



# НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

---

ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1:2012/Зміна № 2:20\_\_  
(EN 1993-4-1:2007/A1:2017, IDT)

## ЄВРОКОД 3. ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ. ЧАСТИНА 4-1. СИЛОСИ

*(Проект, перша редакція)*

Київ  
ДП «УкрНДНЦ»  
20\_\_

## ЄВРОКОД 3. ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ.

### ЧАСТИНА 4-1. СИЛОСИ

(EN 1993-4-1:2007, 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 1993-4-1:2007/A1**

Червень 2017 рік

ICS 65.040.20; 91.010.30, 91.080.13

(Український переклад англomовної версії)

Єврокод 3.Проектування сталевих конструкцій.  
Частина 4-1. Силоси

Ця зміна A1 вносить зміни у Європейський стандарт EN 1993-4-1:2007; вона була схвалена CEN 3 березня 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 1993-4-1:2007/A1:2017 E E

EUROPEAN STANDARD  
NORME EUROPÉENNE  
EUROPÄISCHE NORM

**EN 1993-4-1:2007/A1**

June 2017

ICS 65.040.20; 91.010.30; 91.080.13

English Version

## Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 4-1: Silos

Eurocode 3 - Calcul des structures en acier –  
Partie 4-1: Silos

Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von  
Stahlbauten - Teil 4-1: Silos

This amendment A1 modifies the European Standard EN 1993-4-1:2007; it was approved by CEN on 3 March 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 1993-4-1:2007/A1:2017 E

## ЗМІСТ

## C CONTENTS

|  |    |  | Pages |
|--|----|--|-------|
| Передмова до Європейського стандарту.....  | 7  | European foreword.....   | 7     |
| 1 Зміна до Вступу.....   | 9  | 1 Modification to the Foreword   | 9     |
| 2 Зміни до 1.2 «Нормативні посилання».....   | 9  | 2 Modifications to 1.2, Normative references .....                                     | 9     |
| 3 Зміна до 1.6.1 «Великі літери латинського алфавіту».....                             | 9  | 3 Modification to 1.6.1, Roman upper case letters .....                                | 9     |
| 4 Зміна до 1.6.2 «Малі літери латинського алфавіту».....                               | 10 | 4 Modification to 1.6.2, Roman lower case letters .....                                | 10    |
| 5 Зміна до 2.7 «Моделювання силосу для визначення наслідків дій».....                  | 10 | 5 Modification to 2.7, Modelling of the silo for determining action effects.....       | 10    |
| 6 Зміна до 2.9.1 «Загальні вимоги».....  | 10 | 6 Modification to 2.9.1, General   | 10    |
| 7 Зміна до 2.9.2.2 «Часткові коефіцієнти опору».....                                   | 11 | 7 Modification to 2.9.2.2, Partial factors for resistances.....                        | 11    |
| 8 Зміна до 2.10 «Довговічність».....   | 11 | 8 Modification to 2.10, Durability.....  | 11    |
| 9 Зміна до 4.2.2.1 «Загальні положення».....   | 11 | 9 Modification to 4.2.2.1, General.....  | 11    |
| 10 Зміна до 4.2.2.3 «Клас наслідків 2».....  | 14 | 10 Modification to 4.2.2.3, Consequence Class 2.....                                   | 14    |
| 11 Зміни до 4.4 «Еквівалентні ортотропні властивості обшивки з гофрованого листа»..... | 15 | 11 Modifications to 4.4, Equivalent orthotropic properties of corrugated sheeting..... | 15    |

|    |   |    |    |   |    |
|----|---|----|----|---|----|
| 12 | Зміни до 5.3.2.4 «Втрата стійкості під впливом осьового стиску».....  | 22 | 12 | Modifications to 5.3.2.4, Buckling under axial compression.....   | 22 |
| 13 | Зміна до 5.3.2.5 «Втрата стійкості під впливом зовнішнього тиску, часткової внутрішньої розрідженості і вітру»..... | 25 | 13 | Modification to 5.3.2.5, Buckling under external pressure, internal partial vacuum and wind.....            | 25 |
| 14 | Зміна до 5.3.2.6 «Мембранний зсув».....   | 26 | 14 | Modification to 5.3.2.6, Membrane shear.....  | 26 |
| 15 | Зміна до 5.3.3.3 Втрата стійкості під впливом осьового стиску».....   | 26 | 15 | Modification to 5.3.3.3, Buckling under axial compression.....  | 26 |
| 16 | Зміни до 5.3.4.1 «Загальні положення».....  | 33 | 16 | Modifications to 5.3.4.1, General.....  | 33 |
| 17 | Зміни до 5.3.4.2 «Граничний стан пластичності».....   | 34 | 17 | Modifications to 5.3.4.2, Plastic limit state.....  | 34 |
| 18 | Зміна до 5.3.4.3.1 «Загальні положення».....  | 35 | 18 | Modification to 5.3.4.3.1, General.....   | 35 |
| 19 | Зміни до 5.3.4.3.3 «Підкріплена стінка в якості ортотропної оболонки».....  | 36 | 19 | Modifications to 5.3.4.3.3, Stiffened wall treated as an orthotropic shell.....                             | 36 |
| 20 | Зміна до 5.3.4.3.4 «Підкріплена стінка в якості несучої осьового стиску тільки в елементах жорсткості».....         | 39 | 20 | Modification to 5.3.4.3.4, Stiffened wall treated as carrying axial compression only in the stiffeners..... | 39 |
| 21 | Зміна до 6.3.1 «Загальні положення».....  | 50 | 21 | Modification to 6.3.1, General.....   | 50 |

|    |   |    |    |  |    |
|----|---|----|----|--|----|
| 22 | Зміни до 6.3.2.5 «Місцевий вигин в зоні перехідного стику».....                             | 50 | 22 | Modifications to 6.3.2.5, Local flexure at the transition.....                     | 50 |
| 23 | Зміна до 6.3.2.7 «Втрата стійкості воронок».....  | 51 | 23 | Modification to 6.3.2.7, Buckling in hoppers.....                                  | 51 |
| 24 | Зміна до 6.4.1 «Несучі конструкції».....  | 54 | 24 | Modification to 6.4.1, Supporting structures.....                                  | 54 |
| 25 | Зміна до 8.2.2 «Перехідні стики з рівномірним обпиранням».....                              | 54 | 25 | Modification to 8.2.2, Uniformly supported transition junctions.....               | 54 |
| 26 | Зміна до 8.3.4.3 «Перехідний стик з кільцевою пластиною».....                               | 58 | 26 | Modification to 8.3.4.3, Annular plate transition junction.....                    | 58 |
| 27 | Зміна до 8.5.3 «Опорне кільце».....   | 58 | 27 | Modification to 8.5.3, Base ring.....  | 58 |
| 28 | Зміна до 9.4.1 «Загальні положення».....  | 59 | 28 | Modification to 9.4.1, General.....  | 59 |
| 29 | Зміна до 9.4.2 «Опір загальному згину в результаті прямої дії матеріалу, що зберігається»   | 59 | 29 | Modification to 9.4.2, General bending from direct action of the stored material   | 59 |
| 30 | Зміна до 9.5.1 «Сили, які виникають у внутрішніх зтяжках від тиску твердих матеріалів»..... | 61 | 30 | Modification to 9.5.1, Forces in internal ties due to solids pressure on them..... | 61 |

## **Передмова до Європейського стандарту**

Цей документ (EN 1993-4-1:2007/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 червня 2018 року, у цьому разі національні стандарти, положення яких суперечать цьому стандарту, мають бути скасовані не пізніше червня 2018 року.

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

## **European foreword**

This document (EN 1993-4-1:2007/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 June 2018, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by June 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.



Цей документ був підготовлений згідно з мандатом, наданим CEN 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.

This document has been prepared under a mandate given 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 Зміна до Вступу

Розділ «Національний додаток до EN 1993-4-1».

**Замінити** позицію

«–6.3.2.7 (3)»;

на

«–6.3.2.7 (4)».

**2 Зміни до 1.2 «Нормативні посилання»**

**Посилання на EN 1990**

**Замінити** «EN 1990» на «EN 1990: 2002» та **замінити назву** цього посилання на «Єврокод. Основи проектування конструкцій».

**Посилання на EN1993.**

У переліку **замінити** «Частина 1.6:» на «Частина 1.6:2007:».

**3 Зміна до 1.6.1 «Великі літери латинського алфавіту»**

**Замінити:**

« $R_{\phi}$  – локальний радіус на гребені або в западині гофру жорсткості»

## 1 Modifications to the Foreword

In the **Section «National Annex for EN1993-4-1»**, **replace** the following entry:

«– 6.3.2.7 (3)»;

with:

«– 6.3.2.7 (4)».

**2 Modifications to 1.2, Normative references**

In the entry dedicated to EN 1990, **replace** «EN 1990» with «EN 1990:2002» and **replace the title** of this reference with «Eurocode – Basis of structural design».

In the entry dedicated to EN 1993, in the list, replace «Part 1.6:» with «Part 1.6:2007:».

**3 Modification to 1.6.1, Roman upper case letters**

**Replace:**

« $R_{\phi}$  local radius at the crest or trough of a corrugation»

на

« $r_{\phi}$  – місцевий радіус на гребені або в западині гофру жорсткості.».

#### **4 Зміна до 1.6.2 «Малі літери латинського алфавіту»**

##### ***Замінити:***

« $l$  – довжина хвилі гофру хвилястої листової сталі;»

на

« $l$  – довжина хвилі гофрованого листа;».

#### **5 Зміна до 2.7 «Моделювання силосу для визначення наслідків дій»**

##### **Пункт (1)P**

***Замінити*** текст на такий:

«(1)P Потрібно дотримуватися загальних вимог, викладених у EN 1990.».

#### **6 Зміна до 2.9.1 «Загальні вимоги»**

##### **Пункт (1)P**

***Замінити*** текст на такий:

«(1)P Загальні вимоги, викладені в EN 1990, мають бути виконані.».

with:

« $r_{\phi}$  local radius at the crest or trough of a corrugation.».

#### **4 Modification to 1.6.2, Roman lower case letters**

##### ***Replace:***

« $l$  wave length of a corrugation in corrugated sheeting;»

with:

« $l$  wave length of a corrugation in corrugated sheeting;».

#### **5 Modification to 2.7, Modelling of the silo for determining action effects**

##### ***Replace Paragraph (1)P*** with:

«(1)P The general requirements set out in EN 1990 shall be followed.».

#### **6 Modification to 2.9.1, General**

##### ***Replace Paragraph (1)P*** with:

«(1)P The general requirements set out in EN 1990 shall be satisfied.».

### **7 Зміна до 2.9.2.2 «Часткові коефіцієнти опору»**

Після пункту (3)Р *долучити* два нові пункти (4) та (5):

«(4) Якщо гарячекатані сталеві профілі використано як частину силосної конструкції, відповідні часткові коефіцієнти опору мають бути прийняті за EN 1993-1-1.

(5) Якщо холоднокатані сталеві профілі використано як частину силосної конструкції, відповідні часткові коефіцієнти опору мають бути прийняті за EN 1993-1-3.».

### **8 Зміна до 2.10 «Довговічність»**

#### **Пункт (1)**

*Замінити* текст на такий:

«(1) Потрібно дотримуватися загальних вимог, викладених у 2.4 EN 1990:2002.».

### **9 Зміна до 4.2.2.1 «Загальні положення»**

Після пункту (2) *долучити* нові пункти з (3) по (6):

«(3) Якщо силос підлягає

### **7 Modification to 2.9.2.2, Partial factors for resistances**

*Add* two new Paragraphs (4) and (5) after Paragraph (3)P:

«(4) Where hot rolled steel sections are used as part of a silo structure, the relevant partial factors for resistance should be taken from EN 1993-1-1.

(5) Where cold-formed steel sections are used as part of a silo structure, the relevant partial factors for resistance should be taken from EN 1993-1-3.».

### **8 Modification to 2.10, Durability**

*Replace Paragraph (1)* with:

«(1) The general requirements set out in 2.4 of EN 1990:2002 should be followed.».

### **9 Modification to 4.2.2.1, General**

After Paragraph (2), *add* the following new Paragraphs (3) to (6):

«(3) Where the silo is subject to

несиметричному завантаженню сипкою масою твердих матеріалів у будь-якій формі (місцеві розподілені навантаження, вивантаження з ексцентриситетом, асиметричне заповнення тощо), конструкційна модель має охоплювати передачу мембранного зсуву в стінці силосу та між стінкою і кільцями.

**Примітка.** Передача зсуву між частинами стінки та кільцями має особливе значення в конструкціях, де застосовано болти чи інші відособлені з'єднувальні засоби (наприклад, між стінкою і воронкою, між стінкою циліндра і вертикальними елементами жорсткості або опорою, а також між різними поясами циліндра).

(4) Якщо кільцеву балку використовують для перерозподілу навантаження від стінки бункера на відособлені опори і якщо для з'єднання елементів конструкції використовують болти або інші відособлені з'єднувальні засоби, має бути визначено передачу зсуву між частинами кільця внаслідок ефекту вигину оболонки і кільцевої балки.

any form of unsymmetrical bulk solids loading (patch loads, eccentric discharge, unsymmetrical filling etc.), the structural model should be designed to capture the membrane shear transmission within the silo wall and between the wall and rings.

NOTE The shear transmission between parts of the wall and rings has special importance in construction using bolts or other discrete connectors (e.g. between the wall and hopper, between the cylinder wall and vertical stiffeners or support, and between different strakes of the cylinder).

(4) Where a ring girder is used to redistribute silo wall forces into discrete supports, and where bolts or discrete connectors are used to join the structural elements, the shear transmission between the parts of the ring due to shell bending and ring girder bending phenomena should be determined.

(5) За умови опору втраті стійкості стінок або за збільшення опору втраті стійкості оболонкової конструкції жорсткість сипкої маси твердого матеріалу, що зберігається, треба розглядати тільки на підставі раціонального аналізу і коли є чіткі докази того, що твердий матеріал не рухається відносно стінки у зазначеному місці під час вивантаження. У таких ситуаціях відповідна інформація стосовно профілю потоку, тиску в твердому матеріалі та властивостей конкретної сипкої маси твердого матеріалу, що зберігається, має бути визначена за EN 1991-4.

(6) Якщо у силосі і гофрованою оболонкою за технологією утворюється поточне виведення сипкої маси що зберігається, то твердий матеріал, який залишається у нерухомому стані в межах гофрів, не слід розглядати в (5) як нерухомий.».

(5) The stiffness of the stored bulk solid in resisting wall deformations or in increasing the buckling resistance of the shell structure should only be considered where a rational analysis is used and there is clear evidence that the solid against the wall is not in motion at the specified location during discharge. In such situations, the relevant information on the flow pattern, the pressure in the solid and the properties of the specific stored bulk solid should be determined from EN 1991-4.

(6) Where a corrugated silo exhibits mass flow, the solid held stationary within the corrugations should not be considered as stationary in (5).».

**10 Зміна до 4.2.2.3 «Клас наслідків 2»**

**10 Modification to 4.2.2.3, Consequence Class 2**

**Пункти з (10) по (12) вилучити:**

**Delete the following Paragraphs (10) to (12):**

«(10) Якщо силос підлягає будь-якому асиметричному навантаженню сипкої маси твердих матеріалів (розподіленим навантаженням, вивантаженням з ексцентриситетом, асиметричним заповненням тощо), розрахункова модель повинна охопити передачу мембранного зсуву в стінці силосу і між стіною і кільцями.

«(10) Where the silo is subject to any form of unsymmetrical bulk solids loading (patch loads, eccentric discharge, unsymmetrical filling etc.), the structural model should be designed to capture the membrane shear transmission within the silo wall and between the wall and rings.

**Примітка.** Передача зсуву між частинами стінки і кільцями має особливе значення в конструкціях, де використовуються болти і інші дискретні сполучні засоби (наприклад, між стінкою і воронкою, між окремими поясами бочки).

NOTE The shear transmission between parts of the wall and rings has special importance in construction using bolts or other discrete connectors (e.g. between the wall and hopper, between different strakes of the barrel).

(11) Якщо для перерозподілу навантаження в стінці силосу на дискретні опори використовується кільцева ферма і якщо для з'єднання елементів конструкції використовуються болти або інші дискретні сполучні засоби, необхідно визначити передачу

(11) Where a ring girder is used to redistribute silo wall forces into discrete supports, and where bolts or discrete connectors are used to join the structural elements, the shear transmission between the parts of the ring due to shell bending and ring girder bending

зсуву між частинами кільця внаслідок ефекту вигину оболонки і кільцевої ферми.

(12) За винятком випадків, коли застосовується раціональний аналіз і є чіткий доказ того, що під час розвантаження твердий матеріал не рухається відносно стінки, жорсткість сипкої маси твердого матеріалу при опорі деформаціям стінки або збільшенні опорі втраті стійкості конструкції не повинна враховуватися.».

**11 Зміни до 4.4 «Еквівалентні ортотропні властивості обшивки з гофрованого листа»**

**Рисунок 4.2 замінити** на такий:

phenomena should be determined.

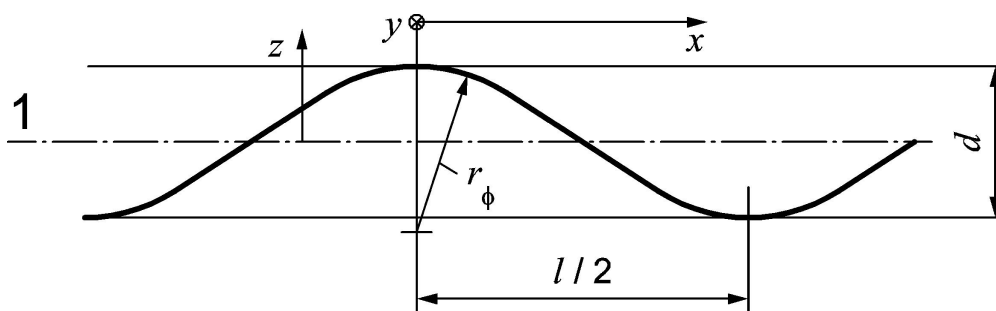
(12) Except where a rational analysis is used and there is clear evidence that the solid against the wall is not in motion during discharge, the stiffness of the bulk solid in resisting wall deformations or in increasing the buckling resistance of the structure should not be considered.».

**11 Modifications to 4.4, Equivalent orthotropic properties of corrugated sheeting**

**Replace Figure 4.2 with:**



«



Позначка:

Key

1 – ефективна середина поверхня 1 effective middle surface

Рисунок 4.2 – Профіль гофру і геометричні параметри

Figure 4.2 – Corrugation profile and geometric parameters

»

### Пункт (3)

Пояснення до умовних позначок.

**Замінити** рядки на такі:

«де

$d$  – відстань від гребеня до гребеня;

$l$  – довжина хвилі гофру;

$r_\phi$  – місцевий радіус гребеня або западини.».

### Пункт (4)

**Замінити** текст:

«(4) Усі властивості можуть наводитися як такі, що мають одну керовану координату, вони не викликають ефекти Пуассона у різних напрямках.».

**Replace** the notation lines in Paragraph (3) with:

«where:

$d$  is the crest to crest dimension;

$l$  is the wavelength of the corrugation;

$r_\phi$  is the local radius at the crest or trough.».

**Replace** Paragraph (4) :

«(4) All properties may be treated as one-dimensional, giving no Poisson effects between different directions.».

на такий:

«(4) Еквівалентні властивості листового покриття в кожному з двох основних напрямів можна розглядати як незалежні, так що деформації в одному напрямі не утворюють напружень в ортогональному напрямі (тобто ніяких ефектів Пуассона)».

### Пункт (5)

**Замінити** на такий:

«(5) Еквівалентні мембранні властивості (жорсткість за умов розтягу) можна виразити так:

$$C_x = Et_x, \quad (4.2)$$

$$C_y = Et_y, \quad (4.3)$$

$$C_{xy} = Gt_{xy}, \quad (4.4)$$

де

$t_x$  – еквівалентна товщина розмазаної жорсткості мембрани перпендикулярно до гофрів, яку визначають за формулою:

$$t_x = \frac{2t^3}{3d^2}; \quad (4.5)$$

$t_y$  – еквівалентна товщина розмазаної жорсткості мембрани

with:

«(4) The equivalent properties of the sheeting in each of the two principal directions may be treated as independent, so that strains in one direction do not produce stresses in the orthogonal direction (i.e. no Poisson effects).».

**Replace** Paragraph (5) with the following paragraph:

«(5) The equivalent membrane properties (stretching stiffnesses) may be taken as:

where:

$t_x$  is the equivalent thickness for the smeared membrane stiffness normal to the corrugations, given by:

$t_y$  is the equivalent thickness for the smeared membrane stiffness

паралельно до гофрів, яку parallel to the corrugations, given  
визначають за формулою: by:

$$t_y = t \left( 1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2} \right); \quad (4.6)$$

$t_{xy}$  – еквівалентна товщина  $t_{xy}$  is the equivalent thickness for  
розмазаної зсувної жорсткості the smeared membrane shear  
мембрани, яку визначають за stiffness, given by:  
формулою:

$$t_{xy} = \frac{t}{\left( 1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2} \right)}. \quad (4.7)»$$

#### Пункт (6)

**Replace** Paragraph (6) with:

**Замінити** текст на такий:

«(6) Еквівалентні згинальні властивості (згинальну жорсткість) визначають як границю згинальної жорсткості у моментах, що викликають згин у цьому напрямі та можуть бути виражені як:

«(6) The equivalent bending properties (flexural stiffnesses) are defined in terms of the flexural rigidity for moments causing bending stresses in that direction, and may be taken as:

$$D_x = EI_x, \quad (4.8)$$

$$D_y = EI_y, \quad (4.9)$$

$$D_{xy} = GI_{xy}, \quad (4.10)$$

де

where:

$I_x$  – еквівалентний момент інерції площі перерізу на одиницю ширини для розмазаної згинальної

$I_x$  is the equivalent second moment of area per unit width for the smeared bending stiffness

жорсткості перпендикулярно perpendicular to the corrugations,  
гофрам, що визначають за given by:

формулою:

$$I_x = \frac{t^3}{12(1-\nu^2)} \frac{1}{\left(1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2}\right)}; \quad (4.11)$$

$I_y$  – еквівалентний момент інерції площі перерізу на одиницю ширини для розмазаної згинальної жорсткості паралельно гофрам. Для гофрованих профілів, описаних у 4.4(2), він може бути прийнятий як:

$I_y$  is the equivalent second moment of area per unit width for the smeared bending stiffness parallel to the corrugations. For the corrugated profiles described in 4.4(2), it may be taken as:

$$I_y = \frac{td^2}{8} \left(1 + \frac{\pi^2 d^2}{8l^2}\right); \quad (4.12)$$

$I_{xy}$  – еквівалентний момент інерції площі перерізу на одиницю ширини для розмазаної жорсткості за крутильною формою:

$I_{xy}$  is the equivalent second moment of area per unit width for the smeared twisting stiffness:

$$I_{xy} = \frac{t^3}{12} \left(1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2}\right). \quad (4.13)$$

**Примітка.** Умовне позначення згинальних моментів у пластинах стосується напрямку, в якому формується кривизна пластини, тобто воно протилежне до позначення, яке застосовують для балок. Вигин паралельно гофрам пов'язаний із згинальною жорсткістю гофрованого

**NOTE** The convention for bending moments in plates relates to the direction in which the plate becomes curved, so is contrary to the convention used for beams. Bending parallel to the corrugation engages the bending stiffness of the corrugated profile, induces stresses parallel to the

профілю, викликає напруження паралельно гофрам та є головною причиною для застосування гофрованих конструкцій.».

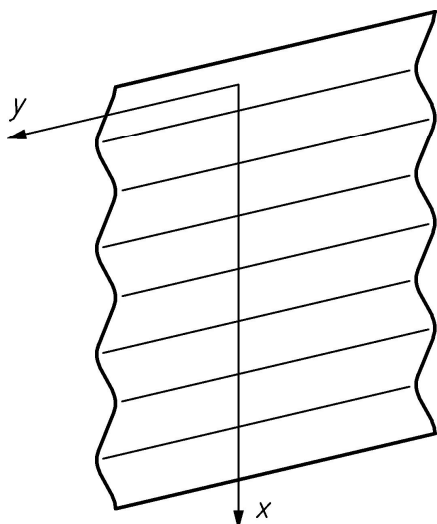
**Пункт (7) замінити** на такий текст і рисунок:

«(7) В круглих силосах гофри зазвичай розташовані по колу. За такого розташування напрями  $x$  та  $y$  в наведених вище виразах мають бути прийняті як вертикальний  $x$  та кільцевий  $\theta$  напрями, відповідно, див. рисунок 4.3 а). За менш поширеного розташування, за якого гофри спрямовані вертикально, напрями  $x$  та  $y$  в вищезазначених виразах слід приймати як кільцевий  $\theta$  та вертикальний  $x$  напрями, відповідно, див. рисунок 4.3 б).

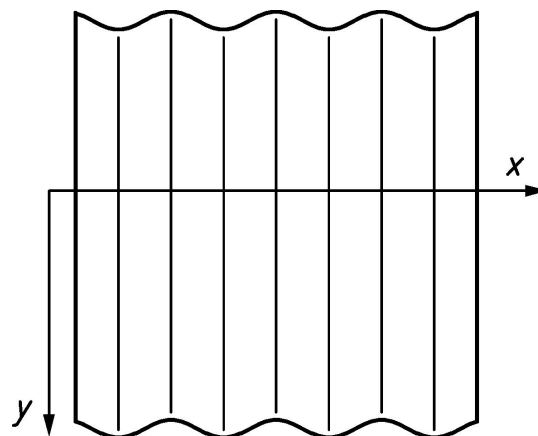
corrugation, and is the chief reason for using corrugated construction.».

**Replace Paragraph (7)** with the following text and figure:

«(7) In circular silos, the corrugations are commonly arranged to run circumferentially. In this arrangement, the directions  $x$  and  $y$  in the above expressions should be taken as the vertical  $x$  and circumferential directions respectively, see Figure 4.3 a). In the less common arrangement in which the corrugations run vertically, the directions  $x$  and  $y$  in the above expressions should be taken as the circumferential  $\theta$  and vertical  $x$  directions respectively, see Figure 4.3 b).



а) Горизонтальне розташування гофрів  
a) Corrugations running horizontally



б) Вертикальне розташування гофрів  
b) Corrugations running vertically

**Рисунок 4.3** – Розташування гофрованого листа стінки силосу  
**Figure 4.3** – Corrugated sheeting and silo wall orientations

»

### Пункт (9)

**Замінити** текст на такий:

«(9) В прямокутних силосах гофри зазвичай бувають розташовані горизонтально. За такого розташування напрями  $x$  та  $y$  в наведених вище виразах мають бути прийняті як вертикальний  $x$  та горизонтальний  $y$  напрями, відповідно; див. рисунок 4.3 а). За менш поширеного розташування, за якого гофри спрямовані вертикально, напрями  $x$  та  $y$  в наведених вище виразах мають

**Replace** Paragraph (9) with the following text:

«(9) In rectangular silos, the corrugations are commonly arranged to run horizontally. In this arrangement, the directions  $x$  and  $y$  in the above expressions should be taken as the vertical  $x$  and horizontal  $y$  directions respectively, see Figure 4.3 a). In the less common arrangement where the corrugations run vertically, the directions  $x$  and  $y$  in the above expressions should be

бути переставлені місцями на реальній конструкції та прийняті як вертикальний  $y$  та горизонтальний  $x$  відповідно, див. рисунок 4.3 b).».

interchanged on the real structure and taken as the vertical  $y$  and horizontal  $x$  directions respectively, see Figure 4.3 b).».

## 12 Зміни до 5.3.2.4 «Втрата стійкості під впливом осьового стиску»

## 12 Modifications to 5.3.2.4, Buckling under axial compression

**Пункт (4)**  
**Замінити формулу (5.15)** на таку:

In **Paragraph (4)**, **replace Formula (5.15)** with:

$$\alpha_0 = \frac{0,83}{1 + 2,2\psi(w_{ok}/t)^{0,88}} \quad (5.15)»$$

**Пункт (7)**

**Replace Paragraph (7)** with:

**Замінити** текст на такий:

«(7) Понижувальний коефіцієнт пластичної деформації за надмірного тиску  $\alpha_{pp}$  має базуватися на найбільшому місцевому внутрішньому тиску  $p_g$  за місцем розташування точки, що підлягає оцінюванню, де місцева товщина дорівнює  $t$ , та одночасно на значенні місцевого осьового стиску, який може спричинити втрату стійкості:

«(7) The plastic pressurised imperfection reduction factor  $\alpha_{pp}$  should be based on the largest local internal pressure  $p_g$  at the location of the point being assessed where the local thickness is  $t$ , and coexistent with the local value of axial compression that may cause buckling:

$$\alpha_{pp} = \left\{ 1 - \left( \frac{\bar{p}_g}{\bar{\lambda}_x^2} \right) \right\} \left[ 1 - \frac{1}{1,12 + s^{3/2}} \right] \left[ \frac{s^2 + 1,21\bar{\lambda}_x^2}{s(s+1)} \right], \quad (5.18)$$

за умов, що

with:

$$\bar{p}_g = \frac{p_g}{\sigma_{x,Rcr}} \cdot \frac{r}{t}, \quad (5.19)$$

$$s = \left( \frac{1}{400} \right) \left( \frac{r}{t} \right), \quad (5.20)$$

$$\bar{\lambda}_x^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr}}, \quad (5.21)$$

де

where:

$p_g$  – найбільше розрахункове значення місцевого внутрішнього тиску (див. EN 1991-4).

$p_g$  is the largest design value of the local internal pressure (see EN 1991-4).

Різні екстремальні значення властивостей матеріалу, визначені для твердого матеріалу в EN 1991-4, призводять до різних пов'язаних між собою значень осьової сили і внутрішнього тиску. Під час застосування формул (5.16) і (5.18) кожного разу має бути застосована пара сумісних значень.».

Different extremes of the material properties for a solid, defined in EN 1991-4, lead to different coupled values of axial force and internal pressure. A consistent pair of values should be used each time when applying Formulae (5.16) and (5.18).».

**Долучити пункт (7а):**

**Add a new Paragraph (7a):**

«(7а) Збільшення опору втраті стійкості конструкції оболонки внаслідок пружної жорсткості нерухомої сипкої маси твердого матеріалу можна розглядати тільки

«(7a) The increase in buckling resistance of the shell structure due to the elastic stiffness of stationary bulk solid may only be considered using a rational



на підставі раціонального аналізу, коли є чіткі докази того, що твердий матеріал не рухається відносно стінки у зазначеному місці під час вивантаження, та є відповідна інформація стосовно профілю потоку, тиску в твердому матеріалі та властивостей конкретної сипкої маси твердого матеріалу, що зберігається, як визначено в EN 1991-4.».

#### Пункт (9)

У першому реченні **замінити** «знаходиться в діапазоні  $0,3 < s < 1$ , вказане вище» на «знаходиться в діапазоні  $0,3 < s < 0,8$ , вказане вище».

#### Пункт (15)

У примітці **замінити** «Рекомендуються значення  $\beta = 0,60$  і  $\eta = 1,0$ .» на «Такі значення:

$$\beta = 1 - \frac{0,95}{1 + 1,2 (w_{ok} / t)}, \quad \eta = \frac{5,4}{1 + 4,6 (w_{ok} / t)} \quad \text{та (and) } \chi_h = 1,0$$

є рекомендованими.».

analysis, where there is clear evidence that the solid against the wall is not in motion at the specified location during discharge and the relevant information on the flow pattern, the pressure in the solid and the properties of the specific stored bulk solid are determined from EN 1991-4.».

In **Paragraph (9)**, in the 1st sentence, **replace** «lies in the range  $0,3 < s < 1,0$ , the above» with «lies in the range  $0,3 < s < 0,8$ , the above».

In **Paragraph (15)**, in the **NOTE**, **replace** «The values  $\beta = 0,60$  and  $\eta = 1,0$  are recommended.» with «The values of

are recommended.».

**13 Зміна до 5.3.2.5 «Втрата стійкості під впливом зовнішнього тиску, часткової внутрішньої розрідженості і вітру»**

**Підпункт (9)**

**Замінити** текст на такий та додати **формулу (5.40a)**:

«(9) Якщо силос розташований окремо і схильний до комбінованої дії вітрового навантаження і внутрішнього вакууму, значення  $C_w$ , застосоване у формулі (5.38), має бути змінено на  $C_{wc}$ , як наведено у формулі:

$$C_{wc} = \frac{p_{nu} + C_w p_{nw}}{p_{nu} + p_{nw}}, \quad (5.40a)$$

де

$p_{nu}$  – розрахункове значення однорідного компонента зовнішнього тиску;

$p_{nw}$  – розрахункове значення тиску в критичній точці вітрового потоку;

$C_w$  – коефіцієнт розподілу тиску вітру, наведений у (8).».

**13 Modification to 5.3.2.5, Buckling under external pressure, internal partial vacuum and wind**

**Replace Paragraph (9)** with the following and the new **Formula (5.40a)**:

«(9) Where the silo is isolated and subject to a combination of both wind loading and internal vacuum, the value of  $C_w$  to be used in expression (5.38) should be modified to  $C_{wc}$ , as given by:

where:

$p_{nu}$  is the design value of the uniform external pressure;

$p_{nw}$  is the design value of the stagnation pressure of the wind;

$C_w$  is the wind pressure distribution coefficient given in Paragraph (8).».

**14 Зміна до 5.3.2.6 «Мембранний зсув»**

**14 Modification to 5.3.2.6, Membrane shear**

**Пункт (5)**

In Paragraph (5), *replace Formula (5.55) with:*

**Замінити формулу (5.55) на таку:**

$$\ll \ell_0 = \frac{\tau_{x\theta,Ed,max}}{\left(\frac{d\tau_{x\theta,Ed}}{dy}\right)} \quad (5.55)\gg$$

**15 Зміна до 5.3.3.3 «Втрата стійкості під впливом осьового стиску»**

**15 Modification to 5.3.3.3, Buckling under axial compression**

**Пункти з (1) по (4) замінити** на такі:

**Replace Paragraphs (1) to (4) with:**

«(1) Інтервал між елементами жорсткості не має перевищувати менше з двох значень: 24° або 1000 мм.

«(1) The spacing of the stiffeners should not exceed the lesser of 24° and 1000 mm.

(2) Осьове стискальне напруження в оболонці силосу відрізняється від напруження в елементах жорсткості завдяки ефекту внутрішнього тиску, який діє тільки на оболонку силосу. Осьове напруження, що виникає в оболонці силосу на одиницю довжини кола,  $n_{x,Ed}$  має бути визначене від загального осьового навантаження на стінці та

(2) The axial compressive stress in the silo shell differs from that in the stiffeners due to the effect of internal pressure acting on the silo shell alone. The axial stress resultant per unit circumference in the silo shell  $n_{x,Ed}$  should be determined from the total axial force in the wall and stiffeners  $N_{x,Ed}$  at every level, as:

елементах жорсткості  $N_{x,Ed}$  на  
кожному рівні за формулою:

$$n_{x,Ed} = \left( \frac{f}{1+f} \right) \left[ \frac{N_{x,Ed}}{2\pi r} - \frac{\nu p r}{f} \right] \quad (5.58a)$$

Осьове навантаження в кожному  
елементі жорсткості  $N_{sx,Ed}$  має бути  
визначене із загального осьового  
навантаження в стінці та  
елементах жорсткості  $N_{x,Ed}$  на  
кожному рівні, за формулою:

$$N_{x,Ed} = d_s \left( \frac{1}{1+f} \right) \left[ \frac{N_{x,Ed}}{2\pi r} + \nu p r \right], \quad (5.58b)$$

в якій

in which

$$f = \frac{d_s t}{A_s},$$

де

where:

$t$  – місцеве значення товщини  
стінки оболонки;

$t$  is the local value of the shell wall  
thickness;

$d_s$  – інтервал у кільцевому напрямі  
між сусідніми елементами  
жорсткості;

$d_s$  is the circumferential distance  
between adjacent stiffeners;

$A_s$  – площа поперечного перерізу  
кожного елемента жорсткості;

$A_s$  is the cross-sectional area of  
each stiffener;

$\nu$  – коефіцієнт Пуассона  
(прийнятий як 0,30);

$\nu$  is Poisson's ratio (taken as  
0,30);

$p$  – місцеве значення внутрішнього  
тиску (див. EN 1991-4).

$p$  is the local value of the internal  
pressure (see EN 1991-4).

(3) Якщо стінка силосу не контактує з твердим матеріалом, що зберігається, опір втраті стійкості елемента жорсткості за умов осьового стиску слід розраховувати, виходячи з рівномірно розподіленого напруження стиску по всій площі поперечного перерізу на будь-якому рівні.

(4) Розрахункова ефективна довжина елемента жорсткості, застосована для визначення понижувального коефіцієнта  $\chi$ , приймають такою, що дорівнює:

$$L_e = \pi \left( \frac{EI_{sy}}{K} \right)^{1/4}, \quad (5.58c)$$

але не більшою, ніж відстань між сусідніми кільцями жорсткості,

де

$EI_{sy}$  – жорсткість на згин елемента жорсткості за умов згину перпендикулярно до площини стінки (Нмм<sup>2</sup>);

$K$  – жорсткість, що забезпечує стінка оболонки (Н/мм на міліметр висоти стінки), щоб обмежувати

(3) Where the silo wall is not in contact with the stored solid, the buckling resistance of the stiffener to axial compression should be calculated assuming a uniform compressive stress on the entire crosssectional area at any level.

(4) The buckling effective length of the stiffener used in determining the reduction factor  $\chi$  should be taken as equal to:

but not greater than the distance between adjacent ring stiffeners,

where:

$EI_{sy}$  is the flexural rigidity of the stiffener for bending normal to the plane of the wall (Nmm<sup>2</sup>);

$K$  is the stiffness offered by the shell wall (N/mm per mm of wall height) to restrain buckling normal to the wall.

втрату стійкості у напрямі, перпендикулярному до стінки.

(5) Жорсткість стінки оболонки  $K$  за умов обмеження ефективної довжини елемента жорсткості має бути визначена виходячи з припущення, що стінка проходить між сусідніми вертикальними елементами жорсткості по обидві сторони. Можна використовувати два альтернативні методи, як зазначено у пунктах (6) і (7).

(6) Можна виконати просте оцінювання значення  $K$ , розглядаючи стінку оболонки як пряму з вільно обпертими краями (див. рисунок 5.5). Потім значення  $K$  можна визначити за допомогою формули:

$$K = k_s E \left( \frac{t}{d_s} \right)^3, \quad (5.58d)$$

де

$k_s$  – коефіцієнт жорсткості.

**Примітка.** Значення  $k_s$  може бути задане в Національному додатку. Рекомендоване значення  $k_s = 0,5$ .

$t$  – місцева товщина стінки оболонки за місцем оцінювання;

(5) The stiffness of the shell wall  $K$  in restraining the effective length of the stiffener should be determined assuming that the wall spans between adjacent vertical stiffeners on either side. Two alternative methods may be used, as defined in Paragraphs (6) and (7).

(6) A simple assessment of the value of  $K$  may be made treating the shell wall as straight with simply supported boundary conditions (see Figure 5.5). The value of  $K$  may then be estimated as:

where:

$k_s$  is a stiffness coefficient.

NOTE The National Annex may choose the value of  $k_s$ . The value  $k_s = 0,5$  is recommended.

$t$  is the local thickness of the shell wall at the location being assessed;

$d_s$  – крок вертикальних елементів жорсткості в кільцевому напрямку.

$d_s$  is the circumferential separation of the vertical stiffeners.

(7) Більш складне оцінювання величини  $K$  можна виконати, розглядаючи криволінійну стінку як склепіння арки між сусідніми елементами жорсткості (рис. 5.6). Значення  $K$  може бути розраховано за формулами:

(7) A more advanced assessment of the value of  $K$  may be made by treating the curved wall as an arch spanning between adjacent stiffeners (Figure 5.6). The value of  $K$  may then be estimated using:

$$K = \frac{1}{r} \left\{ \frac{2Et^3}{ft^2 + 12r^2 \left\{ f + \phi \cos^2 \phi (\tan \phi + 2g)^2 - 2 \left[ 2g^2 \sin 2\phi - 2g (\cos 2\phi - \cos 2\phi) - \sin \phi (\cos \phi - 1) \right] \right\}} \right\}, \quad (5.58e)$$

$$\phi = \frac{d_s}{r}, \quad (5.58f)$$

$$f = \frac{1}{4} \left\{ (4g^2 + 1)(2\phi + \sin 2\phi) + 4g(1 - \cos 2\phi) - 2 \sin 2\phi \right\}, \quad (5.58g)$$

$$g = \frac{t^2 \sin^2 \phi - 12r^2 \left[ (1 - \cos \phi)(1 + 3 \cos \phi) - \phi \sin 2\phi \right]}{t^2 (2\phi + \sin 2\phi) - 12r^2 \left[ 2\phi(2 + \cos 2\phi) - 3 \sin 2\phi \right]}. \quad (5.58h)$$

(8) У тих випадках, коли профіль потоку в гранульованому твердому матеріалі, тиск у твердому матеріалі, властивості твердого матеріалу і відношення жорсткості твердого матеріалу до місцевого тиску можуть бути надійно прогнозовані згідно з EN 1991-4, на підставі раціонального аналізу

(8) Where the flow pattern in the granular solid, the pressure in the solid, the properties of the solid, and the relationship of the solid's stiffness to the local pressure can all be reliably predicted using EN 1991-4, a rational analysis of the stiffness of stationary solid against the silo wall may be

жорсткість нерухомого твердого матеріалу відносно стінки силосу може бути врахована під час оцінювання жорсткості стінки оболонки  $K$ .

(9) Характеристичний опір втраті стійкості оболонки  $n_{x,Rk}$  слід розраховувати відповідно до 5.3.2.4.

(10) Якщо для виготовлення елемента жорсткості використано гарячекатаний профіль, опір втраті стійкості за умов осьового стиску елемента жорсткості  $N_{s,b,Rk}$  слід оцінювати як опір співвісному стиску відповідно до EN 1993-1-1, враховуючи тільки втрату стійкості у напрямі перпендикулярно до стінки оболонки.

(11) Якщо для виготовлення елемента жорсткості використано холодноформований елемент, опір втраті стійкості за умов осьового стиску слід оцінювати як опір співвісному стиску відповідно до EN 1993-1-3, враховуючи тільки втрату стійкості у напрямі перпендикулярно до стінки оболонки.

included in the assessment of the stiffness of the shell wall  $K$ .

(9) The characteristic buckling resistance of the shell wall  $n_{x,Rk}$  should be calculated as defined in 5.3.2.4.

(10) Where a rolled section is used for the stiffener, the axial compression buckling resistance of the stiffener  $N_{s,b,Rk}$  should be assessed as under concentric compression according to EN 1993-1-1, considering only buckling normal to the shell wall.

(11) Where a cold-formed member is used for the stiffener, the axial compression buckling resistance should be assessed as under concentric compression according to EN 1993-1-3, considering only buckling normal to the shell wall.



(12) Засоби з'єднання між елементами жорсткості та оболонкою силосу мають бути розташовані з проміжком по вертикалі не більше ніж  $L_e/4$ , де  $L_e$  визначають з урахуванням вимог (4).

(13) Якщо центр тяжіння одного з сегментів елемента жорсткості не співпадає з центром тяжіння прилеглого сегмента, потрібно розглянути можливість застосування довшої муфти, а з'єднання запроектувати таким, що сприймає згинальний момент, який виникає за умов передачі осьової сили внаслідок ексцентриситету.

(14) Не повинно бути жодних причин виникнення ненавмисних згинальних моментів в елементі жорсткості (наприклад, внаслідок ексцентриситету між центральними осями перерізу і болтів, застосованих у з'єднаннях, таких як ніпельне, внахлест тощо).

(15) Ексцентриситет центру тяжіння елемента жорсткості щодо середньої поверхні корпусу силосу можна проігнорувати.».

(12) The connectors between the stiffener and the silo shell should be at a vertical spacing not greater than  $L_e/4$ , where  $L_e$  is determined using Paragraph (4).

(13) Where the centroid of one segment of the stiffener is not co-linear with the centroid of the adjacent segment, consideration should be given to the use of a longer sleeve and the connection should be designed to transmit the bending moment arising from the eccentricity of the axial force transferred.

(14) There should be no cause introducing unintentional bending moments into the stiffener (e.g. resulting from an eccentricity between the section centroidal axis and the centroid of the bolts used in connections, such as sleeves, overlaps, etc.).

(15) The eccentricity of the stiffener centroid to the silo shell middle surface may be ignored.».

## **16 Зміни до 5.3.4.1 «Загальні положення»**

### **Пункт (1)**

#### ***Замінити:***

«(1) Усі розрахунки повинні виконуватися з товщиною, що виключає покриття і допуски.»

на

«(1) Всі розрахунки мають бути виконані для номінальної товщини без урахування покриття. Допуски по товщині треба приймати відповідно до вимог EN 1993-1-3.».

### **Пункт (4)**

#### ***Замінити:***

«(4) Особливу увагу слід приділити тому, щоб елементи жорсткості були безперервно стійкі по відношенню до вигину в меридіальній площині, перепендикулярній стінці, оскільки згинальна неперервність елемента жорсткості надзвичайно важлива для створення опору втраті стійкості під впливом вітру або зовнішнього тиску, а також від дії

## **16 Modifications to 5.3.4.1, General**

### ***Replace Paragraph (1):***

«(1) All calculations should be carried out with thicknesses exclusive of coatings and tolerances.»

with:

«(1) All calculations should be carried out with thicknesses exclusive of coatings. Tolerances on thickness should be adopted according to the requirements of EN 1993-1-3.».

### ***Replace Paragraph (4):***

«(4) Particular attention should be paid to ensure that the stiffeners are flexurally continuous with respect to bending in the meridional plane normal to the wall, because the flexural continuity of the stiffener is essential in developing resistance to buckling under wind or external pressure as well as when the stored solids flow.»

сипкої маси твердих матеріалів,  
що зберігаються.»

на

«(4) У тих випадках, коли безперервність елементів жорсткості досягнуто за рахунок напівжорстких з'єднань, наприклад, внахлест чи ніпельного тощо, слід враховувати крутильну жорсткість з'єднань під час перевірки їх опору і стійкості до дії твердих матеріалів, що зберігаються, а також дії вітру або зовнішнього тиску.».

### **17 Зміни до 5.3.4.2 «Граничний стан пластичності»**

#### **Пункт (3)**

##### ***Замінити:***

«(3) Інтервал між кріпильними елементами по периметру кола не повинен перевищувати 3° кола.»

на

«(3) Інтервал між кріпильними виробами по периметру кола не має перевищувати найменше із значень: 500 мм або 15° кола

with:

«(4) Where the continuity of stiffeners is obtained by semi-rigid connections such as overlaps or sleeves, etc., the rotational rigidity of the connections should be taken into account in the verification of their resistance and stability under actions due to stored solids as well as under wind or external pressure.».

### **17 Modifications to 5.3.4.2, Plastic limit state**

#### ***Replace Paragraph (3):***

«(3) The spacing between fasteners around the circumference should not exceed 3° of the circumference.»

with:

«(3) The spacing between fasteners around the circumference should not exceed the lesser of 500 mm and 15° of

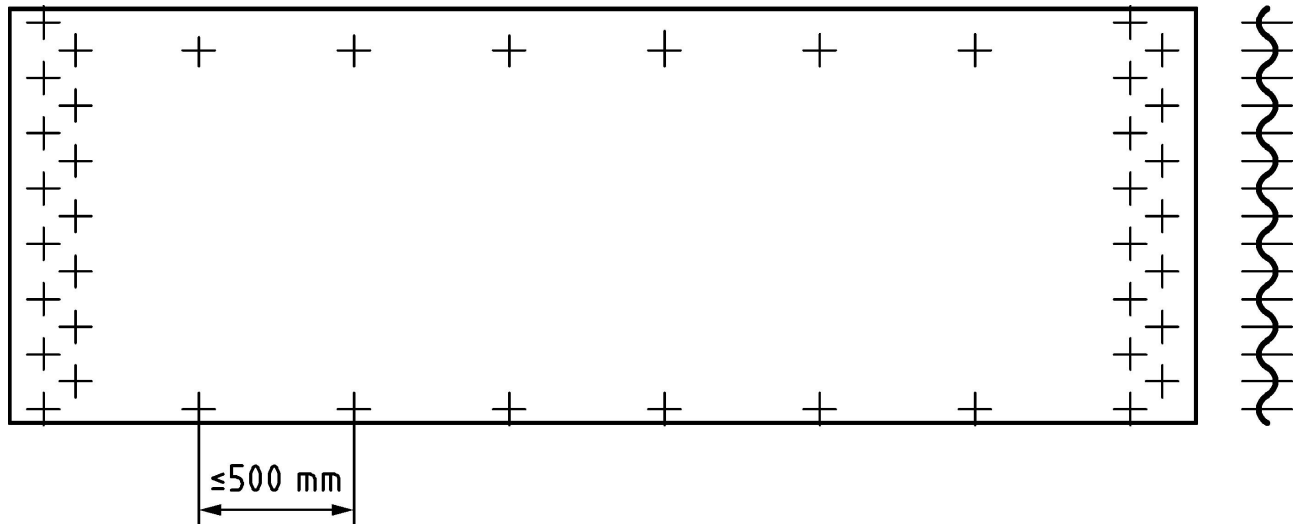
відповідно до рисунка 5.4.».

the circumference, as shown in Figure 5.4.».

**Рисунок 5.4 замінити** на такий:

**Replace Figure 5.4 with:**

«



**Рисунок 5.4** – Типовий варіант болтового з'єднання панелі гофрованого силосу

**Figure 5.4** – Typical bolt arrangement for a panel of a corrugated silo

»

**18 Зміна до 5.3.4.3.1 «Загальні положення»**

**18 Modification to 5.3.4.3.1, General**

**Пункт (2)**

In **Paragraph (2)**, *replace:*

**Замінити** текст:

«b) розрахунок втрати стійкості окремих елементів жорсткості (передбачається, що гофрована стінка не несе осьове навантаження, але забезпечує опір елементам жорсткості) і дотримання вимог 5.3.4.3.4, якщо відстань між елементами

«b) buckling of the individual stiffeners (corrugated wall assumed to carry no axial force, but providing restraint to the stiffeners) and following 5.3.4.3.4 if the horizontal distance between stiffeners does not satisfy 5.3.4.3.3 (2).»

жорсткості по горизонталі не задовольняє вимогам 5.3.4.3.3(2).»

на такий:

«b) розрахунок втрати стійкості окремих елементів жорсткості (передбачають, що гофрована стінка не несе осьове навантаження, але забезпечує опір елементам жорсткості) із дотриманням вимог 5.3.4.3.4.»

### **19 Зміни до 5.3.4.3.3 «Підкріплена стінка в якості ортотропної оболонки»**

#### **Пункт (2)**

**Замінити** текст:

«Примітка: Значення  $k_{dx}$  може бути задане в Національному додатку. Рекомендується значення  $k_{dx} = 7,4$ .»

на такий:

«Примітка: Значення  $k_{dx}$  може бути задане в Національному додатку. Рекомендоване значення  $k_{dx} = 9,1$ .»

#### **Пункт (3)**

**Замінити** текст першої частини включно з **формулою (5.65)** на такий:

with:

«b) buckling of the individual stiffeners (corrugated wall assumed to carry no axial force, but providing restraint to the stiffeners) and following 5.3.4.3.4.»

### **19 Modifications to 5.3.4.3.3, Stiffened wall treated as an orthotropic shell**

In **Paragraph (2)**, *replace*:

«NOTE The National Annex may choose the value of  $k_{dx}$ . The value  $k_{dx} = 7,4$  is recommended.»

with the following **paragraph**:

«NOTE The National Annex may choose the value of  $k_{dx}$ . The value  $k_{dx} = 9,1$  is recommended.»

**Replace** the top part of **Paragraph (3)** (including **Equation (5.65)** itself) with:

«(3) Інтегральне критичне напруження за умов втрати стійкості  $n_{x,Rcr}$  на одиницю довжини кола ортотропної оболонки (метод (a) в 5.3.4.3.1) слід оцінювати на кожному відповідному рівні силосу. Інтегральне критичне напруження за умов втрати стійкості  $n_{x,Rcr}$  може бути оцінено для будь-якого обраної типу окружності (хвильове число)  $j$  та будь-якої вірогідної висоти вигину  $l_i$  шляхом мінімізації наведеного нижче виразу як щодо  $j$ , так і щодо  $l_i$ . Як  $l_i$  можна приймати будь-яке значення аж до загальної висоти стіни, але можна приймати й будь-які менші значення.

Мінімізацію для знаходження критичного значення  $n_{x,Rcr}$  можна виконувати будь-яким зручним способом мінімізації (оптимізації).

$$n_{x,Rcr} = \frac{1}{j^2 \omega^2} \left( A_1 + \frac{A_2}{A_3} \right) \quad (5.65)$$

Там, де кільця жорсткості відсутні, значення  $A_r$ ,  $I_r$  та  $I_{tr}$  треба приймати такі, що дорівнюють нулю, але  $d_r$  треба приймати

«(3) The critical buckling stress resultant  $n_{x,Rcr}$  per unit circumference of the orthotropic shell (Method a) in 5.3.4.3.1) should be evaluated at each appropriate level in the silo. The critical buckling stress resultant  $n_{x,Rcr}$  may be evaluated for any chosen circumferential mode (wave number)  $j$  and any prospective height of the buckle  $l_i$  by minimising the following expression with respect to both  $j$  and  $l_i$ . The values of  $l_i$  may take any value up to the total height of the wall, but may take any smaller values.

The minimisation to find the critical value of  $n_{x,Rcr}$  may be made by any appropriate minimisation (optimisation) procedure.

Where no ring stiffeners are present, the values of  $A_r$ ,  $I_r$  and  $I_{tr}$  should be taken as zero, but  $d_r$  should be taken as non-zero to

такий, що не дорівнює нулю, щоб уникнути ділення на нуль. Там, де відсутні стрингери, значення  $A_s$ ,  $I_s$  та  $I_{ts}$  слід приймати такі, що дорівнюють нулю, а значення  $d_s$  – таке, що не дорівнює нулю, щоб уникнути ділення на нуль.

Може бути корисним накреслити контурний графік відношення  $n_{x,Rcr}$  до  $j$  та  $l_i$ , оскільки це може забезпечити можливість швидшої оптимізації формули (5.65), ніж простий метод спроб і помилок.».

#### Пункт (5)

**Замінити** текст на такий:

«(5) Розрахунковий опір втраті стійкості  $n_{x,Rd}$  на одиницю довжини кола ортотропної оболонки (метод (а) в 5.3.4.3.1) має бути визначений як найменше з таких величин:

$$n_{x,Rd} = \alpha_x n_{x,Rcr} / \gamma_{M1} \quad (5.69)$$

та

$$n_{x,Rd} = A_{eff} f_y / (d_s \gamma_{M0}), \quad (5.70)$$

де

$\alpha_x$  – понижувальний коефіцієнт пружної деформації за умов втрати стійкості;

avoid division by zero. Where no stringer stiffeners are present, the values of  $A_s$ ,  $I_s$  and  $I_{ts}$  should be taken as zero, but  $d_s$  should be taken as non-zero to avoid division by zero.

It may be helpful to draw a contour plot of  $n_{x,Rcr}$  against  $j$  and  $l_i$  as this may provide a faster means of optimising Formula (5.65) than simple trial and error.».

**Replace Paragraph (5)** with:

«(5) The design buckling resistance  $n_{x,Rd}$  per unit circumference for the orthotropic shell (Method a) in 5.3.4.3.1) should be determined as the lesser of:

and

where:

$\alpha_x$  is the elastic buckling imperfection reduction factor;

$\gamma_{M1}$  – частковий коефіцієнт, наведений у 2.9.2;

$d_s$  – відстань між стрингерами;

$A_{eff}$  – ефективна площа поперечного перерізу стрингера.

**Примітка.** Значення  $\alpha_x$  може бути задане в Національному додатку. Рекомендоване значення  $\alpha_x = 0,80$ .

**20 Зміна до 5.3.4.3.4 «Підкріплена стінка в якості несучої осьового стиску тільки в елементах жорсткості»**

**Пункти з (2) по (6)**

**замінити** на такі:

«(2) Ефективна довжина елемента жорсткості для розрахунків втрати стійкості має бути визначена відповідно до припущення а) або б) в пункті (1).

(3) Якщо застосовують метод а) в пункті (1), для визначення коефіцієнта зменшення  $\chi$  ефективну довжину  $L_e$  треба приймати як відстань між сусідніми кільцями жорсткості.

$\gamma_{M1}$  is the partial factor given in 2.9.2;

$d_s$  is the distance between the stringer stiffeners;

$A_{eff}$  is the effective cross-sectional area of the stringer stiffener.

NOTE The National Annex may choose the value of  $\alpha_x$ . The value  $\alpha_x = 0,80$  is recommended.».

**20 Modification to 5.3.4.3.4, Stiffened wall treated as carrying axial compression only in the stiffeners**

**Replace Paragraphs (2) to (6) with:**

«(2) The effective length of the stiffener for buckling calculations should be determined according to Assumption a) or b) in Paragraph (1).

(3) If Method a) in Paragraph (1) is used, the effective length  $L_e$  used in determining the reduction factor  $\chi$  should be taken as the distance between adjacent ring stiffeners.



(4) Якщо застосовують метод b) в пункті (1), для визначення коефіцієнта зменшення  $\chi$  ефективна довжина втрати стійкості колони має бути визначена як:

$$L_e = \pi \left( \frac{EI_{sy}}{K} \right)^{1/4}, \quad (5.72)$$

але бути не більше, ніж відстань між сусідніми кільцями жорсткості;

де

$E_{Isy}$  – згинальна жорсткість елемента жорсткості за умов вигину перпендикулярно до площини стінки (Нмм<sup>2</sup>);

$K$  – згинальна жорсткість гофрованого листа стінки (Н/мм на міліметр висоти стінки), у прольоті між вертикальними елементами жорсткості.

(5) Згинальну жорсткість гофрованого листа обшивки  $K$  слід визначати, виходячи з припущення, що листові обшивки охоплює сусідні вертикальні елементи жорсткості з кожної сторони. Можна застосовувати два альтернативні методи, як

(4) If Method b) in Paragraph (1) is used, the buckling effective length of column used in determining the reduction factor  $\chi$  should be taken as equal to:

but not greater than the distance between adjacent ring stiffeners;

where:

$E_{Isy}$  is the flexural rigidity of the stiffener for bending normal to the plane of the wall (Nmm<sup>2</sup>);

$K$  is the flexural stiffness of the corrugated wall sheet (N/mm per mm of wall height) spanning between vertical stiffeners.

(5) The flexural stiffness of the corrugated wall  $K$  should be determined assuming that the sheeting spans between adjacent vertical stiffeners on either side. Two alternative methods may be used, as defined in Paragraphs (6) and (7).

зазначено в пунктах (6) і (7).

(6) Можна виконати просте оцінювання значення  $K$ , розглядаючи стінку пряму з вільно обпертими краями (див. рис. 5.5). Потім значення  $K$  можна визначити за допомогою формули:

$$K = k_s \frac{D_y}{d_s^3}, \quad (5.73)$$

де

$D_y$  – згинальна жорсткість стінки оболонки з гофрованого листа для вигину в кільцевому напрямі (див. 4.4);

$d_s$  – крок вертикальних елементів жорсткості в кільцевому напрямі.

Якщо гофри мають дугоподібну або синусоїдальну конфігурацію, значення  $D_y$  можна приймати відповідно до 4.4(6). Якщо застосовують гофри іншої форми перерізу, згинальну жорсткість за умов вигину в кільцевому напрямі слід визначати на підставі первинних принципів.

**Примітка.** Значення  $k_s$  може бути задане в Національному додатку. Рекомендоване значення  $k_s = 6$ .

(6) A simple assessment of the value of  $K$  may be made treating the wall as straight with simply supported boundary conditions (see Figure 5.5). The value of  $K$  may then be estimated as:

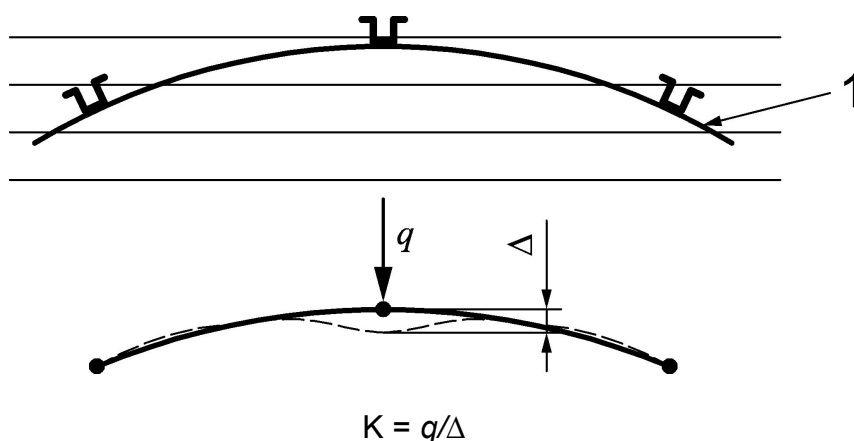
where:

$D_y$  is the shell bending flexural rigidity of the corrugated wall sheet for circumferential bending (see 4.4);

$d_s$  is the circumferential separation of the vertical stiffeners.

If the corrugation form is an arc-and-tangent or sinusoidal profile, the value of  $D_y$  may be taken from 4.4(6). If other corrugation forms are adopted, the shell bending flexural rigidity for circumferential bending should be determined from first principles.

**NOTE** The National Annex may choose the value of  $k_s$ . The value  $k_s = 6$  is recommended.



Позначка:

1 – стінка

Key

1 wall

**Рисунок 5.5** – Оцінка стійкості за умов обмеження втрати стійкості підкріпленої елементами жорсткості колони з урахуванням кривизни стінки

**Figure 5.5** – Evaluation of restraint stiffness against stiffener column buckling using a curved wall treatment

(7) Більш складне оцінювання величини  $K$  можна виконати, розглядаючи криволінійну стінку як склепіння арки між сусідніми елементами жорсткості (рис. 5.5). Значення  $K$  може бути розраховано за формулами:

(7) A more advanced assessment of the value of  $K$  may be made by treating the curved wall as an arch spanning between adjacent stiffeners, see Figure 5.5. The value of  $K$  may then be estimated using:

$$K = \frac{1}{r} \left\{ \frac{2C_y D_y}{fD_y + r^2 C_y \left\{ f + \phi \cos^2 \phi (\tan \phi + 2g)^2 - 2 \left[ 2g^2 \sin 2\phi - 2g (\cos 2\phi - \cos \phi) - \sin \phi (\cos \phi - 1) \right] \right\}} \right\},$$

(5.74)

$$\phi = \frac{d_s}{r}, \quad (5.75)$$

$$f = \frac{1}{4} \left\{ (4g^2 + 1)(2\phi + \sin 2\phi) + 4g(1 - \cos 2\phi) - 2\sin 2\phi \right\}, \quad (5.76)$$

$$g = \frac{D_y \sin^2 \phi - r^2 C_y \left[ (1 - \cos \phi)(1 + 3 \cos \phi) - \phi \sin 2\phi \right]}{D_y (2\phi + \sin 2\phi) - r^2 C_y \left[ 2\phi(2 + \cos 2\phi) - 3 \sin 2\phi \right]}, \quad (5.76a)$$

де

$C_y$  – мембранна жорсткість стінки оболонки з гофрованого листа за умов розтягу в кільцевому напрямі (див. 4.4);

$D_y$  – згинальна жорсткість стінки оболонки з гофрованого листа за умов вигину в кільцевому напрямі (див. 4.4);

$d_s$  – крок вертикальних елементів жорсткості в кільцевому напрямі.

Якщо гофри мають дугоподібну або синусоїдальну форму, значення  $C_y$  та  $D_y$  можна приймати відповідно до 4.4(5) та (6). Якщо застосовують гофри іншої форми, то мембранну жорсткість оболонки в кільцевому напрямі  $C_y$ , а також згинальну жорсткість за умов вигину в кільцевому напрямі  $D_y$  слід визначати на підставі первинних принципів.

where:

$C_y$  is the shell membrane stiffness of the corrugated wall sheet for circumferential stretching (see 4.4);

$D_y$  is the shell bending flexural rigidity of the corrugated wall sheet for circumferential bending (see 4.4);

$d_s$  is the circumferential separation of the vertical stiffeners.

If the corrugation form is an arc-and-tangent or sinusoidal profile, the values of  $C_y$  and  $D_y$  may be taken from 4.4(5) and (6). If other corrugation forms are adopted, both the shell circumferential membrane stiffness  $C_y$  and the shell circumferential bending flexural rigidity  $D_y$  should be determined from first principles.

(8) У тих випадках, коли профіль потоку в гранульованому твердому матеріалі, тиск у твердому матеріалі, властивості твердого матеріалу і відношення жорсткості твердого матеріалу до місцевого тиску згідно з EN 1991-4 можуть бути надійно прогнозовані, на підставі раціонального аналізу жорсткість нерухомого твердого матеріалу відносно стінки силосу може бути врахована під час оцінювання жорсткості стінки оболонки  $K$ .

(9) Для використання спрощеного методу згідно з пунктом (10) має бути дотримано наступних умов:

i) на кожному рівні поперечний переріз стрингера має бути прийнятий як найменше значення в межах ефективної довжини  $L_e$ , визначеної за допомогою пунктка (3) або (4);

ii) по відношенню до вигину стрингер має бути безперервно стійким, зі стійкими до дії моменту з'єднаннями між сегментами;

(8) Where the flow pattern in the granular solid, the pressure in the solid, the properties of the solid, and the relationship of the solid's stiffness to the local pressure can all be reliably predicted using EN 1991-4, a rational analysis of the stiffness of stationary solid against the silo wall may be included in the assessment of the stiffness of the shell wall  $K$ .

(9) The following conditions should all be met for the simplified method of Paragraph (10) to be used:

i) at each level, the cross-section of the stringer stiffener should be taken as the smallest value within the effective length  $L_e$  determined using Paragraph (3) or (4);

ii) the stringer stiffener should be flexurally continuous, with moment resisting connections between segments;

iii) якщо центр тяжіння одного з сегментів елемента жорсткості не співпадає з центром тяжіння прилеглого сегмента, слід розглянути можливість застосування довшої муфти, а з'єднання має бути запроектоване так, щоб передавати згинальний момент, що виникає внаслідок ексцентриситету осьової сили під час передачі; та

iv) не повинно бути жодних причин для виникнення ненавмисних згинальних моментів у стрингері (наприклад, внаслідок ексцентриситету між центральними осями перерізу і болтів, застосованих у з'єднаннях, таких як ніпельне, внахлест тощо). Ексцентриситет сил тертя на стінці силосу відносно елемента жорсткості можна проігнорувати.

(10) Якщо всі умови пункту (9) виконано, то в кожній точці стінки оболонки може бути застосовано такий простий розрахунок. Можна припустити, що стиск поперечного перерізу елемента жорсткості є рівномірним і таким, що дорівнює

iii) where the centroid of one segment of the stiffener is not co-linear with the centroid of the adjacent segment, consideration should be given to the use of a longer sleeve and the connection should be designed to transmit the bending moment arising from the eccentricity of the axial force transferred; and

iv) there should be no cause introducing unintentional bending moments into the stringer stiffener (e.g. resulting from an eccentricity between the section centroidal axis and the centroid of the bolts used in connections, such as sleeves, overlaps, etc.). The eccentricity of the frictional traction on the silo wall to the stiffener may be ignored.

(10) If the conditions of Paragraph (9) are all met, the following simple calculation may be used at every point on the shell wall. The compression on the stiffener cross-section may be assumed to be uniform and equal to the

максимальній силі стиску  $N_{b,Ed}$ , яка діє в нижній частині сегмента елемента жорсткості. Опір елемента жорсткості може бути оцінено з використанням такого виразу:

$$N_{b,Ed} \leq N_{b,Rk} / \gamma_{M1}, \quad (5.76b)$$

де

$N_{b,Ed}$  – розрахункове значення перпендикулярної складової максимальної сили, що діє в сегменті елемента жорсткості;

$N_{b,Rk}$  – характеристичне значення опору осьовому стиску, розраховане для гарячекатного профілю згідно з EN 1993-1-1 та для холодноформованого профілю згідно з EN 1993-1-3.

(11) Понижувальний коефіцієнт  $\chi$ , який використовують для розрахунку значення  $N_{b,Rk}$ , слід приймати за умов втрати стійкості перпендикулярно до стінки силосу (тобто навколо поздовжньої осі).

(12) Якщо зазначені в пункті (9) умови (i), (ii), (iii) та (iv), не виконано, опір на будь-якому рівні елемента жорсткості слід

maximum compression force  $N_{b,Ed}$  acting at the bottom of the stiffener segment. The resistance of the stiffener may be assessed using:

where:

$N_{b,Ed}$  is the design value of the maximum normal force acting in the stiffener segment;

$N_{b,Rk}$  is the characteristic value of resistance to axial compression calculated according to EN 1993-1-1 for rolled sections and EN 1993-1-3 for cold-formed sections.

(11) The reduction factor  $\chi$  used to determine the value of  $N_{b,Rk}$  should be taken for buckling normal to the silo wall (i.e. about the circumferential axis).

(12) Where the conditions (i), (ii), (iii) and (iv) in Paragraph (9) are not met, the resistance at any level of the stiffener should be

перевіряти з урахуванням таких умов:

- зміна стиску в елементі жорсткості;
- зміна моменту інерції площі елемента жорсткості;
- будь-який ексцентриситет між осями центрів тяжіння перерізу і болтів, використовуваних у з'єднаннях (наприклад, ніпельних, внахлест тощо);
- згинальна жорсткість з'єднань (див. 5.3.4.1(4)); та
- зміна згинальної жорсткості стінки.

Можна застосовувати процедуру, викладену в пунктах з (13) по (18).

(13) Лінійний розрахунок на власне значення (ЛБР) відповідно до EN 1993-1-6 має бути виконаний на будь-якій ділянці елемента жорсткості з використанням розрахункового значення сили  $N_{Ed}$  в елементі жорсткості в цьому місці та включно з ефектом обмеження гофрованого листа. Це дає для розрахункових критичних навантажень у пружній стадії

verified taking into account:

- the variation of compression in the stiffener;
- the variation of the second moment of area of the stiffener;
- any eccentricity between the section centroidal axis and the centroid of the bolts used in connections (e.g sleeves, overlaps, etc.);
- the flexural rigidity of the connections (see 5.3.4.1(4)); and
- the variation of flexural stiffness of the wall.

The procedure set out in (13) to (18) may be used.

(13) A linear eigenvalue (LBA) calculation according to EN 1993-1-6 should be performed on any section of the stiffener, using the design value of the force in the stiffener  $N_{Ed}$  at that location and including the effect of the restraint of the corrugated sheeting. This yields the elastic critical load amplifier  $R_{cr}$  on the design loads.



підвищувальний коефіцієнт  $R_{cr}$ .

(14) Розрахунковий множник еталонного пластичного навантаження для кожної секції елемента жорсткості слід приймати як:

$$R_{pl} = \frac{A_{eff} f_y}{N_{Ed,max}}, \quad (5.76c)$$

де

$A_{eff}$  – найменша ефективна площа поперечного перерізу у межах сегмента елемента жорсткості згідно з положеннями EN 1993-1-3;

$N_{Ed,max}$  – максимальне стискальне навантаження в сегменті елемента жорсткості.

(15) Загальна умовна гнучкість  $\bar{\lambda}_x$  для сегмента має бути визначена за формулою:

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{R_{pl} / R_{cr}} \quad (5.76d)$$

(16) Значення параметрів втрати стійкості  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\eta$  та  $\lambda_o$  слід приймати відповідно до наведеного нижче:

(14) The design plastic reference load multiplier for each section of the stiffener should be taken as:

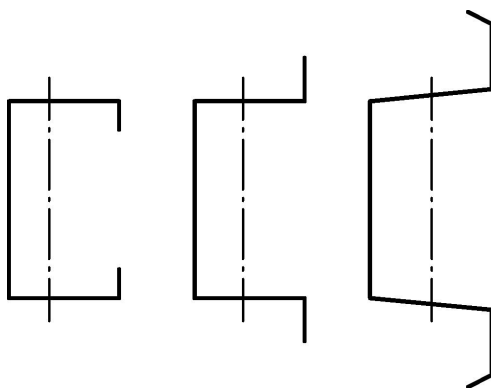
where:

$A_{eff}$  is the lowest effective cross-sectional area within the segment of the stiffener according to the provisions of EN 1993-1-3;

$N_{Ed,max}$  is the maximum compression load in the segment of the stiffener.

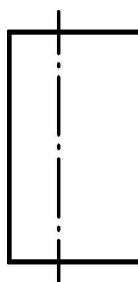
(15) The overall relative slenderness  $\bar{\lambda}_x$  for the segment should be determined from:

(16) The values of the buckling parameters  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\eta$ , and  $\lambda_o$  should be taken as follows:



**Рисунок 5.5a** – Холодноформовані елементи жорсткості з кромками з відгинами. Познака за EN 1993-1-3: крива втрати стійкості b  
**Figure 5.5a** – Cold-formed stiffeners with edge stiffened flanges.  
EN 1993-1-3 identifiers: buckling curve b

$$\alpha = 0,80; \beta = 0,70; \eta = 1,05; \lambda_o = 0,2; \chi_h = 1,0 \quad (5.76e)$$



**Рисунок 5.5b** – Елементи жорсткості з кромками без відгинів.  
Познака за EN 1993-1-3: крива втрати стійкості c  
**Figure 5.5b** – Stiffeners with unstiffened flanges  
EN 1993-1-1 identifiers: buckling curve c

$$\alpha = 0,72; \beta = 0,75; \eta = 0,90; \lambda_o = 0,2; \chi_h = 1,0 \quad (5.76f)$$

(17) Щоб отримати понижувальний коефіцієнт втрати стійкості  $\chi$ , слід використовувати загальне співвідношення втрати стійкості, зазначене в 5.3.2.4(15) або EN 1993-1-6: 2007, 8.6, а множник

(17) The general buckling relationship of 5.3.2.4(15) or EN 1993-1-6:2007, 8.6 should be used to obtain the buckling reduction factor  $\chi$ , and the characteristic buckling load

$R_k$  для характеристичного multiplier  $R_k$  found as:  
навантаження втрати стійкості слід  
визначати як:

$$R_k = \chi R_{pl} \quad (5.76g)$$

(18) Потрібно перевірити (18) It should be verified that:  
дотримання такої умови:

$$\frac{R_k}{\gamma_{M1}} \geq 1,0 \quad (5.76h)»$$

### 21 Зміна до 6.3.1 «Загальні положення»

#### Пункт (1)

**Замінити** текст на такий:

«(1) Конічна воронка має відповідати вимогам EN 1993-1-6. Альтернативним варіантом визначення, чи виконано зазначені вимоги, можна вважати оцінювання розрахункового опору відповідно до 6.3.2.».

### 22 Зміни до 6.3.2.5 «Місцевий вигин в зоні перехідного стику»

#### Пункт (4)

**Замінити** формулу (6.8) на таку:

$$« F_h = 2 \left( \frac{x_h}{\cos \beta} \right) (0,85 - 0,15 \mu \cot \beta) p_{nh} \quad (6.8)»$$

### 21 Modification to to 6.3.1, General

**Replace Paragraph (1)** with:

«(1) The conical hopper should satisfy the provisions of EN 1993-1-6. Alternatively, these may be deemed to be satisfied using the assessments of the design resistance given in 6.3.2.».

### 22 Modifications to 6.3.2.5, Local flexure at the transition

In **Paragraph (4)**, **replace** Formula (6.8) with:

**Пункт (4)** In **Paragraph (4)**, **replace**  
**Замінити** формулу **(6.10)** на таку: Formula **(6.10)** with:

$$\ll x_h = 0,39\sqrt{rt_h \cos \beta} \quad (6.10)\gg$$

**Пункт (5)** In **Paragraph (5)**, **replace**  
**Замінити** формулу **(6.11)** на таку: Formula **(6.11)** with:

$$\ll \sigma_{b\phi h, Ed} = \left(\frac{6}{\Delta}\right) \left\{ (a_2 - 2a_1\eta) M_{e, Ed} - \rho (a_3 - a_2\eta) F_{e, Ed} \right\} - \left(\frac{6}{t_h^2}\right) F_h x_h \quad (6.11)\gg$$

**23 Зміна до до 6.3.2.7 «Втрата стійкості воронок»**

**23 Modification to 6.3.2.7, Buckling in hoppers**

**Пункти з (1) по (4)**  
**замінити** на нові пункти з **(1)**  
по **(5)**:

**Replace Paragraphs (1) to (4)**  
with the following new  
**paragraphs (1) to (5)::**

«(1) Хоча конструкції воронок зазвичай перебувають під двохосьовим напруженням, і проблем щодо втрати стійкості не виникає, деякі умови навантаження можуть призвести до стискальних меридіональних мембранних напружень. До них відносять горизонтальні дії від завантажувальних пристроїв або прикріплених конструкцій, несиметричні вертикальні дії та позацентрові дії від

«(1) Whilst hopper structures are normally under biaxial tension, so no problems of buckling arise, some loading conditions can lead to compressive meridional membrane stresses. These include horizontal actions from feeders or attached structures, unsymmetrical vertical actions, and eccentric discharge channels in a hopper. For these conditions, it should be verified that a compressive meridional

розвантажувальних каналів воронки. За цих умов слід переконатися, що стискальні меридіональні інтегральні мембранні напруження не спричиняють втрати стійкості.

(2) Цей пункт є затосовним тільки у випадку, коли значення  $n_{\phi,Ed}$  в деякій точці воронки є стискальним. В цьому пункті за умов стиску знак як для  $n_{\phi,Ed}$ , так і для  $n_{\phi,Rd}$  вважають позитивним.

**Примітка.** Меридіональне мембранне напруження, що виникає у воронці, зазвичай є розтягувальним.

(3) Перевірки на втрату стійкості воронки слід проводити в місцях, де пікове стискальне інтегральне мембранне напруження є високим.

(4) Розрахунковий опір втраті стійкості  $n_{\phi,Rd}$  у будь-якій точці воронки визначають за формулою:

$$n_{\phi,Rd} = 0,6\alpha_{xh} E \left( \frac{t_h^2}{r} \right) \cos \beta / \gamma_{M1}, \quad (6.18)$$

де

$\alpha_{xh}$  – коефіцієнт чутливості до

membrane stress resultant does not cause buckling.

(2) This section is only relevant if the value of  $n_{\phi,Ed}$  at some point in the hopper is compressive. The sign of both  $n_{\phi,Ed}$  and  $n_{\phi,Rd}$  is taken as positive in compression in this section.

NOTE The meridional membrane stress resultant in a hopper is normally tensile.

(3) Checks against buckling in the hopper should be performed at locations where the peak compressive membrane stress resultant is high.

(4) The design buckling resistance  $n_{\phi,Rd}$  at any point in the hopper should be determined from:

where:

$\alpha_{xh}$  is the elastic buckling

пластичної деформації за умов втрати стійкості воронки;

$r$  – простий радіус в точці пікового меридіонального стискального інтегрального напруження у воронці;

$t_h$  – місцева товщина стінки воронки в тій самій точці, та

$\gamma_{M1}$  наведене в 2.9.2, але  $n_{\phi,Rd}$  не слід приймати більшим, ніж  $n_{\phi,Rd} = t_h f_y / \gamma_{M0}$ .

**Примітка 1.** Значення  $\alpha_{xh}$  може бути задане в Національному додатку. Рекомендоване значення  $\alpha_{xh} = 0,30$ .

**Примітка 2.** Формула (6.18) надає спрощений метод оцінювання опору втраті стійкості. Щодо ґрунтового оцінювання див. EN 1993-1-6.

(5) Меридіональне інтегральне напруження у критичній точці воронки має задовольняти таку умову:

$$n_{\phi,Ed} \leq n_{\phi,Rd}$$

imperfection sensitivity factor for the hopper;

$r$  is the simple radius at the point in the hopper of peak meridional compressive stress resultant;

$t_h$  is the hopper local wall thickness at the same point, and

$\gamma_{M1}$  is given in 2.9.2, but  $n_{\phi,Rd}$  should not be taken as greater than  $n_{\phi,Rd} = t_h f_y / \gamma_{M0}$ .

NOTE 1 The National Annex may choose the value of  $\alpha_{xh}$ . The value  $\alpha_{xh} = 0,30$  is recommended.

NOTE 2 Formula (6.18) provides a simplified method of assessing the buckling resistance. For a more complete evaluation, refer to EN 1993-1-6.

(5) The meridional stress resultant at the critical point in the hopper should satisfy the condition:

$$(6.19)»$$

**24 Зміна до 6.4.1 «Несучі конструкції»**

**Пункт (1)**

**Замінити** текст на такий:

«(1) Ефект окремих опор під силосом слід розглядати відповідно до викладеного в 5.4. Самі несні конструкції мають бути запроектовані відповідно до EN 1993-1-1, з межею між силосом і несною конструкцією, як визначено в 1.1(5).».

**25 Зміна до 8.2.2 «Перехідні стики з рівномірним обпиранням»**

**Пункти з (5) по (7), включно з рисунком 8.4, замінити** на такі пункти і новий рисунок:

«(5) Ефективна площа поперечного перерізу  $A_{ep}$  кільцевої пластини, яку приєднують до вузлового стика по центру з'єднання (див. рисунок 8.4 а), має бути визначена з фактичної площі  $A_p (=bt_p)$  як:

**24 Modification to 6.4.1, Supporting structures**

**Replace Paragraph (1) with:**

«(1) The effect of discrete supports beneath the silo should be treated as set out in 5.4. The supporting structures themselves should be designed to EN 1993-1-1, with the boundary between the silo and supporting structure as defined in 1.1(5).».

**25 Modification to 8.2.2, Uniformly supported transition junctions**

**Replace Paragraphs (5) to (7) (including Figure 8.4) with the following paragraphs (and new figures):**

«(5) The effective cross-sectional area  $A_{ep}$  of the annular plate joining into the junction at the joint centre (see Figure 8.4 a) should be determined from the actual area  $A_p (=bt_p)$  as:

$$A_{ep} = \frac{bt_p}{1 + 0,8 \frac{b}{r}}, \quad (8.10)$$

де

$r$  – радіус циліндричної стінки силосу;

$b$  – радіальна ширина кільцевої пластини кільця;

$t_p$  – товщина кільцевих пластин кільця.

(6) Загальна ефективна площа  $A_{et}$  кільця і складових частин прилеглих сегментів оболонки за умов підвищення сили стиску в кільцевому напрямі має бути визначена за формулою:

$$A_{et} = A_{ep} + \sum_{\substack{\text{усі сегменти} \\ \text{all segments} \\ i=1}} A_{ei}, \quad (8.11)$$

яку можна записати для стику, зображеного на рисунку 8.4а, у такому вигляді:

$$A_{et} = A_{ep} + 0,778\sqrt{r} \left\{ t_c^{3/2} + \psi \left( \frac{t_h^{3/2}}{\sqrt{\cos \beta}} + t_s^{3/2} \right) \right\}, \quad (8.12)$$

причому

where:

$r$  is the radius of the silo cylinder wall;

$b$  is the radial width of the annular plate ring;

$t_p$  is the thickness of the annular plate ring.

(6) The total effective area  $A_{et}$  of the ring and contributing parts of the adjacent shell segments in developing circumferential compression should be determined from:

which may be written for the junction shown in Figure 8.4a as:

with:

$$\psi = 0,5(1 + 3\alpha^2 - 2\alpha^3), \quad (8.13)$$



$$\alpha = \frac{t_c}{\sqrt{t_s^2 + t_h^2}}, \quad (8.14)$$

де

$r$  – радіус циліндричної стінки силосу;

$t_c$  – товщина циліндра;

$t_s$  – товщина юбки;

$t_h$  – товщина воронки;

$A_{ep}$  – ефективна площа кільцевих пластин кільця.

where:

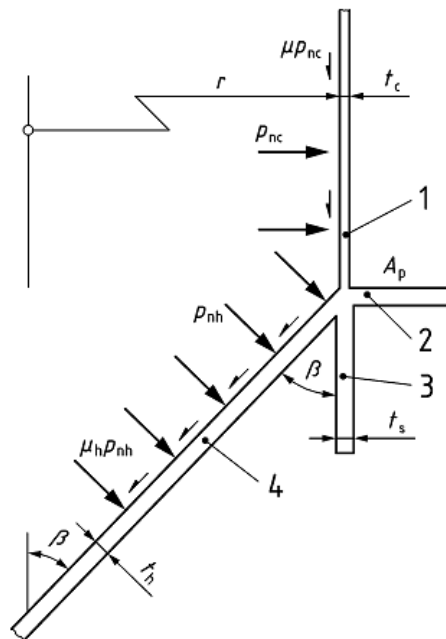
$r$  is the radius of the silo cylinder wall;

$t_c$  is the thickness of the cylinder;

$t_s$  is the thickness of the skirt;

$t_h$  is the thickness of the hopper;

$A_{ep}$  is the effective area of the annular plate ring.



*Позначки:*

- 1 циліндр
- 2 кільце
- 3 юбка
- 4 воронка

**Key**

- 1 cylinder
- 2 ring
- 3 skirt
- 4 hopper

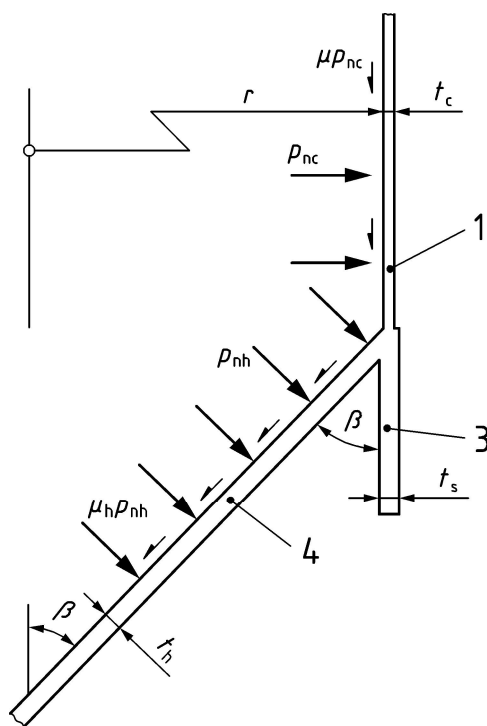
**Рисунок 8.4а** – Схема простого перехідного стику з кільцевою пластиною

**Figure 8.4a** – Notation for simple annular plate transition junction

(7) Якщо стик складається тільки з циліндра, юбки і воронки (див. рис. 8.4b), загальну ефективну площу кільця  $A_{et}$  може бути знайдено за формулою:

(7) Where the junction consists only of a cylinder, skirt and hopper (see figure 8.4b), the total effective area of the ring  $A_{et}$  may be found from:

$$A_{et} = 0,778\sqrt{r} \left\{ t_c^{3/2} + \psi \left( \frac{t_h^{3/2}}{\sqrt{\cos \beta}} + t_s^{3/2} \right) \right\} \quad (8.14a)$$



Позначки:

- 1 циліндр
- 3 юбка
- 4 воронка

Key

- 1 cylinder
- 3 skirt
- 4 hopper

**Рисунок 8.4b** – Перехідний стик без додавання кільця

**Figure 8.4b** – Transition junction without added ring

### **26 Зміна до 8.3.4.3 «Перехідний стик з кільцевою пластиною»**

#### **Пункт (1)**

**Замінити** текст на такий:

«(1) В стиках, у яких кільце в перехідній зоні виконане у формі кільцевої пластини, розрахункове значення опору втраті стійкості з площини  $\sigma_{op,Rd}$  слід визначати за допомогою формули:».

### **27 Зміна до 8.5.3 «Опорне кільце»**

#### **Пункт (2)**

**Замінити** текст на такий:

«(2) Інтервал по периметру кола між анкерними болтами або іншими точками прикріплення не має перевищувати  $\frac{1}{2}(L^2rt)^{0,25}$ , де  $t$  – місцева товщина листа оболонки, прилеглого до основи, а  $L$  – найменше значення висоти першого кільця жорсткості над основою або загальна висота стінки силосу до звисів.».

### **26 Modification to 8.3.4.3, Annular plate transition junction**

**Replace Paragraph (1) with:**

«(1) For junctions in which the ring at the transition is in the form of an annular plate, the design value of the resistance against out-of-plane buckling  $\sigma_{op,Rd}$  should be determined using:».

### **27 Modification to 8.5.3, Base ring**

**Replace Paragraph (2) with:**

«(2) The circumferential spacing of anchorage bolts or other attachment points should not exceed  $\frac{1}{2}(L^2rt)^{0,25}$ , where  $t$  is the local thickness of the shell plate adjacent to the base and  $L$  is the lesser of the height of the first ring stiffener above the base, or the total height of the silo wall to the eaves.».

## **28 Зміна до 9.4.1 «Загальні положення»**

### **Пункт (1)**

**Замінити** текст на такий:

«(1) Опір непідкріплених елементів вертикальних стінок слід оцінювати відповідно до положень 9.3. Оцінювання опору слід виконувати з урахуванням згинальних дій як на мембрану, так і на листи.».

## **29 Зміна до 9.4.2 «Опір загальному згину в результаті прямої дії матеріалу, що зберігається»**

### **Пункти з (1) по (3)**

**Замінити** текст та **рисунок 9.5** на такий:

«(1) Згинальні напруження, що виникають у гофрованій або трапецієвидній листовій обшивці стінки, розглядають з урахуванням горизонтального вигину навколо вертикальної осі внаслідок горизонтального тиску, що діє на стінку, а також місцевого вертикального вигину навколо

## **28 Modification to 9.4.1, General**

**Replace Paragraph (1) with:**

«(1) The resistance of unstiffened parts of vertical walls should be evaluated in accordance with the provisions set out in 9.3. The resistance evaluation should consider both membrane and plate bending actions.».

## **29 Modification to 9.4.2, General bending from direct action of the stored material**

**Replace Paragraphs (1) to (3) along with Figure 9.5 with:**

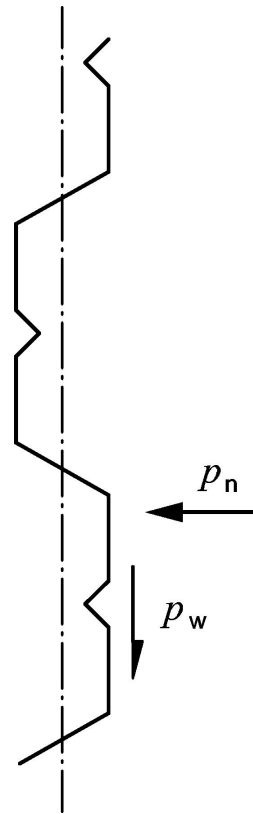
«(1) Bending stresses developing in a corrugated or trapezoidal sheet wall should be considered, taking account of the horizontal bending about a vertical axis caused by horizontal pressure acting on the wall, and local vertical bending about a horizontal axis where an axial force is

горизонтальної осі, де осьова сила передається через гофровану або трапецієвидну листову обшивку.

(2) За умов горизонтального вигину вісь вигину слід розглядати як вертикальну, ігноруючи будь-який ефект тертя об стінку твердого матеріалу, що зберігається (рис. 9.5).

transmitted through the corrugated or trapezoidal sheeting.

(2) The horizontal bending should consider the axis of bending as vertical, ignoring any effect of frictional drag on the wall from the stored solid (Fig. 9.5).



**Рисунок 9.5** – Вигин в результаті поєднання тиску по горизонталі з тертям об стінку (вертикальний переріз)

**Figure 9.5** – Bending resulting from combined horizontal pressure and friction (vertical section)

**30 Зміна до 9.5.1 «Сили, які виникають у внутрішніх з'язках від тиску твердих матеріалів»**

**30 Modification to 9.5.1, Forces in internal ties due to solids pressure on them**

**Пункт (2)**

**Replace Paragraph (2) with:**

**Замінити** текст на такий:

«(2) Якщо не будуть виконані більш точні розрахунки, сила  $q_t$ , з якою твердий матеріал діє на одиницю довжини в'язі, може бути апроксимована таким способом:

«(2) Unless more precise calculations are made, the force exerted by the solid  $q_t$  per unit length of tie may be approximated by:

$$q_t = C_t p_v b, \quad (9.1)$$

причому:

with:

$$C_t = \frac{C_s \beta}{k_L \sqrt{b/b_0}}, \quad (9.2)$$

де

where:

$p_v$  – вертикальний тиск всередині матеріалу, що зберігається, на рівні в'язі;

$p_v$  is the vertical pressure within the stored material at the tie level;

$b$  – максимальна ширина в'язі по горизонталі;

$b$  is the maximum horizontal width of the tie;

$b_0$  – еталонна довжина 1 м, виражена в одиницях, які використовують для  $b$ ;

$b_0$  is the reference length of 1 m, expressed in the units that are used for  $b$ ;

|  |   |
|--|---|
| $C_t$ – кратність збільшення навантаження;   | $C_t$ is the load magnification factor;   |
| $C_s$ – аеродинамічний коефіцієнт для поперечного перерізу в'язі;  | $C_s$ is the shape factor for the tie cross-section;  |
| $k_L$ – коефіцієнт стану завантаження;   | $k_L$ is the loading state factor;  |
| $\beta$ – коефіцієнт місця розташування в'язі, який залежить від місця розташування в'язі в камері силосу (див. рисунки 9.8 та 9.9). | $\beta$ is the tie location factor, that depends on the position of the tie within the silo cell (see Figures 9.8 and 9.9). |

**Примітка.** Емпіричний вираз (9.2) не був би узгоджений за розмірністю без розміру  $b_o$ . Наприклад, якщо  $b$  виражено в дюймах,  $b_o = 39,37$ .

NOTE The empirical expression (9.2) would not be dimensionally consistent without the dimension  $b_o$ . For example, if  $b$  is expressed in inches,  $b_o = 39,37$ .

**Коди ДК 004** 65.040.20; 91.010.30; 91.080.13

**Ключові слова:** силоси, вогнестійкість, довговічність, матеріали, міцність, придатність, навантаження, проектування.

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