{\lambda}^2}, \text{ за умови, що (when) } \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda} \quad (8.28)$$

де

α – понижувальний коефіцієнт втрати стійкості у пружному стані;

β – коефіцієнт зони пластичних деформацій;

η – показник ступеня взаємодії;

$\bar{\lambda}_0$ – умовна гнучкість на границі міцності;

χ_h – границя зміцнення.».

Примітка. Значення цих параметрів слід брати з додатка Е. Якщо в додатку Е значення цих параметрів не визначені, вони можуть бути зазначені в Національному додатку.

Формула (8.28) описує умову втрати стійкості у пружному стані з урахуванням геометричної нелінійності і геометричних недосконалостей. У цьому випадку, якщо поведінка є абсолютно пружною,

where:

α is the elastic buckling reduction factor;

β is the plastic range factor;

η is the interaction exponent;

$\bar{\lambda}_0$ is the squash limit relative slenderness;

χ_h is the hardening limit.».

NOTE The values of these parameters should be taken from Annex E. Where Annex E does not define the values of these parameters, they may be given by the National Annex.

Formula (8.28) describes the elastic buckling condition, accounting for geometric nonlinearity and geometric imperfections. In this case, where the behaviour is entirely elastic, the characteristic buckling

характеристичний опір втраті стійкості, може бути визначено, за альтернативним варіантом, безпосередньо з умови $R_k = \alpha R_{cr}$.

(6) Значення умовної гнучкості $\bar{\lambda}_p$ границі пластичності слід визначати за формулою:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha}{1-\beta}} \quad (8.29)$$

(7) Характеристичний опір оболонки слід визначати за формулою:

$$R_k = \chi R_{pl} \quad (8.30)$$

(8) Розрахунковий опір оболонки слід потім визначати за формулою:

$$R_d = R_k / \gamma_{M1} \quad (8.31)$$

8.6.4 Перевірка міцності за умов втрати стійкості

(1) Має бути виконано таку перевірку конструкції оболонки на опір дії певного навантаження:

$$R_d \geq 1 \quad (8.32)»$$

resistance may alternatively be determined directly from $R_k = \alpha R_{cr}$.

(6) The value of the plastic limit relative slenderness $\bar{\lambda}_p$ should be determined from:

(7) The characteristic resistance of the shell should be determined from:

(8) The design resistance of the shell should then be determined from:

8.6.4 Buckling strength verification

(1) The following verification of the resistance of the shell structure to the defined loading should be undertaken:

23 Зміни до 8.6.2 (новий номер підпункту 8.7.2) «Розрахункова величина опору»

23 Modifications to 8.6.2, (new subclause number: 8.7.2), Design value of resistance

Пункт (3)

Replace Paragraph (3) with:

Замінити текст на такий:

«(3) Коефіцієнт номінального опору пластичним деформаціям R_{pl} (див. рис. 8.5) має бути отриманий за допомогою фізично нелінійного розрахунку (ФНР) як граничне пластичне навантаження за умови прикладеної комбінації дій. Як коефіцієнт запасу міцності R_{pl} можна прийняти найбільше значення, отримане під час розрахунку, з використанням характеристик ідеального пружно-пластичного матеріалу.»

«(3) The plastic reference resistance ratio R_{pl} (see Figure 8.5) should be obtained by materially nonlinear analysis (MNA) as the plastic limit load under the applied combination of actions. This load ratio R_{pl} may be taken as the largest value attained in the analysis, using an ideal elastic-plastic material law.»

Пункт (4)

In Paragraph (4), **replace** the whole Formula (8.24) (to be **renumbered** as (8.33)):

Замінити всю формулу (8.24) (**замінити** номер на (8.33)):

$$\llcorner R_{Rpl} = \frac{t \cdot f_{yk}}{\sqrt{n_{x,Ed}^2 - n_{x,Ed} \cdot n_{\theta,Ed} + n_{\theta,Ed}^2 + n_{x\theta,Ed}^2}} \quad (8.24)\llcorner$$

на таку:

with

$$\llcorner R_{pl} = \frac{t \cdot f_{y,k}}{\sqrt{n_{x,Ed}^2 - n_{x,Ed} \cdot n_{\theta,Ed} + n_{\theta,Ed}^2 + 3n_{x\theta,Ed}^2}} \quad (8.33)\llcorner$$

Пункт (4). Примітка

Замінити «вираз (8.24)» на «формула (8.33)».

Пункт (8)

Замінити текст на такий:

«(8) Загальний понижувальний коефіцієнт втрати стійкості у пружно-пластичній стадії χ_{ov} має бути визначений як:

$$\chi_{ov} = f(\bar{\lambda}_{ov}, \bar{\lambda}_{ov,0}, \alpha_{ov}, \beta_{ov}, \eta_{ov}, \chi_{ov,h})$$

із застосуванням 8.5.2(4), де α_{ov} – загальний понижувальний коефіцієнт недосконалості у пружній стадії; β_{ov} – коефіцієнт зони пластичних деформацій; η_{ov} – показник ступеня взаємодії; $\chi_{ov,h}$ – границя зміцнення та $\bar{\lambda}_{ov,0}$ – умовна гнучкість на границі міцності.».

Пункт (9)

Замінити текст на такий:

«(9) Обчислюючи коефіцієнти $\bar{\lambda}_{ov,0}$, α_{ov} , β_{ov} , η_{ov} та $\chi_{ov,h}$, слід ураховувати чутливість до недосконалостей, геометричну нелінійність та інші аспекти

In Paragraph (4), in the **NOTE**, **replace** «expression (8.24)» with «Formula (8.33)».

Replace Paragraph (8) with:

«(8) The overall elastic-plastic buckling reduction factor χ_{ov} should be determined as $\chi_{ov} = f(\bar{\lambda}_{ov}, \bar{\lambda}_{ov,0}, \alpha_{ov}, \beta_{ov}, \eta_{ov}, \chi_{ov,h})$

using 8.5.2(4), in which α_{ov} is the overall elastic imperfection reduction factor, β_{ov} is the plastic range factor, η_{ov} is the interaction exponent, $\chi_{ov,h}$ is the hardening limit and $\bar{\lambda}_{ov,0}$ is the squash limit relative slenderness.».

Replace Paragraph (9) with:

«(9) The evaluation of the factors $\bar{\lambda}_{ov,0}$, α_{ov} , β_{ov} , η_{ov} and $\chi_{ov,h}$, should take account of the imperfection sensitivity, geometric nonlinearity and other aspects of the particular

конкретного випадку втрати стійкості оболонки. Консервативні значення цих параметрів мають бути визначені шляхом порівняння з відомими випадками втрати стійкості оболонки (див. додаток D), які мають схожі режими втрати стійкості, схожу чутливість до недосконалостей, схожу геометричну нелінійність, схожу чутливість до пластичних деформацій і схожу поведінку після втрати стійкості. У значенні α_{ov} також має бути враховано відповідний клас допуску якості на виготовлення.

Слід уважно поставитися до вибору відповідного значення α_{ov} за умов використання цього підходу до геометрії оболонок і сполучень навантажень, коли можлива миттєва втрата стійкості. До таких випадків відносять конічні й сферичні ковпаки і куполи під дією зовнішнього тиску або на опорах, які здатні переміщуватися радіально. Слід також уважно вибирати відповідне значення α_{ov} , якщо геометрія оболонки і

shell buckling case. Conservative values for these parameters should be determined by comparison with known shellbuckling cases (see Annex D) that have similar buckling modes, similar imperfection sensitivity, similar geometric nonlinearity, similar yielding sensitivity and similar postbuckling behaviour. The value of α_{ov} should also take account of the appropriate fabrication tolerance quality class.

Care should be taken in choosing an appropriate value of α_{ov} when this approach is used on shell geometries and loading cases where snap-through buckling may occur. Such cases include conical and spherical caps and domes under external pressure or on supports that can displace radially. The appropriate value of α_{ov} should also be chosen with care when the shell geometry and load case produce conditions that are

сполучення навантажень створюють умови, високочутливі до змін геометрії, наприклад, невідкріплені стики між циліндричними і конічними сегментами оболонки під дією меридіональних стискальних навантажень (наприклад, у димових трубах).

Зазвичай реєстровані навантаження завтрати стійкості оболонки у пружному стані у таких особливих випадках засновані на геометрично нелінійному розрахунку, застосваному до ідеальної або неідеальної геометрії, який передбачає навантаження, що викликає миттєву втрату стійкості. Навпаки, використовується тут методологія приймає навантаження лінійної біфуркації як номінальний критичний опір пружній втраті стійкості, що є часто набагато вище від навантаження за миттєвої втрати стійкості. Проектний розрахунок повинен враховувати ці два джерела зниженого опору шляхом

highly sensitive to changes of geometry, such as at unstiffened junctions between cylindrical and conical shell segments under meridional compressive loads (e.g. in chimneys).

The commonly reported elastic shell buckling loads for these special cases are normally based on geometrically nonlinear analysis applied to a perfect or imperfect geometry, which predicts the snapthrough buckling load. By contrast, the methodology used here adopts the linear bifurcation load as the reference elastic critical buckling resistance, and this is often much higher than the snap-through load. The design calculation shall account for these two sources of reduced resistance by an appropriate choice of the overall elastic buckling reduction factor α_{ov} . This choice shall include the effect of both the geometric nonlinearity (that can lead to snap-

відповідного вибору загального понижувального коефіцієнта втрати стійкості у пружній стадії α_{ov} . Цей вибір повинен враховувати ефект як геометричної нелінійності (що може призвести до миттєвої втрати стійкості), так і додаткового зменшення міцності, викликаного геометричними недосконалостями.».

Пункт (11)

Замінити текст на такий:

«(11) Якщо особливі значення α_{ov} , β_{ov} , η_{ov} , $\bar{\lambda}_{ov,0}$ та $\chi_{ov,h}$ відсутні в (9) або (10), можна прийняти значення для повздовжньо стиснутого непідкріпленого циліндра (див. D.1.2.2). Якщо існує можливість миттєвої втрати стійкості, слід розглянути відповідне подальше зменшення α_{ov} .».

through) and the additional strength reduction caused by geometric imperfections.».

Replace Paragraph (11) with:

«(11) If specific values of α_{ov} , β_{ov} , η_{ov} , $\bar{\lambda}_{ov,0}$ and $\chi_{ov,h}$ are not available according to (9) or (10), the values for an axially compressed unstiffened cylinder may be adopted, see D.1.2.2. Where snap-through is known to be a possibility, appropriate further reductions in α_{ov} should be considered.».

24 Зміни до 8.7.2 (новий номер підпункту 8.8.2) «Розрахункове значення опору»

Пункт (4)

Замінити текст на такий:

«(4) Спочатку слід виконати розрахунок ЛБР ідеальної конструкції, щоб визначити критичний коефіцієнт опору втраті стійкості ідеальної оболонки у пружній стадії R_{cr} .

(5) Після цього слід виконати розрахунок ФНР ідеальної конструкції, приймаючи ідеальні пружно-пластичні характеристики матеріалу, для визначення ідеального коефіцієнта номінального опору пластичним деформаціям R_{pl} .

(6) Ці визначені розрахунками ЛБР та ФНР коефіцієнти опору слід потім використовувати для визначення загальної умовної гнучкості $\bar{\lambda}_{ov}$ усієї оболонки згідно з формулою (8.25).».

Пункти з (5) по (27)

Замінити номери відповідно.

24 Modifications to 8.7.2 (new subclause number: 8.8.2), Design value of resistance

Replace Paragraph (4) with:

«(4) An LBA analysis should first be performed on the perfect structure to determine the elastic critical buckling resistance ratio R_{cr} of the perfect shell.

(5) An MNA analysis, adopting a perfect elastic-plastic material representation, should next be performed on the perfect structure to determine the perfect plastic reference resistance ratio R_{pl} .

(6) The LBA and MNA resistance ratios should then be used to establish the overall relative slenderness $\bar{\lambda}_{ov}$ for the complete shell according to Formula (8.25).».

Renumber accordingly the following **Paragraphs (5) to (27)**.

Пункт (15) (новий номер **(17)**)

Замінити «(13) та (14)» на «(15) та (16)».

In **Paragraph (15)** (to be **renumbered** as **(17)**), **replace** «(13) and (14)» with «(15) and (16)».

Пункт (20) (новий номер **(22)**)

Замінити «(18)» на «(20)».

In **Paragraph (20)** (to be **renumbered** as **(22)**), **replace** «(18)» with «(20)».

Пункт (22) (новий номер **(24)**).

Примітку замінити на такий пункт:

«Якщо за умов опору переважають ефекти пластичності, відношення (R_{GMNIA}/R_{GMNA}) буде значно більше ніж понижувальний коефіцієнт втрати стійкості у пружній стадії α та не може бути ніякого іншого порівняння. Проте, якщо опір, що є значною мірою пружним, визначається явищем втрати стійкості, відношення (R_{GMNIA}/R_{GMNA}) має бути лише трохи більшим за значення, отримане за розрахунком вручну, причому необхідно ретельно вивчити фактори, які призвели до істотно більшого значення.».

Replace the **NOTE** beneath **Paragraph (22)** (to be **renumbered** as **(24)**) with the following paragraph:

«Where the resistance is dominated by plasticity effects, the ratio (R_{GMNIA}/R_{GMNA}) will be much larger than the elastic buckling reduction factor α , and no close comparison can be expected. However, where the resistance is controlled by buckling phenomena that are substantially elastic, the ratio (R_{GMNIA}/R_{GMNA}) should be only a little higher than the value determined by hand calculation, and the factors that have led to any substantially higher value should be examined carefully.».

25 Зміна до додатка В (обов'язкового) «Додаткові формули опорів пластичному руйнуванню»

Назва

Замінити «Додаткові формули опорів пластичному руйнуванню»

на

«Додаткові формули номінальних опорів пластичним деформаціям»

26 Зміна до С.3.3 «Циліндр закріплений: рівномірний внутрішній тиск і осьове навантаження»

Формула для максимального еквівалентного напруження

Замінити

« Максимальне (Maximum) $\sigma_{eq,m} = \sigma_{MTx} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{MTx}}{\sigma_{MT\theta}}\right) + \left(\frac{\sigma_{MTx}}{\sigma_{MT\theta}}\right)^2}$ »

на

25 Modification to Annex B (normative), Additional expressions for plastic collapse resistances

Replace the title

«Additional expressions for plastic collapse resistances»

with

«Additional expressions for plastic reference resistances».

26 Modification to C.3.3, Cylinder, pinned: uniform internal pressure with axial loading

Replace the formula itself for the maximum equivalent stress:

with:

« Максимальне (Maximum) $\sigma_{eq,m} = \sigma_{MT\theta} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{MTx}}{\sigma_{MT\theta}}\right) + \left(\frac{\sigma_{MTx}}{\sigma_{MT\theta}}\right)^2}$ »

27 Зміни до D.1.2.2 «Меридіональні параметри поздовжнього згину» **27 Modifications to D.1.2.2, Meridional buckling parameters**

Пункт (1)

Replace Paragraph (1) with:

Замінити текст на такий:

«(1) Понижувальний коефіцієнт меридіональної втрати стійкості у пружній стадії $\alpha_x = \alpha_{xG} \alpha_{xI}$ має бути визначено як:

«(1) The meridional elastic buckling reduction factor $\alpha_x = \alpha_{xG} \alpha_{xI}$ should be obtained from:

$$\alpha_{xG} = 0,83 \quad (D.14a)$$

$$\alpha_{xI} = \frac{1}{1 + 2,2(\Delta w_k / t)^{0,88}} \quad (D.14b)$$

Коефіцієнт зони пластичних деформацій β_x має бути отримано за формулою:

The plastic range factor β_x should be obtained from:

$$\beta_x = 1 - \frac{0,95}{1 + 1,2(\Delta w_k / t)} \quad (D.14c)$$

Показник ступеня взаємодії η_x та границю зміцнення χ_{xh} слід отримувати таким чином:

The interaction exponent η_x and the hardening limit χ_{xh} should be obtained from:

$$\eta_x = \frac{5,4}{1 + 4,6(\Delta w_k / t)} \quad \text{та (and) } \chi_{xh} = 1,0 \quad (D.14d)$$

де

where:

Δw_k – амплітуда характеристичних значень недосконалості:

Δw_k is the characteristic imperfection amplitude:

$$\Delta w_k = \frac{1}{Q} \sqrt{rt} \quad (\text{D.15})$$

де

Q – параметр допуску якості на виготовлення за умов меридіонального стиску.».

Пункт (3)

Замінити текст на такий:

«(3) Гранична меридіональна гнучкість $\bar{\lambda}_{x0}$ стиснутого елемента має бути прийнята як така:

$$\bar{\lambda}_{x0} = 0,20 \quad (\text{D.16})\text{»}$$

28 Зміна до D.1.3.2 «Колові параметри поздовжнього згину»

Пункт (1)

Замінити текст на такий:

«(1) Понижувальний коефіцієнт втрати стійкості у пружній стадії за коловою формою слід приймати за таблицею D.5 відповідно до класу допуску якості на виготовлення.».

where:

Q is the meridional compression fabrication quality parameter.».

Replace Paragraph (3) with:

«(3) The meridional squash limit slenderness $\bar{\lambda}_{x0}$ should be taken as:

28 Modification to D.1.3.2, Circumferential buckling parameters

Replace Paragraph (1) with:

«(1) The circumferential elastic buckling reduction factor should be taken from Table D.5 for the specified fabrication tolerance quality class.».

29 Зміна до D.1.4.2 «Параметри поздовжнього згину в випадку зсуву»

Пункт (1)

Замінити текст на такий:

«(1) Понижувальний коефіцієнт втрати стійкості у пружній стадії за умови зсуву слід приймати за таблицею D.6 відповідно до класу допуску якості на виготовлення.».

30 Зміни до D.1.5.2 «Параметри меридіонального поздовжнього згину»

Пункт (1)

Замінити текст на такий:

«(1) Напруження меридіональної втрати стійкості від дії внутрішнього тиску слід перевіряти аналогічно до такого самого параметра, але без дії тиску, як зазначено у 8.5 і D.1.2.2. Проте понижувальний коефіцієнт втрати стійкості у пружній стадії без тиску α_x потрібно замінити на понижувальний коефіцієнт втрати стійкості у пружній стадії з урахуванням тиску α_{xp} .».

29 Modification to D.1.4.2, Shear buckling parameters

Replace Paragraph (1) with:

«(1) The shear elastic buckling reduction factor should be taken from Table D.6 for the specified fabrication tolerance quality class.».

30 Modifications to D.1.5.2, Pressurised meridional buckling parameters

Replace Paragraph (1) with:

«(1) The pressurised meridional buckling stress should be verified analogously to the unpressurised meridional buckling stress as specified in 8.5 and D.1.2.2. However, the unpressurised elastic buckling reduction factor α_x should be replaced by the pressurised elastic buckling factor α_{xp} .».

Пункт (2)

Замінити перше речення на таке:

«Понижувальний коефіцієнт втрати стійкості у пружній стадії з урахуванням тиску α_{xp} слід приймати як менше з таких двох значень:».

Пункт (3)

Пояснення до позначки під формулою (D.42).

Замінити:

« α_x – коефіцієнт зменшення меридіональної пружної деформації без урахування тиску відповідно до D.1.2.2;»

на

« α_x – понижувальний коефіцієнт втрати стійкості у пружній стадії без урахування тиску відповідно до D.1.2.2, та».

In **Paragraph (2)**, *replace* the first sentence with:

«The pressurised elastic buckling reduction factor α_{xp} should be taken as the smaller of the two following values:».

In **Paragraph (3)**, *replace* the **notation** beneath **Formula (D.42)**:

« α_x is the unpressurised meridional elastic imperfection reduction factor according to D.1.2.2,»

with:

« α_x is the unpressurised meridional elastic buckling reduction factor according to D.1.2.2, and».

31 Зміна до D.1.6 «Сумісна дія меридіонального (осьового) стиску, колового (обруч) стиску і зсуву»

Пункт (1)

Пояснення до познач під формулою (D.49).

Замінити:

« χ_x , χ_θ , χ_T – коефіцієнти зменшення поздовжнього згину, визначені в 8.5.2, з використанням параметрів поздовжнього згину, наведених у D.1.2–D.1.4.»

на таке:

« χ_x , χ_θ , χ_T – понижувальні коефіцієнти втрати стійкості у пружно-пластичній стадії, визначені в 8.5.2, з використанням параметрів втрати стійкості, наведених у D.1.2–D.1.4.»

32 Зміни до D.4.2.2 «Меридіональний стиск»

Долучити пункт (3):

«(3) Амплітуда характеристичних значень недосконалості Δw_k , які можуть бути необхідні для

31 Modification to D.1.6, Combinations of meridional (axial) compression, circumferential (hoop) compression and shear

In **Paragraph (1)**, *replace* the **notation** beneath **Formula (D.49)** with the following one:

« χ_x , χ_θ , χ_T are the buckling reduction factors defined in 8.5.2, using the buckling parameters given in D.1.2 to D.1.4.»

with:

« χ_x , χ_θ , χ_T are the elastic-plastic buckling reduction factors defined in 8.5.2, using the buckling parameters given in D.1.2 to D.1.4.»

32 Modifications to D.4.2.2, Meridional compression

Add a new Paragraph (3):

«(3) The characteristic imperfection amplitude Δw_k , which may be needed for tolerance

перевірки допуску, має бути controls, should be taken as:
прийнята як така:

$$\Delta w_k = \left(\frac{22}{Q} \right) \lambda \cdot t \quad (\text{D.70a})$$

де

Q – параметр допуску якості на виготовлення за умов меридіонального стиску,

t – місцева товщина та

λ – гнучкість оболонки. ».

where:

Q is the meridional compression fabrication quality parameter,

t is the local thickness and

λ is the shell slenderness.».

33 Долучення додатка Е (обов'язкового) «Формули для розрахунку номінального опору»

У кінці документа **долучити додаток Е:**

33 Addition of a new Annex E (normative), Expressions for reference resistance design

Add the following new **Annex E** at the end of the document:

«

Додаток Е
(обов'язковий)

**Формули для розрахунку
номінального опору**

**Е.1 Циліндричні оболонки за
умов рівномірного загального
вигину**

Е.1.1 Загальні положення

Е.1.1.1 Сфера застосування

(1) Наведені нижче правила застосовні до однорідних незакріплених циліндричних оболонок, схильних до рівномірного загального вигину.

(2) Ці правила обмежені заданими діапазонами:

$$25 \leq \frac{r}{t} \leq 3\,000$$

Е.1.1.2 Система познач

У цьому підпункті застосовано таку систему познач (див. рисунок Е.1):

r – радіус серединної поверхні циліндра;

t – рівномірна товщина циліндра;

L – довжина циліндра;

Annex E
(normative)

**Expressions for reference
resistance design**

**E.1 Cylindrical shells under
uniform global bending**

E.1.1 General

E.1.1.1 Scope

(1) The following rules apply to uniform unstiffened cylindrical shells subjected to uniform global bending.

(2) The rules are limited to the ranges given by:

(E.1)

E.1.1.2 Notation

In this subclause the following notation is used (Figure E.1):

r is the radius of the cylinder middle surface;

t is the uniform thickness of the cylinder;

L is the length of the cylinder;

M – згинальний момент, що рівномірно діє на циліндр. M is the uniform bending moment acting on the cylinder.

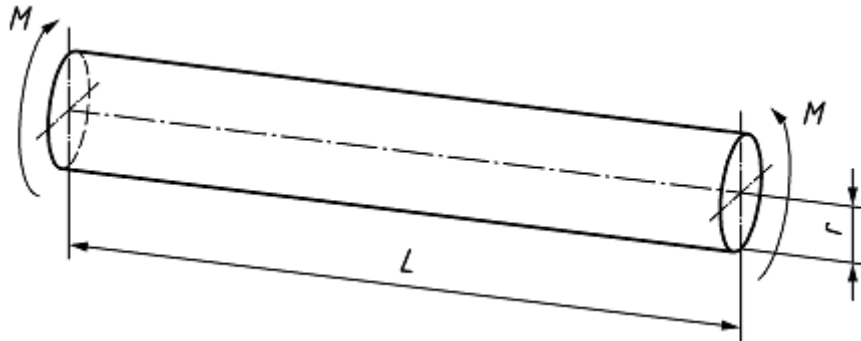


Рисунок Е.1 – Циліндр за умов загального вигину

Figure E.1 – Cylinder under global bending

Е.1.1.3 Граничні умови

(1) Наведені тут правила застосовні виключно до циліндрів з граничними умовами нерухомого затиснення кінців BC1r. Циліндри за граничних умов BC1f також можна розглядати, якщо безрозмірний параметр довжини ω є більшим за 5.

Е.1.1.4 Умови навантаження

(1) Наведені нижче правила застосовні до рівномірного загального вигину, що характеризується моментом M (див. рисунок Е.1).

E.1.1.3 Boundary conditions

(1) The rules given here are strictly applicable to cylinders with fixed end boundary conditions BC1r. Cylinders with BC1f may also be treated if the dimensionless length ω is greater than 5.

E.1.1.4 Loading conditions

(1) The following rules apply to uniform global bending characterized by the moment M (Figure E.1).

E.1.2 Опір втраті стійкості

E.1.2 Buckling resistances

E.1.2.1 Номінальний опір пластиним деформаціям

E.1.2.1 Plastic reference resistance

(1) Момент номінального опору пластичним деформаціям має бути визначено за формулою:

(1) The plastic reference moment should be obtained from:

$$M_{R,pl} = 4r^2 t f_{y,k} \quad (\text{E.2})$$

E.1.2.2 Критичний опір втраті стійкості у пружній стадії

E.1.2.2 Elastic critical buckling resistance

(1) Критичний момент втрати стійкості в пружній стадії $M_{R,cr}$ визначають за формулою:

(1) The elastic critical buckling moment $M_{R,cr}$ is given by:

$$M_{R,cr} = 1,813 C_m \frac{E}{\sqrt{1-\nu^2}} r t^2 \approx 1,90 C_m E r t^2, \quad (\text{E.3})$$

у якій коефіцієнт C_m враховує різницю між лінійним біфуркаційним значенням згинального моменту і класичним пружним критичним згинальним моментом.

where the factor C_m accounts for the difference between the linear bifurcation bending moment and the classical elastic critical bending moment.

(2) Консервативно значення C_m може бути прийняте як таке:

(2) The value of C_m may be taken conservatively as:

$$C_m = 1 + \frac{4}{\omega^2}, \quad (\text{E.4})$$

де перший безрозмірний параметр довжини визначають як:

where the first dimensionless length is given by:

$$\omega = \frac{L}{\sqrt{rt}} \quad (\text{E.5})$$

Е.1.2.3 Параметри втрати стійкості

E.1.2.3 Buckling parameters

(1) Понижувальний коефіцієнт геометричної форми α_G залежить від другого безрозмірного параметра довжини циліндра Ω , що має бути визначений як:

(1) The geometrical reduction factor α_G depends on the second dimensionless length of the cylinder Ω , which should be determined as:

$$\Omega = \frac{L}{r} \sqrt{\frac{t}{r}} = \frac{t}{r} \omega \quad (\text{E.6})$$

Значення α_G слід визначати відповідно до таблиць Е.1 та Е.2

The value of α_G should be determined according to Tables E.1 and E.2.

Таблиця Е.1– Класи довжини та значення α_G

Table E.1 – Length classes and values of α_G

Клас довжини Lengthclass	Діапазон значень ω Range of ω	Діапазон значень Ω Range of Ω	Формули для визначення α_G Expression for α_G
Короткий Short	$3 \leq \omega < 4,8$		$1,93 - 0,5(\omega - 3,8)^2 - 0,44(\omega - 3,8)^3$
Середній Medium	$4,8 \leq \omega < 0,5\left(\frac{r}{t}\right)$		Див. таблицю Е.2 See Table E.2
Проміжний варіант Transitional		$0,5 \leq \Omega < 7,0$	$1,07 \left(\frac{1 - 0,22\Omega + 0,061\Omega^{2,94}}{1 + 0,12\Omega^{2,94}} \right)$
Довгий Long		$\Omega \geq 7,0$	0,516

Таблиця Е.2– Значення α_G для циліндрів середньої довжини

Table E.2 – Values of α_G for medium length cylinders

Діапазон значень Ω Range of Ω	Формули для визначення α_G Expression for α_G
$4,8 \leq \omega < 8,6$	$0,85 + 0,029 (\omega - 7,1)^2$
$8,6 \leq \omega < 0,5 \left(\frac{r}{t} \right)$	0,92

(2) Понижувальний коефіцієнт недосконалості α_I має бути отриманий за формулою:

(2) The imperfection reduction factor α_I should be obtained from:

$$\alpha_I = \frac{1}{1 + 2,00 (\Delta w_k / t)^{0,8}}, \quad (\text{E.7})$$

де

where

Δw_k – амплітуда характеристичних значень недосконалості:

Δw_k is the characteristic imperfection amplitude:

$$\Delta w_k = \frac{1}{Q} \sqrt{rt}, \quad (\text{E.8})$$

в якому Q – параметр допуску якості на виготовлення, наведений у (3).

in which Q is the fabrication quality parameter given in Paragraph (3).

(3) Для заданої якості виготовлення параметр допуску якості на виготовлення Q слід приймати за таблицею Е.3.

(3) The fabrication quality parameter Q should be taken from Table E.3 for the specified fabrication tolerance quality.

Таблиця Е.3 – Значення параметра допуску якості на виготовлення Q

Table E.3 – Values of fabrication quality parameter Q

Клас допуску якості Quality Class	Характеристика Description	Q
Клас А Class A	відмінна якість excellent	40
Клас В Class B	висока якість high	25
Клас С Class C	нормальна якість normal	16

Примітка. Випробування труб заводського виготовлення можуть показати, що відповідне значення Q відрізняється від вищезазначеного. Відповідне значення Q може бути визначено у Національному додатку.

NOTE For manufactured tubes, tests may show that the relevant value of Q may be different from the above. The National Annex may define an appropriate value of Q.

(4) Понижувальний коефіцієнт втрати стійкості у пружній стадії α має бути визначено як такий:

(4) The elastic buckling reduction factor α should be found as:

$$\alpha = \alpha_G \alpha_1 \quad (\text{E.9})$$

(5) Коефіцієнт зони пластичної деформації β має бути визначено як такий:

(5) The plastic range factor β should be found as:

$$\beta = 1 - \frac{0,60}{1 + 1,2(\Delta w_k / t)^{0,8}} \quad (\text{E.10})$$

(6) Показник ступеня взаємодії η та межу зміцнення χ_h слід визначити як:

(6) The interaction exponent η and the hardening limit χ_h should be found as:

$$\eta = 0,65 + 0,2(\Delta w_k / t) \text{ та (and) } \chi_h = 1,0 \quad (\text{E.11})$$

(7) Умовна гнучкість λ_0 на границі міцності має бути прийнята як така:

$$\lambda_0 = 0,30 \quad (E.12)$$

E.1.2.4 Характеристичний опір втраті стійкості

(1) Характеристичний опір втраті стійкості має бути визначений згідно з 8.6.3, причому основне навантаження F_{Ed} слід прийняти як прикладений згинальний момент M_{Ed} , номінальний опір пластичним деформаціям $F_{R,pl}$ прийняти як $M_{R,pl}$ (формула (E.2)), а номінальний критичний опір $F_{R,cr}$ пружним деформаціям прийняти як $M_{R,cr}$ (формула (E.3)).

(2) Це призводить до значень опору, які визначають за виразом:

$$R_{pl} = \frac{M_{R,pl}}{M_{Ed}} \text{ та (and) } R_{cr} = \frac{M_{R,cr}}{M_{Ed}} \quad (E.13)$$

(3) Умовну гнучкість $\bar{\lambda}$ тоді визначають так:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{R_{pl}}{R_{cr}}} = \sqrt{\frac{M_{R,pl}}{M_{R,cr}}} \quad (E.14)$$

(4) Характеристичний опір втраті стійкості або момент втрати

(7) The squash limit relative slenderness λ_0 should be taken as:

E.1.2.4 Characteristic buckling resistance

(1) The characteristic buckling resistance should be determined according to 8.6.3, with the leading load F_{Ed} taken as the applied bending moment M_{Ed} , the reference plastic resistance $F_{R,pl}$ taken as $M_{R,pl}$ (Formula (E.2)) and the reference elastic critical resistance $F_{R,cr}$ taken as $M_{R,cr}$ (Formula (E.3)).

(2) This leads to the resistances evaluated as:

(3) The relative slenderness $\bar{\lambda}$ is then:

(4) The characteristic buckling resistance or the buckling moment

стійкості після цього визначають як: is then found as:

$$R_k = \chi R_{pl} \text{ або (or) } M_{R,k} = \chi M_{R,pl}, \quad (\text{E.15})$$

де χ дорівнює понижувальному коефіцієнту втрати стійкості у пружно-пластичній стадії відповідно до 8.6.3 (5).

in which:

χ = the elastic-plastic buckling reduction factor according to 8.6.3 (5).

E.1.3 Перевірка міцності за умов втрати стійкості

E.1.3 Buckling strength verification

(1) Перевірку на втрату стійкості виконують за простою формулою:

(1) The buckling verification is then simply:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{M1}} \geq 1, \quad (\text{E.16})$$

де коефіцієнт надійності γ_{M1} має бути прийнято за відповідним галузевим стандартом.

where the safety factor γ_{M1} should be taken from the appropriate application standard.

E.2 Замкнені та частково сферичні оболонки

E.2 Complete and partial spherical shells

E.2.1 Загальні положення

E.2.1 General

E.2.1.1 Сфера застосування

E.2.1.1 Scope

(1) Викладені нижче правила застосовні до сферичних оболонок і сферичних ковпаків за наявності внутрішнього вакууму або рівномірного розподіленого зовнішнього тиску та за різних

(1) The following rules apply to spherical shells and spherical caps under internal vacuum or uniform external pressure with different boundary conditions. The wall thickness of the spherical shell

граничних умов. Товщину стінки сферичної оболонки не має бути істотно змінено. Оболонка не підкріплена.

(2) Ці правила обмежені заданими діапазонами:

$$100 \leq \frac{r_s}{t} \leq 3\,000 \quad (\text{E.17})$$

$$\begin{aligned} \varphi \leq 135^\circ & \text{ (сферичні ковпаки) зі спеціальним доповненням} \\ & \text{((spherical caps) with the special addition of)} \\ \varphi = 180^\circ & \text{ (замкнена сфера) (complete sphere)} \end{aligned} \quad (\text{E.18})$$

Нижню межу діапазону φ не наведено, але найбільш плоскі сферичні ковпаки слід перевіряти шляхом розрахунку на втрату стійкості пластини. Відповідну межу застосування встановлюють шляхом перевірки за формулою (E.20).

(3) Сегменти оболонки мають бути з'єднані зварними стиковими швами або симетричними з подвійним нахлестом на болтах, або оболонка має складатися з окремого сферичного елемента без будь-яких внутрішніх з'єднань.

shouldnot vary significantly. The shell is unstiffened.

(2) The rules are limited to the ranges given by:

No lower limit on the range of ϕ is given, but very flat spherical caps should be checked by means of plate bending analysis. The test of Formula (E.20) defines the corresponding limit of application.

(3) The shell segments should be connected by welded butt-joints or by bolted symmetrical double-lapjoints or the shell should consist of a single spherical element without any interior joints.

Е.2.1.3 Умови обпирання та граничні умови

(1) Наведені нижче правила застосовні тільки до оболонок, які обпираються, як показано на рисунку Е.3, за таких граничних умов:

УО 1 (SC 1): замкнена сфера без опори або замкнена сфера з меридіональним обпиранням по всій окружності;

УО 2 (SC 2): сферичний ковпак із затиснутими кромками;

УО 3 (SC 3): сферичний ковпак із кромками, що мають обмежувачі переміщення як у меридіональному напрямку, так і перпендикулярно до серединної поверхні оболонки, та шарнірно обперті від згинання;

УО 4 (SC 4): сферичний ковпак із кромками, що мають обмежувачі переміщення у меридіональному напрямку, але є вільними у перпендикулярному напрямку до серединної поверхні оболонки та шарнірно обперті від згинання;

УО 5 (SC 5): сферичний ковпак із

E.2.1.3 Support and boundary conditions

(1) The rules given here are applicable only to shells that are supported as indicated in Figure E.3 with the following boundary conditions:

SC 1: complete sphere without support or complete sphere with meridional support around a complete circumference;

SC 2: spherical cap with clamped edges;

SC 3: spherical cap with edges with displacement restraint in both the meridional direction and normal to the shell middle surface, and flexurally pinned;

SC 4: spherical cap with edges with displacement restraint in the meridional direction, but free normal to the shell middle surface, and flexurally pinned;

SC 5: spherical cap with edges

кротками, що вільно free to displace in the plane of the
переміщуються у площині базової base circle.
окружності.

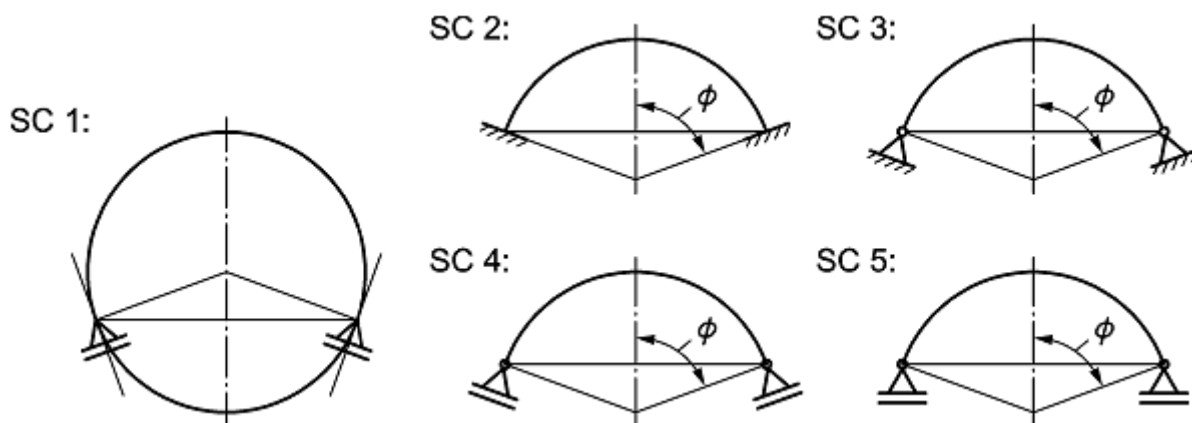


Рисунок Е.3 – Приклади різних умов обпирання

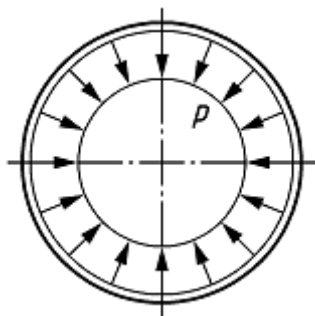
Figure E.3 – Illustrations of the different support conditions

Е.2.1.4 Умови навантаження

(1) Наведене нижче стосується лише навантаження p від рівномірно розподіленого внутрішнього вакуумного або зовнішнього тиску, що діє перпендикулярно до стінки оболонки (див. рисунок Е.4). За визначальне значення слід брати розрахункове значення різниці між величинами тиску, що діє на внутрішні та зовнішні поверхні p_{Ed} .

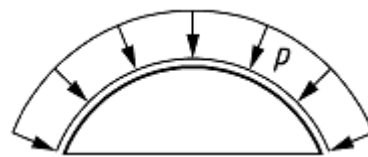
E.2.1.4 Loading conditions

(1) The following apply only to uniform internal vacuum or external pressure loading p perpendicular to the shell wall (Figure E.4). The design value of the pressure difference between the inside and outside surfaces p_{Ed} should be taken as the key value.



а) Замкнена сфера, піддана
внутрішньому вакууму або зовнішньому
тиску

a) Complete sphere subjected to internal
vacuum or external pressure



б) Сферичний ковпак, підданий
зовнішньому тиску

b) Spherical cap subjected
to external pressure

Рисунок Е.4 – Навантаження на сферичні оболонки та ковпаки

Figure E.4 – Loading on spherical shells and caps

(2) Для випадків навантаження від власної ваги або снігу викладені тут методи можна використовувати з метою отримання консервативної оцінки опору, якщо в якості максимального поверхневого навантаження, перпендикулярного до серединної поверхні оболонки, приймають значення навантаження від дії тиску p .

Е.2.2 Допуски для сферичних оболонок

(1) Геометричні допуски поділено на три класи допусків якості на виготовлення: від А до С.

(2) For the loading cases of self-weight or snow, the procedures here may be used to obtain a conservative estimate of resistance if the value of the pressure load p is taken as the maximum surface load normal to the middle surface of the shell.

Е.2.2 Tolerances for spherical shells

(1) The geometrical tolerances are classified into three Fabrication Tolerance Quality Classes A to C.

(2) Для допусків, пов'язаних із втратою стійкості, застосовують положення 8.4, приймаючи радіус r_s сферичної оболонки замість радіуса циліндра r та діаметр $2r_s$ замість діаметра циліндра d . Вимірювання вм'ятин (8.4.4) слід виконувати як у меридіональному, так і в кільцевому напрямках, використовуючи довжини калібру l_{gx} , визначені за формулою (8.6), та l_{gw} , визначені за формулою (8.8). Застосовувати довжину калібру $l_{g\theta}$, визначену за формулою (8.7), не потрібно.

(3) Для кожного класу допуску якості на виготовлення слід використовувати граничні допуски, наведені у 8.4.

Е.2.3 Розрахунок на втрату стійкості

Е.2.3.1 Обмеження на розрахунки за втратою стійкості

(1) Перевірку на втрату стійкості виконувати не потрібно в оболонках, які відповідають таким умовам:

(2) For the buckling relevant tolerances, the provisions of Subclause 8.4 apply by taking the radius r_s of the spherical shell in place of the cylinder radius r and the diameter $2r_s$ instead of the diameter d of the cylinder. The measurement of dimples (8.4.4) should be performed in both the meridional and circumferential directions using the stick lengths l_{gx} given by Formula (8.6) and l_{gw} given by Formula (8.8). It is not necessary to use the stick length $l_{g\theta}$ given by Formula (8.7) at all.

(3) The tolerance limits for each fabrication tolerance quality class given in 8.4 should be used.

Е.2.3 Buckling design

Е.2.3.1 Limitation on buckling calculations

(1) It is not necessary to check the resistance to buckling in shells that satisfy the following conditions:

сферичні оболонки, які Spherical shells that satisfy the condition:
 відповідають умові:

$$\frac{r_s}{t} \leq \frac{E}{20f_{y,k}} \cdot C_c \quad (\text{E.19})$$

і дуже плоскі сферичні ковпаки, які and very flat spherical caps that satisfy the condition:
 відповідають умові:

$$\frac{r_0}{r_s} \leq \frac{1,1}{\sqrt{r_s/t}} \quad (\text{E.20})$$

Е.2.3.2 Критичний опір втраті стійкості в пружній стадії

E.2.3.2 Elastic critical buckling resistance

(1) Критичний опір втраті стійкості в пружній стадії $p_{R, cr}$ визначають як:

(1) The elastic critical buckling pressure $p_{R,cr}$ is given by:

$$p_{R,cr} = \frac{2}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} C_c \cdot E \cdot \left(\frac{t}{r_s} \right)^2 \quad (\text{E.21})$$

де коефіцієнт C_c залежить від умов обпирання і має бути прийнятий за таблицю Е.4.

where the factor C_c depends on the support conditions and should be taken from Table E.4.

Таблиця Е.4– Значення C_c для різних умов обпирання

Table E.4 – Values of C_c for different support conditions

Умови обпирання, УО Support condition SC	УО 1 SC 1	УО 2 SC 2	УО 3 SC 3	УО 4 SC 4	УО 5 SC 5
C_c	1,0	0,8	0,7	0,4	0,1
Застосовні до Applicable for	замкнена сфера complete sphere	$\varphi \leq 135^\circ$			

Е.2.3.3 Номінальний опір пластичним деформаціям **Е.2.3.3 Plastic reference resistance**

(1) Номінальний опір пластичним деформаціям має бути визначено за формулою:

(1) The plastic reference resistance should be obtained from:

$$p_{R,pl} = f_{y,k} \cdot C_{pl} \cdot \frac{2t}{r_s} \quad (E.22)$$

де коефіцієнт C_{pl} є функцією умов обпирання і має бути прийнятий за таблицею Е.5.

in which the factor C_{pl} is a function of the support conditions and should be taken from Table E.5.

Таблиця Е.5 – Значення C_{pl} для різних умов обпирання

Table E.5 – Values of C_{pl} for different support conditions

Умови обпирання, УО Support condition SC	УО 1 SC 1	УО 2 SC 2	УО 3 SC 3	УО 4 SC 4	УО 5 SC 5
C_{pl}	1,0	0,9	0,9	0,8	0,2
Застосовні до Applicable for	замкнена сфера complete sphere	$\varphi \leq 135^\circ$			

Е.2.3.4 Параметри втрати стійкості **Е.2.3.4 Buckling parameters**

(1) Понижувальний коефіцієнт геометричної форми α_G задають як такий:

(1) The geometric reduction factor α_G is given as:

$$\alpha_G = 0,70 \quad (E.23)$$

(2) Понижувальний коефіцієнт недосконалості α_1 має бути визначено за формулою:

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + 1,90(\Delta w_k / t)^{0,75}} \quad (\text{E.24})$$

де

where:

Δw_k – амплітуда характеристичних значень недосконалостей:

Δw_k is the characteristic imperfection amplitude:

$$\Delta w_k = \frac{1}{Q} \sqrt{r_s t} \quad (\text{E.25})$$

у якій Q – параметр допуску якості на виготовлення, наведений в (3).

in which Q is the fabrication quality parameter given in Paragraph (3).

(3) Параметр допуску якості на виготовлення Q слід приймати за таблицею E.6 відповідно до класу допуску якості на виготовлення.

(3) The fabrication quality parameter Q should be taken from Table E.6 for the specified fabrication tolerance quality.

Таблиця E.6 – Значення параметра Q допуску якості на виготовлення

Table E.6 – Values of fabrication quality parameter Q

Клас допуску якості Quality Class	Характеристика Description	Q
Клас А Class A	відмінна якість excellent	40
Клас В Class B	висока якість high	25
Клас С Class C	нормальна якість normal	16

(4) Понижувальний коефіцієнт α втрати стійкості у пружній стадії має бути визначено як такий:

$$\alpha = \alpha_G \alpha_I \quad (E.26)$$

(5) Умовна гнучкість на границі міцності λ_0 , коефіцієнт зони пластичних деформацій β , показник ступеня взаємодії η та границя зміцнення χ_h мають бути прийняті як:

$$\lambda_0 = 0,20 \quad \beta = 0,70 \quad \eta = 1,0 \quad \chi_h = 1,0 \quad (E.27)$$

Е.2.3.5 Характеристичний опір втраті стійкості

(1) Характеристичний опір втраті стійкості слід визначати згідно з 8.6.3, причому провідне навантаження F_{Ed} приймають як прикладене зовнішнє навантаження p_{Ed} , номінальний опір пластичним деформаціям $F_{R,pl}$ приймають як $p_{R,pl}$ (формула (E.22)) та номінальний критичний опір пружним навантаженням $F_{R,cr}$ приймають як $p_{R,cr}$ (формула (E.21)).

(2) Це призводить до того, що значення опору оцінюють як:

(4) The elastic buckling reduction factor α should be found as:

(5) The squash limit relative slenderness λ_0 , the plastic range factor β , the interaction exponent η and the hardening limit χ_h should be taken as:

Е.2.3.5 Characteristic buckling resistance

(1) The characteristic buckling resistance should be determined according to 8.6.3, with the leading load F_{Ed} taken as the applied external pressure p_{Ed} , the reference plastic resistance $F_{R,pl}$ taken as $p_{R,pl}$ (Formula (E.22)) and the reference elastic critical resistance $F_{R,cr}$ taken as $p_{R,cr}$ (Formula (E.21)).

(2) This leads to the resistances evaluated as:

$$R_{pl} = \frac{P_{R,pl}}{P_{Ed}} \quad \text{та (and)} \quad R_{cr} = \frac{P_{R,cr}}{P_{Ed}} \quad (\text{E.28})$$

(3) Умовна гнучкість $\bar{\lambda}$ у такому разі:

(3) The relative slenderness $\bar{\lambda}$ is then:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{R_{R,pl}}{R_{R,cr}}} = \sqrt{\frac{R_{pl}}{R_{cr}}} \quad (\text{E.29})$$

(4) Характеристичний опір втраті стійкості або тиск за втрати стійкості у такому разі отримують за такими формулами:

(4) The characteristic buckling resistance or the buckling pressure is then found as:

$$R_k = \chi R_{pl} \quad \text{або (or)} \quad P_{R,k} = \chi P_{R,pl} \quad (\text{E.30})$$

в яких

in which:

χ дорівнює понижувальному коефіцієнту втрати стійкості у пружно-пластичній стадії відповідно до 8.6.3(5).

χ = the elastic-plastic buckling reduction factor according to 8.6.3(5).

Е.2.4 Перевірка міцності за умов втрати стійкості

Е.2.4 Buckling strength verification

(1) Перевірку міцності за умов втрати стійкості виконують за такою формулою:

(1) The buckling verification is then:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{M1}} \geq 1 \quad (\text{E.31})$$

у якій коефіцієнт надійності γ_{M1} слід приймати за відповідним галузевим стандартом.».

where the safety factor γ_{M1} should be taken from the appropriate application standard.».

Коди УКНД 91.010.30; 91.080.13

Ключові слова: безпека, довговічність, граничні стани, матеріали, міцність, надійність, несуча здатність, оболонки, проектування, сталеві конструкції, стійкість.

Генеральний директор
ТОВ «Укрінсталькон
ім. В.М. Шимановського»,
заслужений діяч науки і техніки України,
член-кореспондент НАНУ, д.т.н., проф.

О.В.Шимановський

Науковий керівник розробки,
заступник голови ТК 301

В.П. Адріанов

Завідувач відділу
(відповідальний виконавець)

І. І. Волков

Провідний редактор-перекладач

В.П. Гаврилова