



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЄВРОКОД 1. ДІЇ НА КОНСТРУКЦІЇ Частина 4. Бункери і резервуари (EN 1991-4:2006, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1991-4:20XX
(Проект, остаточна редакція)

Київ
Міністерство регіонального розвитку,
будівництва та житлово-комунального господарства України

20XX

ПЕРЕДМОВА

1 ВНЕСЕНО: Донбаська національна академія будівництва і архітектури
ПЕРЕКЛАД І НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ РЕДАГУВАННЯ: **Є. Горохов**, д.т.н (науковий керівник), **В. Мущанов**, д.т.н., **В. Губанов**, к.т.н., **І. Роменський**, к.т.н.,
С. Пчельніков, к.т.н.

2 НАДАНО ЧИННОСТІ:

наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України

від «___» _____ 20__ № _____

3 Національний стандарт відповідає EN 1991-4:2006 Eurocode 1: Actions on structures – Part 4: Silos and tanks (Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 4. Бункери і резервуари).

Ступінь відповідності – ідентичний (IDT)

Переклад з англійської (en)

Цей стандарт видано з дозволу CEN

4 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

Право власності на цей документ належить державі.
Цей документ не може бути повністю чи частково відтворений, тиражований
і розповсюджений як офіційне видання без дозволу
Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України

Мінрегіон України, 20XX

ЗМІСТ

ВСТУП	FOREWORD	X
Основи програми Єврокодів	Background of the Eurocode programme	1
Статус та галузь застосування Єврокодів	Status and field of application of Eurocodes	3
Національні стандарти, що впроваджують Єврокоди	National Standards implementing Eurocodes	4
Зв'язки між Єврокодами та гармонізованими технічними специфікаціями (ENs та ETAs) для виробів	Links between Eurocodes and harmonised technical specifications (ENs and ETAs) for products	5
Додаткова інформація щодо ДСТУ-Н Б EN 1991-4	Additional information specific for EN 1991-4	5
1 Загальні положення	Section 1 General	6
1.1 Сфера застосування	1.1 Scope	6
1.1.1 Область застосування ДСТУ-Н Б EN 1991	1.1.1 Scope of EN 1991 – Eurocode 1	6
1.1.2 Область застосування ДСТУ-Н Б EN 1991-4 - дії на бункери та резервуари	1.1.2 Scope of EN 1991-4 actions on structures: silos and tanks	6
1.2 Нормативні посилання	1.2 Normative references	10
1.3 Передумови	1.3 Assumptions	11
1.4 Відмінності між принципами і правилами, що застосовуються	1.4 Distinction between principles and application rules	11
1.5 Визначення	1.5 Definitions	12
1.6 Позначки	1.6 Symbols used in Part 4 of Eurocode 1	19
1.6.1 Великі латинські літери	1.6.1 Roman upper case letters	19
1.6.2 Малі латинські літери	1.6.2 Roman lower case letters	21
1.6.3 Великі грецькі літери	1.6.3 Greek upper case letters	27
1.6.4 Малі грецькі літери	1.6.4 Greek lower case letters	27
1.6.5 Індокси	1.6.5 Subscripts	29
2 Подання та класифікація впливів	Section 2 Representation and classification of actions	30
2.1 Представлення впливів на бункери	2.1 Representation of actions on silos	30
2.2 Представлення впливів на резервуари	2.2 Representation of actions on tanks	32
2.3 Класифікація впливів на бункери	2.3 Classification of actions on silos	32
2.4 Класифікація впливів на резервуари	2.4 Classification of actions on tanks	33
2.5 Класи бункерів щодо впливів	2.5 Action assessment classification	33
3 Розрахункові ситуації	Section 3 Design situations	35
3.1 Загальні положення	3.1 General	35
3.2 Розрахункові ситуації для матеріалу, що зберігається в бункерах	3.2 Design situations for stored solids in silos	36
3.3 Розрахункові ситуації для різних геометричних конфігурацій бункера	3.3 Design situations for different silo geometrical arrangements	38
3.4 Розрахункові ситуації для спеціальних форм конструкції	3.4 Design situations for specific construction forms	45
3.5 Розрахункові ситуації від рідин, що зберігаються в резервуарах	3.5 Design situations for stored liquids in tanks	46
3.6 Принципи розрахунку вибухів	3.6 Principles for design for explosions	47
4 Характеристики сипкого матеріалу	Section 4 Properties of particulate solids	48
4.1 Загальні положення	4.1 General	48
4.2 Характеристики сипкого матеріалу	4.2 Particulate solids properties	49
4.2.1 Загальні положення	4.2.1 General	49

4.2.2 Випробування і визначення характеристик матеріалу	4.2.2 Testing and evaluation of solids properties	51
4.2.3 Спрощений підхід	4.2.3 Simplified approach	53
4.3 Випробування сипкого матеріалу	4.3 Testing particulate solids	53
4.3.1 Методи випробувань	4.3.1 Test procedures	53
4.3.2 Питома вага сипкого матеріалу γ	4.3.2 Bulk unit weight γ	54
4.3.3 Коефіцієнт тертя об стінки μ	4.3.3 Coefficient of wall friction μ	55
4.3.4 Кут внутрішнього тертя ϕ_i	4.3.4 Angle of internal friction ϕ_i	55
4.3.5 Коефіцієнт бокового тиску K	4.3.5 Lateral pressure ratio K	56
4.3.6 Зчеплення c	4.3.6 Cohesion c	57
4.3.7 Коефіцієнт місцевого навантаження від матеріалу C_{op}	4.3.7 Patch load solid reference factor C_{op}	58
5 Навантаження на вертикальні стінки бункерів	Section 5 Loads on the vertical walls of silos	59
5.1 Загальні положення	5.1 General	59
5.2 Гнучкі бункери	5.2 Slender silos	60
5.2.1 Навантаження від заповнення на вертикальні стінки	5.2.1 Filling loads on vertical walls	60
5.2.2 Навантаження при вивантаженні на вертикальні стінки	5.2.2 Discharge loads on vertical walls	67
5.2.3 Підвищення рівномірного навантаження як заміна місцевого навантаження від заповнення і при вивантаженні	5.2.3 Substitute uniform pressure increase for filling and discharge patch loads	74
5.2.4 Навантаження при вивантаженні для циліндричних бункерів з великим ексцентриситетом випускного отвору	5.2.4 Discharge loads far circular silos with large outlet eccentricities	76
5.3 Бункери малої і проміжної гнучкості	5.3 Squat and intermediate slenderness silos	82
5.3.1 Навантаження від заповнення на вертикальні стінки	5.3.1 Filling loads on vertical walls	82
5.3.2 Навантаження при вивантаженні на вертикальні стінки	5.3.2 Discharge loads on vertical walls	85
5.3.3 Великі ексцентриситети навантажень заповнення в бункерах малої і проміжної гнучкості	5.3.3 Large eccentricity filling loads in squat and intermediate circular silos	88
5.3.4 Навантаження в циліндричних бункерах малої і проміжної гнучкості при великих ексцентриситетах вивантаження	5.3.4 Large eccentricity discharge loads in squat and intermediate circular silos	91
5.4 Опорні бункери	5.4 Retaining silos	91
5.4.1 Навантаження від заповнення на вертикальні стінки	5.4.1 Filling loads on vertical walls	91
5.4.2 Навантаження при вивантаженні на вертикальні стіни	5.4.2 Discharge loads on vertical walls	93
5.5 Бункери з насиченим повітрям матеріалом	5.5 Silos containing solids with entrained air	93
5.5.1 Загальні положення	5.5.1 General	93
5.5.2 Навантаження в бункерах, що містять псевдозріджений матеріал	5.5.2 Loads in silos containing fluidized solids	93
5.6 Різниця температур між матеріалом і конструкціями бункера	5.6 Thermal differentials between stored solids and the silo structure	94
5.6.1 Загальні положення	5.6.1 General	94

5.6.2 Тиск унаслідок зниження температури довкілля	5.6.2 Pressures due to reduction in ambient atmospheric temperature	95
5.6.3 Тиск від заповнення гарячого матеріалу	5.6.3 Pressures due to filling with hot solids	96
5.7 Навантаження на прямокутні бункери	5.7 Loads in rectangular silos	96
5.7.1 Прямокутні бункери	5.7.1 Rectangular silos	96
5.7.2 Бункери з внутрішніми затяжками	5.7.2 Silos with internal ties	97
6 Навантаження на воронки і днища бункерів	Section 6 Loads on silo hoppers and silo bottoms	98
6.1 Загальні положення	6.1 General	98
6.1.1 Фізичні характеристики	6.1.1 Physical properties	98
6.1.2 Загальні правила	6.1.2 General rules	99
6.2 Плоскі днища	6.2 Flat bottoms	103
6.2.1 Вертикальні тиски на плоскі днища в гнучких бункерах	6.2.1 Vertical pressures on flat bottoms in slender silos	103
6.2.2 Вертикальні тиски на плоскі днища в бункерах малої або проміжної гнучкості	6.2.2 Vertical pressures on flat bottoms in squat and intermediate silos	103
6.3 Круті воронки	6.3 Steep hoppers	105
6.3.1 Реалізоване тертя	6.3.1 Mobilized friction	105
6.3.2 Навантаження від заповнення	6.3.2 Filling loads	105
6.3.3 Навантаження при вивантаженні	6.3.3 Discharge loads	106
6.4 Пологі воронки	6.4 Shallow hoppers	107
6.4.1 Мобілізоване тертя	6.4.1 Mobilized friction	107
6.4.2 Навантаження від заповнення	6.4.2 Filling loads	108
6.4.3 Навантаження при вивантаженні	6.4.3 Discharge loads	108
6.5 Воронки в бункерах, що містять матеріал зі змішаним повітрям	6.5 Hoppers in silos containing solids with entrained air	108
7 Навантаження на резервуари для рідин	Section 7 Loads on tanks from liquids	110
7.1 Загальні положення	7.1 General	110
7.2 Навантаження від рідин, що зберігаються	7.2 Loads due to stored liquids	110
7.3 Характеристики рідин	7.3 Liquid properties	110
7.4 Всмоктування внаслідок недостатньої вентиляції	7.4 Suction due to inadequate venting	110
Додаток А	Annex A	111
Основи проектування – положення на додаток до ДСТУ-Н Б EN 1990 для бункерів і резервуарів	Basis of design - supplementary paragraphs to EN 1990 for silos and tanks	
A.1 Загальні положення	A.1 General	111
A.2 Абсолютний граничний стан	A.2 Ultimate limit state	111
A.2.1 Часткові коефіцієнти γ	A.2.1 Partial factors γ	111
A.2.2 Комбінаційні коефіцієнти ψ	A.2.2 Combination factors ψ	112
A.3 Впливи для комбінацій	A.3 Actions for combination	112
A.4 Розрахункові ситуації і комбінації впливів для класів впливів 2 і 3	A.4 Design situations and action combinations for Action Assessment Classes 2 and 3	112
A.5 Комбінації впливів для класу впливів 1	A.5 Action combinations for Action Assessment Class 1	117
Додаток В	Annex B	120
Впливи, часткові коефіцієнти і комбі-	Actions, partial factors and combina-	

нації для резервуарів

B.1	Загальні положення
B.2	Впливи
B.2.1	Навантаження від рідин
B.2.2	Навантаження від внутрішнього тиску
B.2.3	Температурні навантаження
B.2.4	Навантаження від власної ваги
B.2.5	Навантаження від ізоляції
B.2.6	Розподілені тимчасові навантаження
B.2.7	Зосереджені тимчасові навантаження
B.2.8	Сніг
B.2.9	Вітер
B.2.10	Тиск вакууму внаслідок недостатньої вентиляції
B.2.11	Сейсмічні навантаження
B.2.12	Навантаження від приєднаних елементів
B.2.13	Навантаження через нерівномірне осідання
B.2.14	Аварійні впливи
B.3	Часткові коефіцієнти для впливів
B.4	Комбінації впливів

Додаток С

Вимірювання характеристик сипкого матеріалу для визначення навантажень на бункер

C.1	Загальні положення
C.2	Сфера застосування
C.3	Символи
C.4	Визначення
C.5	Відбір зразків та їх підготовка
C.6	Визначення питомої ваги γ
C.6.1	Принцип випробування
C.6.2	Випробувальний пристрій
C.6.3	Методика
C.7	Тертя об стінки
C.7.1	Загальні положення
C.7.2	Коефіцієнт тертя об стінки μ_m для визначення навантажень
C.7.3	Кут тертя об стінки ϕ_{wh} для розрахунків витікання
C.8	Коефіцієнт бокового тиску K
C.8.1	Пряме вимірювання
C.8.2	Непряме вимірювання
C.9	Параметри міцності: зчеплення c і кут внутрішнього тертя ϕ_i
C.9.1	Пряме вимірювання
C.9.2	Непряме вимірювання

tions of actions on tanks

B.1	General	120
B.2	Actions	120
B.2.1	Liquid induced loads	120
B.2.2	Internal pressure loads	120
B.2.3	Thermally induced loads	120
B.2.4	Self-weight loads	121
B.2.5	Insulation	121
B.2.6	Distributed imposed load	121
B.2.7	Concentrated imposed load	121
B.2.8	Snow	121
B.2.9	Wind	121
B.2.10	Suction due to inadequate venting	123
B.2.11	Seismic loadings	123
B.2.12	Loads resulting from connections	123
B.2.13	Loads resulting from uneven settlement	123
B.2.14	Accidental actions	123
B.3	Partial factors for actions	123
B.4	Combination of actions	124

Annex C

Measurement of properties of solids for silo load evaluation

C.1	Object	125
C.2	Field of application	125
C.3	Notation	126
C.4	Definitions	127
C.5	Sampling and preparation of samples	127
C.6	Bulk unit weight γ	129
C.6.1	Principle of the test	129
C.6.2	Apparatus	129
C.6.3	Procedure	130
C.7	Wall friction	130
C.7.1	General	130
C.7.2	Coefficient of wall friction μ_m for the determination of pressures	131
C.7.3	Angle of wall friction ϕ_{wh} for the evaluation of flow	133
C.8	Lateral pressure ratio K	134
C.8.1	Direct measurement	134
C.8.2	Indirect measurement	135
C.9	Strength parameters: cohesion c and internal friction angle ϕ_i	136
C.9.1	Direct measurement	136
C.9.2	Indirect measurement	139

C.10 Ефективний модуль пружності E_s	C.10 Effective elastic modulus E_s	140
C.10.1 Прямий вимір	C.10.1 Direct measurement	140
C.10.2 Непряма оцінка	C.10.2 Indirect assessment	143
C.11 Оцінка верхнього та нижнього характеристичного значення параметрів і визначення поправочного коефіцієнта a	C.11 Assessment of the upper and lower characteristic values of a property and determination of the conversion factor a	144
C.11.1 Принципи	C.11.1 Principle	144
C.11.2 Метод оцінки	C.11.2 Method of estimation	145
Додаток D	Annex D	149
Визначення характеристик матеріалу для розрахунку навантажень на бункер	Evaluation of properties of solids for silo load evaluation	
D.1 Мета	D.1 Object	149
D.2 Визначення коефіцієнта тертя об стінки для гофрованої стінки	D.2 Evaluation of the wall coefficient for a corrugated wall	149
D.3 Внутрішнє тертя і тертя об стінки крупнозернистого матеріалу без дрібних складових	D.3 Internal and wall friction for coarse-grained solids without fines	150
Додаток E	Annex E	151
Значення параметрів сипкого матеріалу	Values of the properties of particulate solids	
E.1 Загальні положення	E.1 General	151
E.2 Запропоновані значення	E.2 Defined values	151
Додаток F	Annex F	154
Визначення форми потоку	Flow pattern determination	
F.1 Масовий потік і потік, що звужується	F.1 Mass and funnel flow	154
Додаток G	Annex G	155
Альтернативні правила для тисків у воронці	Alternative rules for pressures in hoppers	
G.1 Загальні положення	G.1 General	155
G.2 Позначення	G.2 Notation	155
G.3 Визначення	G.3 Definitions	155
G.4 Розрахункові ситуації	G.4 Design situations	155
G.5 Визначення коефіцієнта збільшення навантаження в основі C_b	G.5 Evaluation of the bottom load multiplier C_b	156
G.6 Тиски від заповнення на плоскі або майже плоскі днища	G.6 Filling pressures on flat and nearly-flat bottoms	156
G.7 Тиски від заповнення у воронці	G.7 Filling pressures in hoppers	157
G.8 Тиски при вивантаженні на плоскі або майже плоскі днища	G.8 Discharge pressures on flat or nearly-flat bottoms	159
G.9 Тиски при вивантаженні на воронку	G.9 Discharge pressures on hoppers	159
G.10 Альтернативна формула для коефіцієнта тиску на воронку при вивантаженні F_e	G.10 Alternative expression for the discharge hopper pressure ratio F_e	159
Додаток H	Annex H	161
Впливи внаслідок вибуху пилу	Actions due to dust explosions	
H.1 Загальні положення	H.1 General	161
H.2 Сфера застосування	H.2 Scope	161
H.3 Позначення	H.3 Notation	161
H.4 Вибухонебезпечний пил і його характеристики	H.4 Explosive dusts and relevant properties	161
H.5 Джерела займання	H.5 Ignition sources	162

пр. ДСТУ-Н Б EN 1991-4:20XX

Н.6 Заходи захисту	Н.6 Protecting precautions	163
Н.7 Розрахунок конструктивних елементів	Н.7 Design of structural elements	164
Н.8 Розрахунковий тиск	Н.8 Design pressure	164
Н.9 Розрахунок на зниження тиску	Н.9 Design for underpressure	164
Н.10 Проектування захисних вентиляційних пристроїв	Н.10 Design of venting devices	164
Н.11 Сили реакції від захисної вентиляції	Н.11 Reaction forces by venting	164
Додаток НА		166
Перелік національних стандартів України (ДСТУ), ідентичних МС, посилання на які є в EN 1991-4:2006		

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей стандарт є тотожний переклад EN 1991-4:2006 «Eurocode 1: Actions on structures – Part 4: Silos and tanks (Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 4. Бункери і резервуари).

EN 1991-4:2006 підготовлено Технічним комітетом CEN/TC 250, секретаріатом якого керує BSI.

До національного стандарту долучено англomовний текст.

На території України як національний стандарт діє ліва колонка тексту ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 4. Бункери і резервуари (EN 1991-4:2006, IDT)», викладена українською мовою.

Відповідно до ДБН А.1.1-1-2009 «Система стандартизації та нормування в будівництві. Основні положення» цей стандарт відноситься до комплексу В.1.2 «Система надійності та безпеки в будівництві».

Стандарт містить вимоги, які відповідають чинному законодавству.

Науково-технічна організація, відповідальна за цей стандарт, – Донбаська національна академія будівництва і архітектури.

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

- структурні елементи стандарту: «Обкладинку», «Передмову», «Національний вступ» та «Визначення понять» оформлено згідно з вимогами національної стандартизації України;
- з «Передмови до EN 1991-4» у цей «національний вступ» взяте те, що безпосередньо стосується цього стандарту;
- національний довідковий додаток наведено як настанову для користувачів.
- перелік національних стандартів України (ДСТУ), ідентичних МС, посилання на які є в ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2006.

Перелік національних стандартів України (ДСТУ), ідентичних МС, посилання на які є в ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2006, наведено в додатку НА.

Копії МС, неприйнятих як національні стандарти, на які є посилання в EN 1991-4:2006, можна отримати в Головному фонді нормативних документів ДП «УкрНДНЦ».

ВСТУП

Даний документ (ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2006) був підготовлений Технічним Комітетом CEN/TC 250 “Будівельні Єврокоди”, секретаріат якого підтримується BSI.

CEN/TC 250 є відповідальним за усі Будівельні Єврокоди.

Цьому Європейському стандарту буде наданий статус національного з публікацією ідентичного тексту або схваленням не пізніше листопада 2006 року і при скасуванні конфлікуючих національних стандартів не пізніше березня 2010 року.

У відповідності з внутрішніми постановами CEN/CENELEC національні органи зі стандартизації таких країн зобов’язані здійснити імплементацію цього Європейського стандарту: Австрія, Бельгія, Греція, Данія, Ірландія, Ісландія, Іспанія, Італія, Люксембург, Мальта, Нідерланди, Німеччина, Норвегія, Португалія, Фінляндія, Франція, Чеська Республіка, Швейцарія, Швеція та Велика Британія.

Foreword

This European Standard (EN 1991-4:2006) has been prepared by Technical Committee CEN/TC 250 “Structural Eurocodes”, the secretariat of which is held by BSI.

CEN/TC 250 is responsible for all Structural Eurocodes.

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 October 2006, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by March 2010.

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

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЄВРОКОД 1. ДІЇ НА КОНСТРУКЦІЇ. ЧАСТИНА 4. БУНКЕРИ І РЕЗЕРВУАРИ

ЕВРОКОД 1. ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОНСТРУКЦИИ ЧАСТЬ 4. БУНКЕРЫ И РЕЗЕРВУАРЫ

EUROCODE 1: ACTIONS ON STRUCTURES PART 4: SILOS AND TANKS

Чинний від _____

Основи програми Єврокодів

У 1975 році Комісія Європейської Спільноти вирішила розпочати програму дій у галузі будівництва на підставі статті 95 Договору. Метою програми було усунення технічних перешкод для торгівлі та узгодження технічних умов.

У рамках цієї програми дій Комісія взяла на себе ініціативу встановити систему узгоджених технічних правил для проектування будівель і споруд, які на першій стадії мали бути альтернативою чинним національним правилам держав-членів, а зрештою мали замінити їх.

Упродовж п'ятнадцяти років Комісія за допомогою Робочого комітету, до складу якого входили представники держав-членів, вела розробку програми Єврокодів, яка призвела до публікації комплексу першого покоління Європейських кодів у 80-х роках.

Background of the Eurocode programme

In 1975, the Commission of the European Community decided on an action programme in the field of construction, based on article 95 of the Treaty. The objective of the programme was the elimination of technical obstacles to trade and the harmonisation of technical specifications.

Within this action programme, the Commission took the initiative to establish a set of harmonised technical rules for the design of construction works which, in a first stage, would serve as an alternative to the national rules in force in the Member States and, ultimately, would replace them.

For fifteen years, the Commission, with the help of a Steering Committee with Representatives of Member States, conducted the development of the Eurocodes programme, which led to the first generation of European codes in the 1980s.

У 1989 році Комісія та держави-члени ЕУ (Європейської Спільноти) та ЕФТА (Європейської Асоціації Вільної Торгівлі) на основі угоди¹ між Комісією та СЕН (Європейським комітетом зі стандартизації) вирішили передати підготовку та публікацію Єврокодів СЕН за допомогою серії мандатів, що в результаті надало б Єврокодам у майбутньому статусу Європейського стандарту (EN). Це пов'язує Єврокоди з положеннями Директив Ради і Рішень Комісії щодо Європейських стандартів (тобто Директиви Ради 89/106/ЕЕС щодо будівельних виробів – СРД – та Директив Ради 93/37/ЕЕС, 92/50/ЕЕС та 89/440/ЕЕС відносно суспільних робіт та послуг і еквівалентних директив ЕФТА, започаткованих з метою допомогти заснуванню внутрішнього ринку).

Структурна програма Єврокодів включає стандарти, які в основному складаються з декількох частин:

EN 1990 Єврокод: Основи проектування конструкцій
EN 1991 Єврокод 1: Дії на конструкції
EN 1992 Єврокод 2: Проектування залізобетонних конструкцій
EN 1993 Єврокод 3: Проектування сталевих конструкцій
EN 1994 Єврокод 4: Проектування сталезалізобетонних конструкцій
EN 1995 Єврокод 5: Проектування дерев'яних конструкцій
EN 1996 Єврокод 6: Проектування кам'яних конструкцій
EN 1997 Єврокод 7: Геотехнічне проектування
EN 1998 Єврокод 8: Проектування сейсмостійких конструкцій
EN 1999 Єврокод 9: Проектування алюмінієвих конструкцій.

In 1989, the Commission and the Member States of the EU and EFTA decided, on the basis of an agreement¹ between the Commission and CEN, to transfer the preparation and the publication of the Eurocodes to the CEN through a series of Mandates, in order to provide them with a future status of European Standard (EN). This links *de facto* the Eurocodes with the provisions of all the Council's Directives and/or Commission's Decisions dealing with European standards (e.g. the Council Directive 89/106/EEC on construction products - CPD - and Council Directives 93/37/EEC, 92/50/EEC and 89/440/EEC on public works and services and equivalent EFTA Directives initiated in pursuit of setting up the internal market).

The Structural Eurocode programme comprises the following standards generally consisting of a number of Parts:

EN 1990 Eurocode : Basis of Structural Design
EN 1991 Eurocode 1: Actions on structures
EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures
EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures
EN 1994 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures
EN 1995 Eurocode 5: Design of timber structures
EN 1996 Eurocode 6: Design of masonry structures
EN 1997 Eurocode 7: Geotechnical design
EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance
EN 1999 Eurocode 9: Design of aluminium structures

¹ Угода між Комісією Європейської Спільноти та Європейським комітетом зі стандартизації (СЕН) щодо роботи над Єврокодами для проектування будівель і споруд (BC/CEN/03/89).

¹ Agreement between the Commission of the European Communities and the European Committee for Standardisation (CEN) concerning the work on EUROCODES for the design of building and civil engineering works (BC/CEN/03/89).

Стандарти Єврокодів визнають відповідальність регуляторних органів держав-членів та захищають їх право на призначення величин, які пов'язані з регулюванням питань безпеки на національному рівні там, де вони відрізняються.

Статус та галузь застосування Єврокодів

Держави-члени EU та EFTA визнають, що Єврокоди діють як еталонні документи для таких цілей:

– як засіб доведення відповідності будівель і споруд основним вимогам Директиви Ради 89/106/ЕЕС, зокрема основній вимозі № 1 – Механічна стійкість та стабільність – і основній вимозі № 2 – Пожежна безпека;

– як основа для укладання контрактів для будівель і споруд та пов'язаних з ними інженерних послуг;

– як основа для складання узгоджених технічних специфікацій для будівельних виробів (ENs та ETAs).

Єврокоди, оскільки вони безпосередньо відносяться до будівельних споруд, мають прямий зв'язок із тлумачними документами² розділу 12 CPD, незважаючи на те, що вони мають різну природу з гармонізованими стандартами на виробу³. Наступним чином, технічні аспекти, які впливають з Єврокодів для будівель і споруд, повинні в повній мірі бути розглянутими Технічними комітетами CEN та/чи робочими групами EOTA, які розробляють стандарти на будівельні вироби, з позицій досягнення повної сумісності технічних специфікацій з Єврокодами.

Eurocode standards recognise the responsibility of regulatory authorities in each Member State and have safeguarded their right to determine values related to regulatory safety matters at national level where these continue to vary from State to State.

Status and field of application of Eurocodes

The Member States of the EU and EFTA recognise that Eurocodes serve as reference documents for the following purposes:

– as a means to prove compliance of building and civil engineering works with the essential requirements of Council Directive 89/106/EEC, particularly Essential Requirement N°1 – Mechanical resistance and stability – and Essential Requirement N°2 – Safety in case of fire ;

– as a basis for specifying contracts for construction works and related engineering services ;

– as a framework for drawing up harmonised technical specifications for construction products (ENs and ETAs)

The Eurocodes, as far as they concern the construction works themselves, have a direct relationship with the Interpretative Documents² referred to in Article 12 of the CPD, although they are of a different nature from harmonised product standards³. Therefore, technical aspects arising from the Eurocodes work need to be adequately considered by CEN Technical Committees and/or EOTA Working Groups working on product standards with a view to achieving full compatibility of these technical specifications with the Eurocodes.

² Відповідно до ст. 3.3 документа CPD основні вимоги (ER) отримують конкретну форму у тлумачних документах для створення необхідних зв'язків між основними вимогами та мандатами для гармонізованих ENi та ETAGi/ETAi.

² According to Art. 3.3 of the CPD, the essential requirements (ERs) shall be given concrete form in interpretative documents for the creation of the necessary links between the essential requirements and the mandates for harmonised ENs and ETAGs/ETAs.

³ Відповідно до ст. 12 CPD тлумачні документи мають:

a) надати конкретної форми основним вимогам, узгодивши термінологію і технічні засади і вказавши класи або рівні для кожної вимоги, де це необхідно;

b) вказати методи встановлення співвідношення між цими класами або рівнями вимог із технічними вимогами, наприклад, методи розрахунку і перевірки, технічні правила проектування і т. ін.;

c) слугувати рекомендацією для встановлення узгоджених стандартів і настанов для Європейського технічного ухвалення.

Єврокоди фактично відіграють подібну роль у сфері ER 1 і частині ER 2.

³ According to Art. 12 of the CPD the interpretative documents shall :

a) give concrete form to the essential requirements by harmonising the terminology and the technical bases and indicating classes or levels for each requirement where necessary ;

b) indicate methods of correlating these classes or levels of requirement with the technical specifications, e.g. methods of calculation and of proof, technical rules for project design, etc. ;

Стандарти Єврокодів регламентують загальні правила проектування для практичного використання всіх конструкцій та їх компонентів як традиційного, так і інноваційного характеру. Унікальні форми конструкції або умови проектування спеціально не охоплюються, і в таких випадках проектувальнику потрібен додатковий експертний розгляд.

Національні стандарти, що впроваджують Єврокоди

Національні стандарти, що впроваджують Єврокоди, завжди включають повний текст Єврокоду (включаючи всі додатки), виданий CEN, якому можуть передувати Національний титульний лист та Національна передмова, а також можуть супроводжуватися Національним додатком.

Національний додаток може включати інформацію відносно тих параметрів, які залишилися відкритими в Єврокодах для національного вибору, відомі як національно визначені параметри для використання при проектуванні будівель та інженерних споруд, що будуть зведені у зацікавленій країні, а саме:

- значення і/або класи, де в Єврокодi даються альтернативи;
- значення, які слід використовувати там, де в Єврокодi наведено тільки позначення;
- специфічні дані країни (географічні, кліматичні тощо), наприклад, карта снігу;
- методика, що використовується, коли в Єврокодi обумовлені альтернативні методики.

В ньому можуть бути:

- рекомендації щодо застосування інформаційних додатків;
- посилання на додаткову інформацію, яка не суперечить нормативним вимогам і допомагає при користуванні Єврокодами.

The Eurocode standards provide common structural design rules for everyday use for the design of whole structures and component products of both a traditional and an innovative nature. Unusual forms of construction or design conditions are not specifically covered and additional expert consideration will be required by the designer in such cases.

National Standards implementing Eurocodes

The National Standards implementing Eurocodes will comprise the full text of the Eurocode (including any annexes), as published by CEN, which may be preceded by a National title page and National foreword, and may be followed by a National annex.

The National annex may only contain information on those parameters which are left open in the Eurocode for national choice, known as Nationally Determined Parameters, to be used for the design of buildings and civil engineering works to be constructed in the country concerned, i.e. :

- values and/or classes where alternatives are given in the Eurocode,
- values to be used where a symbol only is given in the Eurocode,
- country specific data (geographical, climatic, etc.), e.g. snow map,
- the procedure to be used where alternative procedures are given in the Eurocode.

It may also contain:

- decisions on the application of informative annexes,
- references to non-contradictory complementary information to assist the user to apply the Eurocode.

Зв'язки між Єврокодами та гармонізованими технічними специфікаціями (ENs та ETAs) для виробів

Необхідна узгодженість між гармонізованими технічними специфікаціями для будівельних виробів та технічними правилами для будівель і споруд та будівельних робіт⁴. Крім того, у повній інформації, яка супроводжує CE маркування будівельних виробів і має відношення до Єврокодів, має бути чітко зазначено, які національно визначені параметри були взяті до уваги.

Додаткова інформація щодо ДСТУ-Н Б EN 1991-4

Стандарт ДСТУ-Н Б EN 1991-4 дає вказівки по загальним принципам і впливам для розрахунку конструкцій будівель та інженерних споруд, включаючи деякі геотехнічні аспекти. Стандарт повинен застосовуватися разом з ДСТУ-Н Б EN 1990, а також стандартами серій ДСТУ-Н Б EN 1992 - ДСТУ-Н Б EN 1999.

ДСТУ-Н Б EN 1991-4 розроблений для замовників, проектувальників підрядних організацій та органів місцевої влади.

ДСТУ-Н Б EN 1991-4 має використовуватися разом з ДСТУ-Н Б EN 1990, іншими розділами ДСТУ-Н Б EN 1991 та ДСТУ-Н Б EN 1992 до ДСТУ-Н Б EN 1999 для проектування конструкцій.

Національний додаток до EN 1991-4

Цей стандарт надає альтернативні процедури, величини і рекомендації для класів з примітками, які вказують місце, де необхідно зробити національний вибір. Таким чином, Національний стандарт, який імплементує EN 1991-4 повинен мати Національний додаток, який включає всі Національно Визначені Параметри, які використовуються при проектуванні будівель та цивільних споруд, які будуть побудовані у відповідній країні.

Links between Eurocodes and harmonised technical specifications (ENs and ETAs) for products

There is a need for consistency between the harmonised technical specifications for construction products and the technical rules for works⁴. Furthermore, all the information accompanying the CE Marking of the construction products which refer to Eurocodes should clearly mention which Nationally Determined Parameters have been taken into account.

Additional information specific for EN 1991-4

EN 1991-4 provides general principles and actions for the structural design of buildings and civil engineering works including some geotechnical aspects and shall be used in conjunction with EN 1990 and EN 1992-1999.

EN 1991-3 is intended for clients, designers, contractors and public authorities.

EN 1991-3 is intended to be used with EN 1990, the other Parts of EN 1991 and EN 1992 to EN 1999 for the design of structures.

National Annex for EN1991-4

This standard gives alternative procedures, values and recommendations for classes with notes indicating where national choices may have to be made. Therefore the National Standard implementing EN 1991-4 should have a National Annex containing all Nationally Determined Parameters to be used for the design of buildings and civil engineering works to be constructed in the relevant country.

⁴ дивись розділ 3.3 і розділ 12 з CPD, а також пункти 4.2, 4.3.1, 4.3.2 і 5.2 з ID 1

⁴ see Art.3.3 and Art.12 of the CPD, as well as clauses 4.2, 4.3.1, 4.3.2 and 5.2 of ID 1.

Національний вибір в EN 1991-4 дозволяється в:

- 2.5 (5)

- 3.6 (2)

- 5.2.4.3.1 (3)

- 5.4.1 (3)

- 5.4.1 (4)

- A.4 (3)

- B.2.14 (1)

National choice is allowed in EN 1991-4 through:

- 2.5 (5)

- 3.6 (2)

- 5.2.4.3.1 (3)

- 5.4.1 (3)

- 5.4.1 (4)

- A.4 (3)

- B.2.14 (1)

1 Загальні положення

1.1 Сфера застосування

1.1.1 Область застосування ДСТУ-Н Б EN 1991

(1)Р Серія стандартів ДСТУ-Н Б EN 1991 дає вказівки по загальним принципам і впливам для розрахунку конструкцій будівель та інженерних споруд, включаючи деякі геотехнічні аспекти. Стандарт повинен застосовуватися разом з ДСТУ-Н Б EN 1990, а також стандартами серій ДСТУ-Н Б EN 1992 - ДСТУ-Н Б EN 1999.

(2) Крім того, серія стандартів ДСТУ-Н Б EN 1991 охоплює розрахунок конструкцій в процесі будівництва і розрахунок тимчасових споруд. Серія може застосовуватися до усіх умов, для яких потрібна адекватна робота несучих конструкцій.

(3) Серія стандартів ДСТУ-Н Б EN 1991 не спрямована безпосередньо для застосування в перевірочних розрахунках існуючих конструкцій, при розробці проектів ремонту, реконструкції або для оцінки можливості зміни призначення.

(4) Серія стандартів ДСТУ-Н Б EN 1991 не покриває повністю специфічні розрахункові ситуації, що вимагають нестандартної оцінки надійності, як наприклад, для несучих конструкцій ядерної енергетики, для розрахунку яких слід використовувати спеціальні методики.

1.1.2 Область застосування ДСТУ-Н Б EN 1991-4 - дії на бункери та резервуари

(1)Р Цей стандарт містить загальні принципи і вказівки щодо визначення впливів для розрахунку конструкцій бункерів для зберігання сипкого матеріалу і резервуарів для зберігання рідин. Цей Стандарт слід застосовувати в поєднанні з ДСТУ-Н Б EN 1990, з іншими частинами серії ДСТУ-Н Б EN 1991, а також зі стандартами серій ДСТУ-Н Б EN 1992 - ДСТУ-Н Б EN 1999.

(2) Цей стандарт містить також деякі положення що до впливів на бункери та резервуари, які не відносяться безпосередньо до матеріалів, що зберігаються (наприклад,

Section 1 General

1.1 Scope

1.1.1 Scope of EN 1991 – Eurocode 1

(1)P EN 1991 provides general principles and actions for the structural design of buildings and civil engineering works including some geotechnical aspects and shall be used in conjunction with EN 1990 and EN 1992-1999.

(2) EN 1991 also covers structural design during execution and structural design for temporary structures. It relates to all circumstances in which a structure is required to give adequate performance.

(3) EN 1991 is not directly intended for the structural appraisal of existing construction, in developing the design of repairs and alterations or for assessing changes of use.

(4) EN 1991 does not completely cover special design situations which require unusual reliability considerations such as nuclear structures for which specified design procedures should be used.

1.1.2 Scope of EN 1991-4 actions on structures: silos and tanks

(1)P This part provides general principles and actions for the structural design of silos for the storage of particulate solids and tanks for the storage of fluids and shall be used in conjunction with EN 1990, other parts of EN 1991 and EN 1992 to EN 1999.

(2) This part includes some provisions for actions on silo and tank structures that are not only associated with the stored solids or liquids (e.g. the effects of thermal differentials, aspects of the

вплив температурного градієнта, нерівномірні осідання основи комплексу бункерів).

(3) Правила розрахунку для бункерів можливо застосовувати при виконанні наступних обмежень:

- форми поперечного перерізу бункерів обмежені випадками, представленими на рисунку 1.1, d). Невеликі відхилення можуть бути допущені за умови врахування впливу на конструкції змін тиску, що викликаються цими відхиленнями;
- на геометричні розміри поширюються наступні обмеження:
$$h_b / d_c < 10$$
$$h_b < 100 \text{ m}$$
$$d_c < 60 \text{ m}$$
- перехід від вертикального ствола бункера до воронки знаходиться в одній горизонтальній площині (див. рисунок 1.1, а);
- бункер не містить вбудованих елементів, таких як конуси або піраміди з вершиною, спрямованої вгору, поперечних балок тощо, але прямокутний бункер може включати внутрішні затяжки.

(4) Використання правил розрахунку навантажень для бункерів допускається за умови відповідності матеріалу, що зберігається, наступним обмеженням:

- кожен бункер розраховується на певний діапазон властивостей сипкого матеріалу;
- сипучий матеріал є вільно текучим, або має бути забезпечено, що всередині бункера він веде себе як вільно текучий сипучий матеріал (див. 1.5.12 і додаток С);
- максимальний розмір зерна сипкого матеріалу не перевищує $0,03d_c$ (див. рисунок 1.1, d).

Примітка. Якщо частки сипкого матеріалу мають великі розміри в порівнянні з товщиною стінки бункера, необхідно врахувати їх вплив шляхом докладання локальних сил до стінки.

(5) Використання правил розрахунку нава-

differential settlements of batteries of silos)

(3) The following geometrical limitations apply to the design rules for silos:

- the silo cross-section shapes are limited to those shown in Figure 1.1d, though minor variations may be accepted provided the structural consequences of the resulting changes in pressure are considered;
- the following dimensional limitations apply:
$$h_b / d_c < 10$$
$$h_b < 100 \text{ m}$$
$$d_c < 60 \text{ m}$$
- the transition lies in a single horizontal plane (see Figure 1.1a);
- the silo does not contain an internal structure such as a cone or pyramid with its apex uppermost, cross-beams, etc. However, a rectangular silo may contain internal ties.

(4) The following limitations on the stored solids apply to the design rules for silos:

- each silo is designed for a defined range of particulate solids properties;
- the stored solid is free-flowing, or the stored solid can be guaranteed to flow freely within the silo container as designed (see 1.5.12 and Annex C);
- the maximum particle diameter of the stored solid is not greater than $0,03d_c$ (see Figure 1.1d).

NOTE: When particles are large compared to the silo wall thickness, account should be taken of the effects of single particles applying local forces on the wall.

(5) The following limitations on the filling and

нтажень для бункерів допускається при виконанні наступних обмежень на умови заповнення і вивантаження:

- при заповненні виникають тільки досить малі сили інерції й ударні впливи, якими можна знехтувати;
- при застосуванні пристроїв для вивантаження (наприклад, живильники або внутрішні труби) потік сипкого матеріалу є рівномірним і рухається по центру.

(6) Цей стандарт поширюється на конічні, пірамідальні з прямокутною підставою і клиновидні (з вертикальними торцевими стінками) воронки. Інші форми воронок або воронки з внутрішніми елементами вимагають окремого розгляду.

(7) Бункери з систематично несиметричною геометрією не розглядаються в цьому стандарті. До них відносяться циліндричні бункери з клиноподібною воронкою і багатогранні пірамідальні воронки.

(8) Розрахункові положення для резервуарів поширюються тільки на резервуари, що зберігають рідини при звичайному атмосферному тиску.

(9) Навантаження на покрівлі бункерів і резервуарів приймаються згідно з відповідними стандартами ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1, ДСТУ-Н Б EN 1991-1-3 - ДСТУ-Н Б EN 1991-1-7 і ДСТУ-Н Б EN 1991-3.

(10) Розрахунок бункерів з безперервним режимом вивантаження в цьому стандарті не розглядається.

(11) Розрахунок бункерів при дії струсів, поштовхів, ударів і наявності резонансів в цьому стандарті не розглядається.

Примітка. Ці явища досі повністю не вивчені, так що застосування цього технічного стандарту не може гарантувати їх відсутність або достатню несучу здатність бункера для їх сприйняття.

discharge arrangements apply to the design rules for silos:

- filling involves only negligible inertia effects and impact loads;
- where discharge devices are used (for example feeders or internal flow tubes) solids flow is smooth and central.

(6) Only hoppers that are conical (i.e. axisymmetric), square pyramidal or wedge-shaped (i.e. with vertical end walls) are covered by this standard. Other hopper shapes and hoppers with internals require special considerations.

(7) Some silos with a systematically non-symmetric geometry are not specifically covered by this standard. These cases include a chisel hopper (i.e. a wedge hopper beneath a circular cylinder) and a diamond-back hopper.

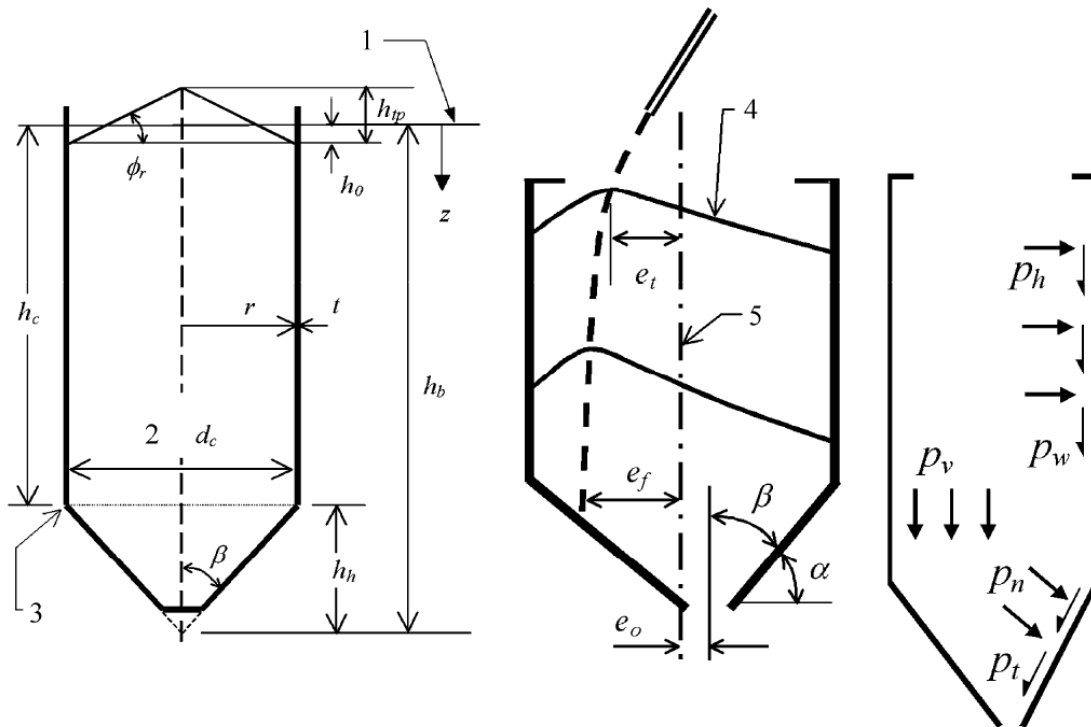
(8) The design rules for tanks apply only to tanks storing liquids at normal atmospheric pressure.

(9) Actions on the roofs of silos and tanks are given in EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 to EN 1991-1-7 and EN 1991-3 as appropriate.

(10) The design of silos for reliable solids discharge is outside the scope of this standard.

(11) The design of silos against silo quaking, shocks, honking, pounding and silo music is outside the scope of this standard.

NOTE: These phenomena are not well understood, so the use of this standard does not guarantee that they will not occur, or that the structure is adequate to resist them.



a - геометрична форма;

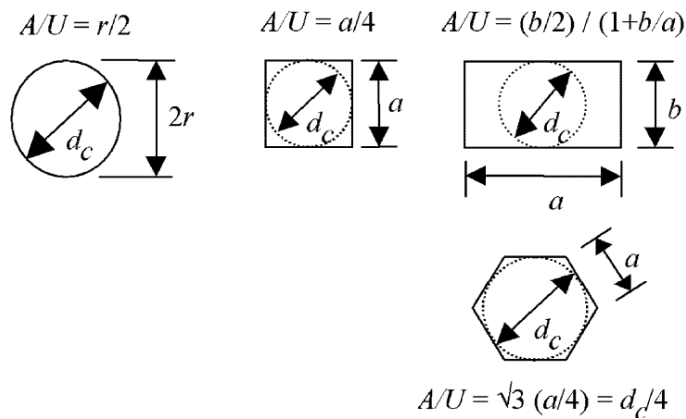
a) Geometry

b - ексцентриситети;

b) Eccentricities

с - тиск і тертя;

c) Pressures and tractions



d - форми поперечного перерізу

d) Cross-section shapes

Роз'яснення

- 1 еквівалентна поверхня сипкого матеріалу;
- 2 внутрішній розмір;
- 3 перехід;
- 4 профіль поверхні при заповненому бункері;
- 5 центральна вісь бункера

Key

- 1 Equivalent surface
- 2 Inside dimension
- 3 Transition
- 4 Surface profile for full condition
- 5 Silo centre line

Рисунок 1.1 – Форми бункерів із зазначенням геометричних параметрів і навантажень

Figure 1.1: Silo forms showing dimensions and pressure notation

1.2 Нормативні посилання

Даний стандарт включає в себе за допомогою датованих або недатованих посилань вимоги з інших документів. Ці нормативні посилання наведені у відповідних місцях тексту; відповідні документи перераховані нижче. Для датованих посилань наступні зміни або редакції цих документів застосовуються до даного стандарту тільки шляхом додавання до нього змін або при новій редакції. Для недатованих посилань дійсно останнє видання документа (включаючи зміни).

ISO 3898:1997. Основи проектування конструкцій. Примітки. Загальні символи.

Примітка. Перелік Європейських стандартів (опублікованих або які знаходяться на підготовці до публікації), процитованих у відповідних місцях тексту:

ДСТУ-Н Б EN 1990:2008 «Єврокод. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDT).

ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-1. Загальні дії. Питома вага, власна вага, експлуатаційні навантаження для споруд (EN 1991-1-1:2002, IDT)»

ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі (EN 1991-1-2:2002, IDT)»

ДСТУ-Н Б EN 1991-1-3:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-3. Загальні дії. Снігові навантаження (EN 1991-1-3:2003, IDT)»

ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-4. Загальні дії. Вітрові навантаження (EN 1991-1-4:2005, IDT)»

ДСТУ-Н Б EN 1991-1-5:20XX «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-5. Загальні дії. Теплові дії (EN 1991-1-5:2003, IDT)»

ДСТУ-Н Б EN 1991-1-6:20XX «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-6. Загальні дії. Дії під час зведення (EN 1991-1-6:2005, IDT)»

ДСТУ-Н Б EN 1991-1-7:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-7. Загальні дії. Особливі динамічні впливи (EN 1991-1-7:2006, IDT)»

ДСТУ-Н Б EN 1991-2:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 2. Рухомі навантаження на мости (EN 1991-2:2003, IDT)»

ДСТУ-Н Б EN 1991-3:20XX «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 3. Загальні дії. Дії, що викликані кранами та обладнанням (EN 1991-3:2006, IDT)»

ДСТУ-Н Б EN 1992 «Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій», всі частини

1.2 Normative references

This European Standard incorporates, by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this European Standard only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references the latest edition of the publication applies (including amendments).

ISO 3898:1997 Basis of design for structures: Notation. General symbols

NOTE: The following European Standards which are published or in preparation are cited at the appropriate places in the text:

EN 1990 Basis of structural design

EN 1991-1-1 Eurocode 1: Actions on structures: Part 1.1: Densities, self-weight and imposed loads

EN 1991-1-2 Eurocode 1: Actions on structures: Part 1.2: Actions on structures exposed to fire

EN 1991-1-3 Eurocode 1: Actions on structures: Part 1.3: Snow loads

EN 1991-1-4 Eurocode 1: Actions on structures: Part 1.4: Wind actions

EN 1991-1-5 Eurocode 1: Actions on structures: Part 1.5: Thermal actions

EN 1991-1-6 Eurocode 1: Actions on structures: Part 1.6: General actions. Actions during execution

EN 1991-1-7 Eurocode 1: Actions on structures: Part 1.7: Accidental actions

EN 1991-2 Eurocode 1: Actions on structures: Part 2: Traffic loads on bridges

EN 1991-3 Eurocode 1: Actions on structures: Part 3: Actions induced by cranes and machinery

EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures

EN 1992-4. Єврокод 2. Проектування конструкцій з бетону. Частина 4. Опорні споруди і споруди з резервуарами з бетону

ДСТУ-Н Б EN 1993 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій», всі частини

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-6:2011 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-6. Міцність та стійкість оболонок (EN 1993-1-6:2007, IDT)»

ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1:20XX «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 4-1. Силоси (EN 1993-4-1:2007, IDT)»

ДСТУ-Н Б EN 1993-4-2:20XX «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 4-2. Резервуари (EN 1993-4-2:2007, IDT)»

ДСТУ-Н Б EN 1994 «Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій», всі частини

ДСТУ-Н Б EN 1995 «Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій», всі частини

ДСТУ-Н Б EN 1996 «Єврокод 6. Проектування кам'яних конструкцій», всі частини

ДСТУ-Н Б EN 1997 «Єврокод 7. Геотехнічне проектування», всі частини

ДСТУ-Н Б EN 1998 «Єврокод 8. Проектування сейсмостійких конструкцій», всі частини

ДСТУ-Н Б EN 1999 «Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій», всі частини

EN 1992-4 Eurocode 2: Design of concrete structures: Part 4: Liquid retaining and containment structures

EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures

EN 1993-1-6 Eurocode 3: Design of steel structures: General rules: Part 1.6: Supplementary rules for the strength and stability of shell structures

EN 1993-4-1 Eurocode 3: Design of steel structures: Part 4.1: Silos

EN 1993-4-2 Eurocode 3: Design of steel structures: Part 4.2: Tanks

EN 1994 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures

EN 1995 Eurocode 5: Design of timber structures

EN 1996 Eurocode 6: Design of masonry structures

EN 1997 Eurocode 7: Geotechnical design

EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance

EN 1999 Eurocode 9: Design of aluminium alloy structures

1.3 Передумови

(1)P Застосовуються загальні передумови, зазначені в 1.3 ДСТУ-Н Б EN 1990.

1.4 Відмінності між принципами і правилами, що застосовуються

(1) В залежності від змісту окремих абзаців, у цій частині стандарту розрізняють принципи і застосовувані правила.

(2) Принципи включають:

- загальні твердження і визначення, для яких не існує альтернативи;
- вимоги та розрахункові моделі, для яких альтернатива не дозволена, за винятком явно зазначених випадків.

(3) Принципи позначаються буквою P, яка слідує за номером абзацу.

(4) Застосовувані правила являють собою загальноновизнані положення, які виходять з принципів і задовольняють їх вимогам.

1.3 Assumptions

(1)P The general assumptions given in EN 1990, 1.3 apply.

1.4 Distinction between principles and application rules

(1) Depending on the character of the individual paragraphs, distinction is made in this part between principles and application rules.

(2) The principles comprise:

- general statements and definitions for which there is no alternative, as well as
- requirements and analytical models for which no alternative is permitted unless specifically stated.

(3) The principles are identified by the letter P following the paragraph number.

(4) The application rules are generally recognized rules which follow the principles and satisfy their requirements.

(5) Допускається використовувати альтернативні правила на відміну від застосовуваних правил цього стандарту, якщо альтернативні правила відповідають принципам і забезпечують не менший рівень надійності.

(6) У цьому стандарті застосовувані правила позначаються числом в дужках, наприклад, як даний абзац.

1.5 Визначення

На цей Стандарт поширюються визначення, наведені в 1.5 ДСТУ-Н Б EN 1990. Наступні додаткові визначення відносяться спеціально до цього стандарту.

1.5.1

днище бункера з аерацією

підстава бункера, в якому проходить або нагнітається повітря для активізації руху потоку матеріалу на днище бункера (див. рисунок 3.5, b).

1.5.2

характеристичний розмір внутрішнього поперечного перерізу бункера

характеристичним розміром d_c є діаметр найбільшого вписаного кола всередині поперечного перерізу бункера (див. рисунок 1.1, d).

1.5.3

круглий бункер

бункер, поперечний переріз якого має форму кола (див. рисунок 1.1, d).

1.5.4

зчеплення (когезія)

зсувна міцність матеріалу, що зберігається, коли нормальні напруження по площині зсуву дорівнюють нулю.

1.5.5

конічна воронка

воронка, у якій похила бокова поверхня збігається в напрямку до однієї точки, з метою забезпечення осесиметричного потоку.

(5) It is permissible to use alternative rules different from the application rules given in this Eurocode, provided it is shown that the alternative rules accord with the relevant principles and have at least the same reliability.

(6) In this part the application rules are identified by a number in parentheses, e.g. as this paragraph.

1.5 Definitions

For the purposes of this standard, a basic list of definitions is provided in EN 1990, 1.5 and the additional definitions given below are specific to this part.

1.5.1

aerated silo bottom

a silo base in which air slides or air injection is used to activate flow in the bottom of the silo (see figure 3.5b)

1.5.2

characteristic dimension of inside of silo cross-section

the characteristic dimension d_c is the diameter of the largest inscribed circle within the silo cross-section (see Figure 1.1d)

1.5.3

circular silo

a silo whose plan cross-section is circular (see Figure 1.1d)

1.5.4

cohesion

the shear strength of the stored solid when the normal stress on the failure plane is zero

1.5.5

conical hopper

a hopper in which the sloping sides converge towards a single point intended to produce axisymmetric flow in the stored solid

1.5.6

вивантаження з ексцентриситетом

профіль потоку в матеріалі що зберігається, виникаючий при русі матеріалу з несиметричним розподілом щодо вертикальної центральної вісі бункера. Зазвичай це є наслідком розташування вихідного отвору з ексцентриситетом (див. рисунки 3.2, c), d) і 3.3, b), c), але це може викликатися і іншими несиметричними явищами (див. рисунок 3.4, d).

1.5.7

заповнення з ексцентриситетом

стан, при якому вершина насипної поверхні сипкого матеріалу після заповнення бункера або в процесі заповнення не розташовується по вертикальній центральній вісі бункера (див. рисунок 1.1, b).

1.5.8

еквівалентна поверхня

горизонтальний рівень поверхні, що дає той самий об'єм збереженого матеріалу, що і дійсна форма поверхні.

1.5.9

воронка з розширеним потоком

воронка, у якої бокова поверхня в нижній частині є досить крутою для утворення масового потоку, тоді як воронка у верхній частині має пологу бічну поверхню, за рахунок чого там повинен очікуватися центральний потік (див. рисунок 3.5, d). Таке розміщення зменшує висоту воронки при одночасному забезпеченні надійного розвантаження.

1.5.10

плоске днище

внутрішня підстава бункера з нахилом до горизонталі менше 5° .

1.5.11

форма потоку

форма сталого потоку матеріалу, що витікає (див. рисунки 3.1 - 3.4). Бункер при цьому знаходиться практично в повністю заповненому стані.

1.5.6

eccentric discharge

flow pattern in the stored solid arising from moving solid being unsymmetrically distributed relative to the vertical centreline of the silo. This normally arises as a result of an eccentrically located outlet (see Figures 3.2c and d, 3.3b and c), but can be caused by other unsymmetrical phenomena (see Figure 3.4d)

1.5.7

eccentric filling

a condition in which the top of the heap at the top of the stored solids at any stage of the filling process is not located on the vertical centreline of the silo (see Figure 1.1b)

1.5.8

equivalent surface

level surface giving the same volume of stored solid as the actual surface (see Figure 1.1a)

1.5.9

expanded flow hopper

a hopper in which the lower section of the hopper has sides sufficiently steep to cause mass flow, while the upper section of the hopper has shallow sides and funnel flow is expected (see Figure 3.5d). This expedient arrangement reduces the hopper height whilst assuring reliable discharge

1.5.10

flat bottom

the internal base of a silo, when it has an inclination to the horizontal less than 5°

1.5.11

flow pattern

the form of flowing solid in the silo when flow is well established (see Figures 3.1-3.4). The silo is close to the full condition

1.5.12

матеріал в підвішеному стані

стан збереженого дрібно подрібненого матеріалу, коли в його об'ємі присутня велика кількість пор повітря, тиск якого компенсує вагу часток матеріалу. Повітря може вноситися шляхом нагнітання або в процесі заповнення. Сипучий матеріал вважається частково підвішеним, якщо тільки частина ваги часток сипкого матеріалу компенсується внутрішнім тиском повітря.

1.5.13

вільно поточний гранульований матеріал

гранульований сипучий матеріал, поведінка якого при течії не має суттєвої залежності від сил зчеплення.

1.5.14

повністю заповнений стан

бункер знаходиться в повністю заповненому стані, якщо поверхня матеріалу, що зберігається, знаходиться в своєму максимально верхньому положенні, яке можливе протягом розрахункового терміну служби бункера. Це приймається в якості розрахункового стану бункера.

1.5.15

потік, що звужується

форма потоку, при якому утворюється канал течії матеріалу в межах обмеженої зони вище вихідного отвору і матеріал, що примикає до стінки біля вихідного отвору, залишається нерухомим (див. рисунок 3.1). Канал течії може контактувати з вертикальною стінкою бункера (змішаний потік) або він може поширюватися до верхньої поверхні без контакту зі стінками (потік в трубі).

1.5.16

гранульований матеріал

подрібнений матеріал, в якому частки досить великі, щоб внутрішнє повітря чинило незначний вплив на тиск і витікання великих мас матеріалу.

1.5.12

fluidized solid

a state of a stored fine particulate solid when its bulk contains a high proportion of interstitial air, with a pressure gradient that supports the weight of the particles. The air may be introduced either by aeration or by the filling process. A solid may be said to be partially fluidized when only part of the weight of particles is supported by the interstitial air pressure gradient

1.5.13

free flowing granular solid

a granular solid whose flowing behaviour is not significantly affected by cohesion

1.5.14

full condition

a silo is said to be in the full condition when the top surface of the stored solid is at the highest position considered possible under operating conditions during the design life-time of the structure. This is the assumed design condition for the silo

1.5.15

funnel flow

a flow pattern in which a channel of flowing solid develops within a confined zone above the outlet, and the solid adjacent to the wall near the outlet remains stationary (see Figure 3.1). The flow channel can intersect the vertical walled segment (mixed flow) or extend to the surface of the stored solid (pipe flow)

1.5.16

granular solid

a particulate solid in which all the particles are so large that interstitial air plays a small role in determining the pressures and flow of large masses of the solid

1.5.17

висока швидкість заповнення

стан в бункері, коли швидкість заповнення викликає затягнення повітря всередину матеріалу, що зберігається, в такій кількості, що це призводить до значної зміни тисків на стінки бункера в порівнянні з матеріалом без повітря.

1.5.18

бункер для матеріалу в однорідному підвішеному стані

бункер, в якому подрібнений матеріал знаходиться в підвішеному стані для полегшення перемішування.

1.5.19

воронка

днище бункера з похилими стінками.

1.5.20

коефіцієнт тиску воронки F

відношення нормального тиску p_n на похилу стінку воронки до середнього вертикального тиску p_v в матеріалі на тому ж рівні.

1.5.21

бункер середньої гнучкості

бункер, для якого виконується умова $1,0 < h_c/d_c < 2,0$ (виключення визначені в 3.3).

1.5.22

внутрішній потік в трубі

форма потоку в трубі, в якому межа каналу витікання поширюється до поверхні матеріалу без контакту зі стінками бункера (див. рисунки 3.1 і 3.2).

1.5.23

коефіцієнт бокового тиску K

відношення середнього горизонтального тиску на вертикальну стінку бункера до середнього вертикального тиску в матеріалі на тому ж рівні.

1.5.17

high filling velocity

the condition in a silo where the rapidity of filling can lead to entrainment of air within the stored solid to such an extent that the pressures applied to the walls are substantially changed from those without air entrainment

1.5.18

homogenizing fluidized silo

a silo in which the particulate solid is fluidized to assist blending

1.5.19

hopper

a silo bottom with inclined walls

1.5.20

hopper pressure ratio F

the ratio of the normal pressure p_n on the sloping wall of a hopper to the mean vertical stress p_v in the solid at the same level

1.5.21

intermediate slenderness silo

a silo where $1,0 < h_c/d_c < 2,0$ (except as defined in 3.3)

1.5.22

internal pipe flow

a pipe flow pattern in which the flow channel boundary extends to the surface of the stored solid without contact with the wall (see Figures 3.1 and 3.2)

1.5.23

lateral pressure ratio K

the ratio of the mean horizontal pressure on the vertical wall of a silo to the mean vertical stress in the solid at the same level

1.5.24

низьке зчеплення

проба сипкого матеріалу має низьке зчеплення, якщо коефіцієнт зчеплення c становить менше ніж 4 % від тиску початкового ущільнення σ_r (метод визначення зчеплення зазначений у C.9).

1.5.25

масовий потік

форма потоку, при якому всі частки матеріалу, що зберігається, при вивантаженні рухаються одночасно (гідравлічне витікання) (див. рисунок 3.1, а).

1.5.26

змішаний потік

форма потоку що звужується, при якому канал закінчення стикається з вертикальною стінкою бункера нижче поверхні сипкого матеріалу (див. рисунки 3.1, с і 3.3).

1.5.27

не круглий бункер

бункер з поперечним перерізом не круглої форми (див. рисунок 1.1, d).

1.5.28

сипучий (подрібнений) матеріал

твердий матеріал, що складається з безлічі окремих незалежних часток.

1.5.29

місцеве розподілене навантаження

локальний тиск, що діє в межах певної зони на довільну частину вертикальної стінки бункера.

1.5.30

потік в трубі

форма потоку, при якому сипучий матеріал рухається у вертикальному або майже вертикальному каналі над вихідним отвором, але близько каналу витікання знаходиться в нерухомому стані (див. рисунки 3.1, b і 3.2). Потік може знаходитися біля стінки бункера, якщо вихідний отвір розташовано з ексцентриситетом (див. рисунки 3.2, с) і

1.5.24

low cohesion

a particulate solid sample has low cohesion if the cohesion c is less than 4% of the preconsolidation stress σ_r (a method for determining cohesion is given in C.9)

1.5.25

mass flow

a flow pattern in which all the stored particles are simultaneously in motion during discharge (see Figure 3.1a)

1.5.26

mixed flow

a funnel flow pattern in which the flow channel intersects the vertical wall of the silo at a point below the solid surface (see Figures 3.1c and 3.3)

1.5.27

non-circular silo

a silo whose plan cross-section is in any shape that is not circular (see Figure 1.1d)

1.5.28

particulate solid

a solid in the form of many discrete and independent particles

1.5.29

patch load

a local load taken to act over a specified zone on any part of the vertical wall of a silo

1.5.30

pipe flow

a flow pattern in which the particulate solid in a vertical or nearly vertical channel above the outlet is in motion, but is surrounded by stationary solid (see Figures 3.1b and 3.2). Flow may occur against the silo wall if the outlet is eccentric (see Figures 3.2c and d) or if specific factors cause the channel location to move from above the outlet (see Figure 3.4d)

d) або якщо спеціальні фактори призводять до того, що канал витікання відхиляється від вертикальної вісі над отвором (див. рисунок 3.4, d).

1.5.31

плоский потік

форма потоку в бункері прямокутного або квадратного перетину з воронкою, що має щілинний вихідний отвір. Щілинний отвір розташовано паралельно двом стінкам бункера і дорівнює довжині цих стінок.

1.5.31

plane flow

a flow profile in a rectangular or a square cross-section silo with a slot outlet. The slot is parallel with two of the silo walls and its length is equal to the length of these walls

1.5.32

порошкоподібний матеріал

у цьому стандарті так називається матеріал, середній розмір часток якого менший 0,05 мм.

1.5.32

powder

for the purposes of this standard, a solid whose mean particle size is less than 0,05 mm is classed as a powder

1.5.33

тиск

відношення сили, що діє перпендикулярно стінці бункера, до одиниці площі.

1.5.33

pressure

force per unit area normal to a wall of the silo

1.5.34

підпiрний бункер

бункер з плоским днищем при $h_c/d_c \leq 0,4$.

1.5.34

retaining silo

a silo whose bottom is flat and where $h_c/d_c \leq 0,4$

1.5.35

полога воронка

воронка, в якій після заповнення бункера не реалізується повне значення тертя об стінки.

1.5.35

shallow hopper

a hopper in which the full value of wall friction is not mobilized after filling the silo

1.5.36

бункер

утримуюча конструкція для зберігання подрібненого твердого матеріалу (тобто бункер, короб або силос).

1.5.36

silo

containment structure used to store particulate solids (i.e. bunker, bin or silo)

1.5.37

гнучкий бункер

бункер з відношенням висоти до характеристичного розміру $h_c/d_c \geq 2,0$ або бункер, який відповідає додатковим умовам (див. 3.3).

1.5.37

slender silo

a silo where $h_c/d_c \geq 2,0$ or that meets the additional conditions defined in 3.3

1.5.38

гнучкість

відношення висоти до діаметра h_c/d_c вертикального перерізу бункера.

1.5.39

бункер малої гнучкості

бункер з відношенням висоти до характеристичного розміру $0,4 < h_c/d_c \leq 1,0$ або бункер, який відповідає додатковим умовам (див. 3.3). Якщо $h_c/d_c < 0,4$, то бункер є бункером малої гнучкості при наявності воронки і підпірним бункером при плоскому дніщі.

1.5.40

крута воронка

воронка, в якій після заповнення бункера реалізується повне значення тертя об стінки.

1.5.41

тиск в сипкому матеріалі

сила на одиницю площі всередині сипкого матеріалу що зберігається.

1.5.42

резервуар

утримуюча конструкція для зберігання рідин.

1.5.43

товстостінний бункер

бункер з відношенням характеристичного розміру до товщини стінки меншим ніж $d_c/t = 200$.

1.5.44

тонкостінний циліндричний бункер

круглий бункер з відношенням характеристичного розміру до товщини стінки більшим ніж $d_c/t = 200$.

1.5.45

дотичний тиск

відношення сили, що діє паралельно стінці бункера (вертикальної або похилої), до

1.5.38

slenderness

the aspect ratio h_c/d_c of the silo vertical section

1.5.39

squat silo

a silo where $0,4 < h_c/d_c \leq 1,0$ or that meets the additional conditions defined in 3.3. Where $h_c/d_c < 0,4$ the silo is squat if there is a hopper, but a retaining silo if the bottom is flat

1.5.40

steep hopper

a hopper in which the full value of wall friction is mobilized after filling the silo

1.5.41

stress in the stored solid

force per unit area within the stored solid

1.5.42

tank

containment structure used to store liquids

1.5.43

thick-walled silo

a silo with a characteristic dimension to wall thickness ratio less than $d_c/t = 200$

1.5.44

thin-walled circular silo

a circular silo with a diameter to wall thickness ratio greater than $d_c/t = 200$

1.5.45

traction

force per unit area parallel to the wall of the silo (vertical or inclined)

одиниці площі.

1.5.46

перехідний вузол

перетин воронки і вертикальної стінки бункера.

1.5.46

transition

the intersection of the hopper and the vertical wall

1.5.47

вертикальний ствол

частина бункера або резервуара з вертикальними стінками.

1.5.47

vertical walled segment

the part of a silo or a tank with vertical walls

1.5.48

клиноподібна воронка

воронка, у якої похилі поверхні сходяться в одній площині (з вертикальними торцевими стінками) для створення плоского витікання в сипкому матеріалі.

1.5.48

wedge hopper

a hopper in which the sloping sides converge only in one plane (with vertical ends) intended to produce plane flow in the stored solids

1.6 Позначки

Перелік основних символів міститься в ДСТУ-Н Б EN 1990. Далі вказуються додаткові символи для цього стандарту. Застосовувані символи ґрунтуються на на ISO 3898:1997.

1.6 Symbols used in Part 4 of Eurocode 1

A list of elementary symbols is provided in EN 1990. The following additional symbols are specific to this part. The symbols used are based on ISO 3898:1997.

1.6.1 Великі латинські літери

A	площа горизонтального поперечного перерізу вертикального ствола;
A_c	площа горизонтального поперечного перерізу каналу витікання при вивантаженні з ексцентриситетом;
B	параметр глибини для бункерів малої гнучкості, заповнених з ексцентриситетом;
C	коефіцієнт збільшення навантаження;
C_o	коефіцієнт вивантаження (коефіцієнт збільшення навантаження при вивантаженні) для сипкого матеріалу;

1.6.1 Roman upper case letters

A	plan cross-sectional area of vertical walled segment
A_c	plan cross-sectional area of flow channel during eccentric discharge
B	depth parameter for eccentrically filled squat silos
C	load magnifying factor
C_o	discharge factor (load magnifying factor) for the solid

C_{op}	коефіцієнт місцевого навантаження (коефіцієнт збільшення навантаження) для сипкого матеріалу;	C_{op}	patch load solid reference factor (load magnifying factor) for the stored solid
C_b	коефіцієнт збільшення навантаження для навантажень в основі (вертикального ствола бункера);	C_b	bottom load magnifying factor
C_h	коефіцієнт горизонтального тиску при вивантаженні (коефіцієнт збільшення навантаження);	C_h	horizontal pressure discharge factor (load magnifying factor)
C_{pe}	коефіцієнт місцевого навантаження при вивантаженні (коефіцієнт збільшення навантаження);	C_{pe}	discharge patch load factor (load magnifying factor)
C_{pf}	коефіцієнт місцевого навантаження при заповненні (коефіцієнт збільшення навантаження);	C_{pf}	filling patch load factor (load magnifying factor)
C_S	поправковий коефіцієнт до гнучкості для бункера з проміжною гнучкістю;	C_S	slenderness adjustment factor for intermediate slenderness silos
C_T	коефіцієнт збільшення навантаження для урахування різниці температур;	C_T	load multiplier for temperature differentials
C_w	коефіцієнт збільшення сил тертя при вивантаженні;	C_w	wall frictional traction discharge factor (load magnifying factor)
E	відношення ексцентриситету каналу витікання до радіусу бункера;	E	flow channel eccentricity to silo radius ratio
E_s	ефективний модуль пружності сипкого матеріалу, що зберігається, при відповідному рівні тиску;	E_s	effective elastic modulus of stored solid at relevant stress level
E_w	модуль пружності стінки бункера;	E_w	elastic modulus of silo wall
F	відношення нормального тиску на стінку бункера до середнього вертикального тиску в матеріалі;	F	ratio of normal pressure on hopper wall to mean vertical stress in the solid
F_e	коефіцієнт тиску на воронку в процесі вивантаження;	F_e	hopper pressure ratio during discharge
F_f	коефіцієнт тиску на воронку після заповнення;	F_f	hopper pressure ratio after filling
F_{pe}	повна горизонтальна сила від місцевого навантаження для тонкостінного циліндричного бункера при вивантаженні;	F_{pe}	total horizontal force due to patch load on thin walled circular silo during discharge
F_{pf}	повна горизонтальна сила від місцевого навантаження для тонкостінного циліндричного бункера після завантаження;	F_{pf}	total horizontal force due to patch load on thin walled circular silo after filling

G	відношення радіуса каналу витікання до радіусу циліндричного бункера;	G	ratio of radius of flow channel to radius of circular silo
K	характеристичне значення коефіцієнта бокового тиску;	K	characteristic value of lateral pressure ratio
K_m	середнє значення коефіцієнта бокового тиску;	K_m	mean value of lateral pressure ratio
K_o	значення K , виміряне при нульових горизонтальних деформаціях, при дії головних вертикальних і горизонтальних напружень;	K_o	value of K measured for zero horizontal strain, under horizontal and vertical principal stresses
S	коефіцієнт геометричної форми воронки ($S = 2$ - для конічних воронок; $S = 1$ - для клиноподібних воронок);	S	hopper geometry factor (=2 for conical, = 1 for wedge)
T	температура;	T	temperature
U	внутрішній периметр поперечного перерізу вертикального ствола бункера;	U	internal perimeter of the plan cross-section of the vertical walled segment
U_{sc}	внутрішній периметр каналу витікання до місця контакту з нерухомим матеріалом при вивантаженні з ексцентриситетом;	U_{sc}	internal perimeter of flow channel to static solid contact under eccentric discharge
U_{wc}	внутрішній периметр каналу витікання до місця контакту зі стінкою бункера при вивантаженні з ексцентриситетом;	U_{wc}	internal perimeter of flow channel wall contact under eccentric discharge
Y	змінна функція глибини;	Y	depth variation function
Y_J	змінна функція тиску від глибини за теорією Янсена;	Y_J	Janssen pressure depth variation function
Y_R	змінна функція тиску від глибини для бункера малої гнучкості.	Y_R	squat silo pressure depth variation function

1.6.2 Малі латинські літери

a	довжина сторони прямокутного або шестикутного бункера (див. рисунок 1.1, d);
a	поправковий коефіцієнт для розрахунку верхнього та нижнього характеристичних значень за середнім значенням;
a_K	поправковий коефіцієнт для коефіцієнта бокового тиску;

1.6.2 Roman lower case letters

a	side length of a rectangular or hexagonal silo (see Figure 1.1d)
a	property modification coefficient to give upper and lower characteristic values from mean values
a_K	modification coefficient for lateral pressure ratio

a_γ	поправковий коефіцієнт для питомої ваги сипкого матеріалу;	a_γ	modification coefficient for bulk unit weight
a_ϕ	поправковий коефіцієнт для кута внутрішнього тертя;	a_ϕ	modification coefficient for internal friction angle
a_μ	поправковий коефіцієнт для сил тертя об стінки;	a_μ	modification coefficient for wall friction coefficient
b	ширина прямокутного бункера (див. рисунок 1.1, d);	b	width of a rectangular silo (see Figure 1.1d)
b	емпіричний коефіцієнт для тисків на воронку;	b	empirical coefficient for hopper pressures
c	коефіцієнт зчеплення сипкого матеріалу;	c	cohesion of the solid
d_c	характеристичний розмір внутрішнього поперечного перерізу бункера (див. рисунок 1.1, d);	d_c	characteristic dimension of inside of silo cross-section (see Figure 1.1d)
e	найбільше значення ексцентриситету e_f і e_o ;	e	the larger of e_f and e_o
e_c	ексцентриситет середньої вісі каналу витікання при великому ексцентриситеті потоку (див. рисунок 5.5)	e_c	eccentricity of the centre of the flow channel in highly eccentric flow (see Figure 5.5)
e_f	найбільший ексцентриситет насипного конуса при заповненні (див. рисунок 1.1, b);	e_f	maximum eccentricity of the surface pile during the filling process (see Figure 1.1b)
$e_{f.cr}$	найбільший ексцентриситет заповнення, при якому можуть застосовуватися спрощені правила ($e_{f.cr} = 0,25d_c$);	$e_{f.cr}$	maximum filling eccentricity for which simple rules may be used ($e_{f.cr} = 0,25d_c$)
e_o	ексцентриситет центру вихідного отвору (див. рисунок 1.1, b);	e_o	eccentricity of the centre of the outlet (see Figure 1.1b)
$e_{o.cr}$	найбільший ексцентриситет вихідного отвору, для якого можуть застосовуватися спрощені правила ($e_{o.cr} = 0,25d_c$);	$e_{o.cr}$	maximum outlet eccentricity for which simple rules may be used ($e_{o.cr} = 0,25d_c$)
e_t	ексцентриситет вершини насипного конуса при заповненому бункері (див. рисунок 1.1, b);	e_t	eccentricity of the centre of the top surface pile when the silo is full (see Figure 1.1b)
$e_{t.cr}$	найбільший ексцентриситет насипного конуса, при якому можуть застосовуватися спрощені правила ($e_{t.cr} = 0,25d_c$);	$e_{t.cr}$	maximum top surface eccentricity for which simple rules may be used ($e_{t.cr} = 0,25d_c$)
h_b	загальна висота бункера від вершини воронки до еквівалентної поверхні сипкого матеріалу (див.	h_b	overall height of silo from the hopper apex to the equivalent surface (see Figure 1.1a)

	рисунок 1.1, а);		
h_c	висота вертикального ствола бункера від перехідного вузла до еквівалентної поверхні сипкого матеріалу (див. рисунок 1.1, а);	h_c	height of vertical-walled segment of silo from the transition to the equivalent surface (see Figure 1.1a)
h_h	висота воронки від вершини воронки до перехідного вузла (див. рисунок 1.1, а);	h_h	height of hopper from the apex to the transition (see Figure 1.1a)
h_o	відстань між еквівалентною поверхнею сипкого матеріалу і нижньою точкою насипного конуса (нижньою точкою стінки бункера, яка не стикається з збереженим матеріалом (див. рисунки 1.1, а, 5.6 та 6.3);	h_o	depth below the equivalent surface of the base of the top pile (lowest point on the wall that is not in contact with the stored solid (see Figures 1.1a, 5.6 and 6.3)
h_{pr}	загальна висота насипного конуса на поверхні сипкого матеріалу (відстань по вертикалі від нижньої точки стінки бункера, яка не стикається з збереженим матеріалом, до вершини насипного конуса (див. рисунки 1.1, а і 6.3);	h_{pr}	total height of the top pile of solid (vertical distance from lowest point on the wall that is not in contact with the stored solid to the highest stored particle (see Figures 1.1a and 6.3)
n	ступінь у формулах тиску на воронку;	n	power in hopper pressure relationship
n_{zSk}	характеристичне значення результуючої тисків на одиницю довжини периметра вертикальної стінки бункера;	n_{zSk}	characteristic value of vertical stress resultant per unit perimeter in the vertical walled segment
P	тиск;	P	pressure
p_h	горизонтальний тиск від сипкого матеріалу що зберігається (див. рисунок 1.1, с);	p_h	horizontal pressure due to stored particulate solid (see Figure 1.1c)
p_{hae}	горизонтальний тиск в нерухомому матеріалі близько каналу витікання при вивантаженні з ексцентриситетом;	p_{hae}	horizontal pressure in static solid adjacent to the flow channel during eccentric discharge
p_{hce}	горизонтальний тиск в каналі витікання з ексцентриситетом;	p_{hce}	horizontal pressure in flow channel during eccentric discharge
p_{hco}	асимптотичний горизонтальний тиск на великій глибині в каналі витікання при вивантаженні з ексцентриситетом;	p_{hco}	asymptotic horizontal pressure at great depth in flow channel during eccentric discharge
p_{he}	горизонтальний тиск при вивантаженні;	p_{he}	horizontal pressure during discharge
$p_{he.u}$	горизонтальний тиск при вивантаженні, розрахований за спроще-	$p_{he.u}$	horizontal pressure during discharge calculated using the simplified method

	ною методикою;		
p_{hf}	горизонтальний тиск після заповнення;	p_{hf}	horizontal pressure after filling
p_{hfb}	горизонтальний тиск після заповнення в основі вертикального ствола бункера;	p_{hfb}	horizontal pressure after filling at the base of the vertical walled segment
$p_{hf.u}$	горизонтальний тиск після заповнення, розрахований за спрощеною методикою;	$p_{hf.u}$	horizontal pressure after filling calculated using the simplified method
p_{ho}	асимптотичний горизонтальний тиск на великій глибині від сипкого матеріалу що зберігається;	p_{ho}	asymptotic horizontal pressure at great depth due to stored particulate solid
p_{hse}	горизонтальний тиск в нерухомому сипкому матеріалі, віддаленому від каналу витікання при вивантаженні з ексцентриситетом;	p_{hse}	horizontal pressure in static solid distant from the flow channel during eccentric discharge
p_{hT}	горизонтальне зростання тиску внаслідок перепаду температури;	p_{hT}	horizontal increase in pressure due to a temperature differential
p_n	нормальний тиск, тобто перпендикулярний стінці воронки, від сипкого матеріалу що зберігається (див. рисунок 1.1, с);	p_n	pressure normal to hopper wall due to stored particulate solid (see Figure 1.1c)
p_{ne}	нормальний тиск в процесі вивантаження;	p_{ne}	pressure normal to hopper wall during discharge
p_{nf}	нормальний тиск від заповнення;	p_{nf}	pressure normal to hopper wall after filling
p_p	місцевий тиск;	p_p	patch pressure
p_{pe}	місцевий тиск при вивантаженні;	p_{pe}	patch pressure during discharge
p_{pei}	протилежний додатковий місцевий тиск при вивантаженні;	p_{pei}	inverse complementary patch pressure during discharge
$p_{pe,nc}$	рівномірний тиск на не циліндричний бункер, відповідний до ефекту місцевого бокового тиску при вивантаженні;	$p_{pe,nc}$	uniform pressure on non-circular silo to represent patch load effects during discharge
p_{pf}	місцевий тиск від заповнення;	p_{pf}	patch pressure after filling
p_{pfi}	протилежний додатковий місцевий тиск від заповнення;	p_{pfi}	inverse complementary patch pressure after fillin
$p_{pf,nc}$	рівномірний тиск на не циліндричний бункер, відповідний ефекту місцевого бокового тиску від заповнення;	$p_{pf,nc}$	uniform pressure on non-circular silo to represent patch load effects after filling
$p_{p.sq}$	місцевий тиск в бункері малої гнучкості;	$p_{p.sq}$	patch pressure in squat silos

p_{pes}	місцевий тиск в точці з кутовою координатою θ для тонкостінного циліндричного бункера в процесі вивантаження;	p_{pes}	patch pressure at circumferential coordinate θ (thin walled circular silos) during discharge
p_{pfs}	місцевий тиск в точці з кутовою координатою θ для тонкостінного циліндричного бункера після заповнення;	p_{pfs}	patch pressure at circumferential coordinate θ (thin walled circular silos) after filling
p_t	дотичний тиск тертя у воронці (див. рисунок 1.1, с);	p_t	hopper frictional traction (see Figure 1.1c)
p_{te}	дотичний тиск тертя у воронці при вивантаженні;	p_{te}	hopper frictional traction during discharge
p_{tf}	дотичний тиск тертя у воронці після заповнення;	p_{tf}	hopper frictional traction after filling
p_v	вертикальний тиск в сипкому матеріалі що зберігається (див. рисунок 1.1, с);	p_v	vertical stress in stored solid (see Figure 1.1c)
p_{vb}	вертикальний тиск на рівні основи бункера малої гнучкості при використанні формули (6.2);	p_{vb}	vertical pressure evaluated at the level of the base in a squat silo using Expression (6.2)
p_{vf}	вертикальний тиск в сипкому матеріалі що зберігається, після заповнення;	p_{vf}	vertical stress in stored solid after filling
p_{vft}	вертикальний тиск в сипкому матеріалі що зберігається, в перехідному вузлі після заповнення (основі вертикального ствола бункера);	p_{vft}	vertical stress in the stored solid at the transition after filling (base of the vertical walled segment)
p_{vho}	вертикальний тиск, визначений в основі насипного конуса по формулі (5.78) з глибиною $z = h_0$;	p_{vho}	vertical pressure evaluated at the base of the top pile using Expression (5.79) with $z = h_0$
p_{vsq}	вертикальний тиск на плоске днище бункера малої або проміжної гнучкості;	p_{vsq}	vertical pressure acting on the flat bottom of a squat or intermediate slenderness silo
p_{vip}	геостатичний вертикальний тиск в основі насипного конуса;	p_{vip}	geostatic vertical pressure at the base of the top pile
p_w	дотичний тиск тертя об стінки на вертикальну стінку (дотичне зусилля тертя на одиницю площі) (див. рисунок 1.1, с);	p_w	wall frictional traction on the vertical wall (frictional shear force per unit area) (see Figure 1.1c)
p_{wae}	дотичний тиск тертя об стінки нерухомого сипкого матеріалу біля каналу витікання в процесі розвантаження з ексцентриситетом;	p_{wae}	wall frictional traction in static solid adjacent to the flow channel during eccentric discharge

p_{wce}	дотичний тиск тертя об стінки в каналі витікання в процесі вивантаження з ексцентриситетом;	p_{wce}	wall frictional traction in flow channel during eccentric discharge
p_{we}	дотичний тиск тертя об стінки в процесі вивантаження;	p_{we}	wall frictional traction during discharge
$p_{we,u}$	дотичний тиск тертя об стінки в процесі вивантаження, визначений за спрощеною методикою;	$p_{we,u}$	wall frictional traction during discharge calculated using the simplified method
p_{wf}	дотичний тиск тертя об стінки після заповнення;	p_{wf}	wall frictional traction after filling
$p_{wf,u}$	дотичний тиск тертя об стінки після заповнення, визначений за спрощеною методикою;	$p_{wf,u}$	wall frictional traction after filling calculated using the simplified method
p_{wse}	дотичний тиск тертя об стінки нерухомого сипкого матеріалу, віддаленого від каналу течії в процесі вивантаження з ексцентриситетом;	p_{wse}	wall frictional traction in static solid adjacent to the flow channel during eccentric discharge
r	еквівалентний радіус бункера ($r = 0,5d_c$);	r	equivalent radius of silo ($r = 0,5d_c$)
r_c	радіус позацентрового каналу витікання;	r_c	radius of eccentric flow channel
s	розмір ділянки прикладення місцевого навантаження ($s = \pi d_c / 16 \cong 0,2d_c$);	s	dimension of the zone affected by the patch load ($s = \pi d_c / 16 \cong 0,2d_c$)
t	товщина стінки бункера;	t	silowall thickness
x	вертикальна координата у воронці з початком у вершині конуса або піраміди (див. рисунок 6.2);	x	vertical coordinate in hopper with origin at cone or pyramidal apex (see Figure 6.2)
z	глибина від еквівалентної поверхні сипкого матеріалу в заповненому стані (див. рисунок 1.1, а);	z	depth below the equivalent surface of the solid in the full condition (see Figure 1.1a)
z_0	характеристична глибина за теорією Янсена;	z_0	Janssen characteristic depth
z_{0c}	характеристична глибина за теорією Янсена для каналу витікання при вивантаженні з ексцентриситетом;	z_{0c}	Janssen characteristic depth for flow channel under eccentric discharge
z_p	глибина середини ділянки прикладення місцевого навантаження від еквівалентної поверхні сипкого матеріалу в тонкостінному бункері;	z_p	depth below the equivalent surface of the centre of the thin-walled silo patch load
z_s	глибина від найбільш високої точки контакту сипкого матеріалу і стінки бункера (див. рисунки 5.7 і	z_s	depth below the highest solid-wall contact (see Figures 5.7 and 5.8)

5.8);

z_V міра глибини, що використовується для визначення вертикального тиску в бункер малої гнучкості.

z_V depth measure used for vertical stress assessment in squat silos

1.6.3 Великі грецькі літери

Δ горизонтальне зміщення верхньої частини зрізної коробки;

1.6.3 Greek upper case letters

Δ horizontal displacement of the upper part of a shear cell

Δ оператор прирощення, який застосовується в наступних складових символах:

Δ incremental operator, which appears in the following composite symbols:

Δp_{sq} різниця між вертикальними тисками, визначеними за двома методами, для бункера малої гнучкості;

Δp_{sq} difference between vertical pressures assessed by two methods for squat silos

ΔT різниця температур між сипким матеріалом, що зберігається, і стінкою бункера;

ΔT difference between temperature of the stored solid and the silo wall

Δv прирощення вертикального переміщення, яке вимірюється при випробуванні матеріалу;

Δv increment of vertical displacement measured during materials testing

$\Delta \sigma$ прирощення напружень, прикладених до зразка при випробуванні матеріалу.

$\Delta \sigma$ increment of stress applied to a cell during materials testing

1.6.4 Малі грецькі літери

α середній кут нахилу стінки воронки до горизонтальної площини (див. рисунок 1.1, b);

1.6.4 Greek lower case letters

α mean angle of inclination of hopper wall measured from the horizontal (see Figure 1.1b)

α_w коефіцієнт температурного розширення стінки бункера;

α_w thermal expansion coefficient for silo wall

β кут нахилу стінки воронки до вертикалі (див. рисунки 1.1, a і 1.1, b) або найбільший кут нахилу стінки квадратної або прямокутної воронки;

β angle of inclination of hopper wall measured from the vertical (see Figures 1.1a and 1.1b), or the steepest slope on a square or rectangular pyramidal hopper

γ верхнє характеристичне значення питомої ваги рідини або сипкого матеріалу;

γ upper characteristic value of the bulk unit weight of liquid or particulate solid

γ_1 питома вага сипкого матеріалу в підвішеному стані;

γ_1 bulk unit weight of fluidized stored particulate solid

δ стандартне відхилення будь якої величини;

δ standard deviation of a property

θ окружна кутова координата;

θ circumferential angular coordinate

θ_c кут точки дотику позacentрового

θ_c eccentric flow channel wall contact

	каналу витікання з стінкою (кільцева координата краю зони низького тиску при вивантаженні з ексцентриситетом (див. рисунок 5.5);		angle (circumferential coordinate of the edge of the low pressure zone under eccentric discharge (see Figure 5.5)
ψ	кут точки дотику позацентрового каналу витікання зі стінкою, відносно центральної вісі каналу витікання;	ψ	eccentric flow channel wall contact angle measured from flow channel centre
μ	характеристичне значення коефіцієнта тертя об стінки для вертикальної стінки бункера;	μ	characteristic value of coefficient of wall friction for a vertical wall
μ_{heff}	розрахунковий чи мобілізований коефіцієнт тертя об стінки в похилій воронці;	μ_{heff}	effective or mobilized friction in a shallow hopper
μ_h	коефіцієнт тертя об стінки для воронки;	μ_h	coefficient of wall friction for hopper
μ_m	середнє значення коефіцієнта тертя об стінки між сипким матеріалом і стінкою бункера;	μ_m	mean value of coefficient of wall friction between a particulate solid and the wall
ν	коефіцієнт Пуассона для сипкого матеріалу;	ν	Poisson's ratio for the stored solid
ϕ_c	характеристичне значення вільного кута внутрішнього тертя сипкого матеріалу (див. С.9);	ϕ_c	characteristic value of unloading angle of internal friction of a particulate solid (see C.9)
ϕ_i	характеристичне значення кута внутрішнього тертя сипкого матеріалу при навантаженні (див. С.9);	ϕ_i	characteristic value of loading angle of internal friction of a particulate solid (see C.9)
ϕ_{im}	середнє значення кута внутрішнього тертя (див. С.9);	ϕ_{im}	mean value of the loading angle of internal friction (see C.9)
ϕ_r	кут природного укосу сипкого матеріалу (конічної форми) (див. рисунок 1.1, а);	ϕ_r	angle of repose of a particulate solid (conical pile) (see Figure 1.1a)
ϕ_w	кут тертя об стінки ($= \arctan(\mu)$) між сипким матеріалом і стінкою воронки;	ϕ_w	wall friction angle ($= \arctan(\mu)$) between a particulate solid and the silo wall
ϕ_{wh}	кут тертя об стінки для воронки ($= \arctan(\mu_h)$) між сипким матеріалом і стінкою воронки;	ϕ_{wh}	hopper wall friction angle ($= \arctan(\mu_h)$) between a particulate solid and the hopper wall
σ_r	стандартне напруження для визначення параметрів сипкого матеріалу при випробуваннях.	σ_r	reference stress level for solids testing

1.6.5 Індокси

d	розрахункове значення (скориговане частковими коефіцієнтами надійності);
e	вивантаження (спорожнення) сипкого матеріалу;
f	заповнення та зберігання сипкого матеріалу;
h	воронка;
h	горизонтальний;
K	коефіцієнт бокового тиску;
m	середнє значення;
n	перпендикулярно до стінки;
nc	нециліндричний бункер;
p	місцеве навантаження;
t	відносно до стінки;
u	рівномірний;
v	вертикальний;
w	тертя об стінку;
γ	питома вага;
ϕ	кут внутрішнього тертя;
μ	коефіцієнт тертя об стінку.

1.6.5 Subscripts

d	design value (adjusted by partial factor)
e	discharge (emptying) of solids
f	filling and storing of solids
h	hopper
h	horizontal
K	lateral pressure ratio
m	mean value
n	normal to the wall
nc	non-circular silo
p	patch load
t	tangential to the wall
u	uniform
v	vertical
w	wall frictional
γ	bulk unit weight
ϕ	angle of internal friction
μ	wall friction coefficient

2 Подання та класифікація впливів

2.1 Представлення впливів на бункери

(1)P Впливи на бункери повинні визначатися з урахуванням конструкції бункера, властивостей сипкого матеріалу, що зберігається і форм потоку в процесі вивантаження бункера.

(2)P Повинні враховуватися невизначеності, що відносяться до форми потоку, впливу ексцентриситетів вхідних і вихідних отворів на процеси заповнення і вивантаження, впливу форми бункера на форми потоку і зміни тисків у часі при заповненні та вивантаженні.

Примітка. Значення і розподіл розрахункових навантажень залежать від конструкції бункера, від параметрів сипкого матеріалу, що зберігається і від форм потоку, що утворюються в процесі вивантаження. Невід'ємна мінливість властивостей сипкого матеріалу, що зберігається і спрощення в моделях навантажень призводять до різниці між дійсними навантаженнями в бункері і навантаженнями, визначеними за розрахунковими правилами в розділах 5 і 6. Наприклад, розподіл тиску при вивантаженні змінюється уздовж стінок бункера в залежності від часу і неможливо точно передбачити середній тиск або його коефіцієнт варіації в конкретний час.

(3)P Навантаження на вертикальні стінки бункера в заповненому стані і в процесі вивантаження з малими ексцентриситетами повинні бути представлені симетричним навантаженням і несиметричним місцевим навантаженням. При великих ексцентриситетах навантаження повинні бути представлені несиметричним розподілом тиску.

(4) Характеристичні значення впливів на бункери, визначені даним стандартом, відповідають значенням з ймовірністю перевищення 2 % протягом одного року.

Примітка. Характеристичні значення не базуються на статистичних розрахунках, так як дані для цього наразі відсутні. Замість цього, вони ґрунтуються на історичних значеннях, що використовувалися в більш ранніх стандартах. Наведене вище визначення відповідає визначенню за ДСТУ-Н Б EN 1990.

(5) Якщо вибрана конструктивна форма бункера чутлива до відхилень у прикладенні навантажень, то це повинно враховуватися

Section 2 Representation and classification of actions

2.1 Representation of actions on silos

(1)P Actions on silos shall be determined taking account of the silo structure, the stored solid properties, and the discharge flow patterns that arise during the process of emptying.

(2)P Uncertainties concerning the flow patterns, the influence of the eccentricities of inlet and outlet on the filling and discharge processes, the influence of the form of the silo on the type of flow pattern, and the time-dependent filling and discharge pressures shall be taken into account.

NOTE: The magnitude and distribution of the design loads depend on the silo structure, the stored solid properties, and the discharge flow patterns that arise during the process of emptying. The inherent variability of stored solids and simplifications in the load models lead to differences between actual silo loads and loads given by the design rules in Sections 5 and 6. For example, the distribution of discharge pressures varies around the wall as a function of time and no accurate prediction of the mean pressure or its variance is possible at this time.

(3)P Loads on the vertical walls of silos due to filling and discharge of particulate solids with small eccentricities shall be represented by a symmetrical load and an unsymmetrical patch load. Where larger eccentricities occur, the loads shall be represented by unsymmetrical pressure distributions.

(4) The characteristic value of actions on silos defined in this standard are intended to correspond to values that have a probability of 2% that they will be exceeded within a reference period of 1 year.

NOTE: The characteristic values are not based on a formal statistical analysis because such data is not currently available. Instead they are based on historical values used in earlier standards. The above definition corresponds to that given in EN 1990.

(5) If the structural form selected for the silo is likely to be sensitive to deviations in load patterns, a sensitivity analysis should be per-

відповідними розрахунками.

(6) Симетричні навантаження на бункер повинні встановлюватися у вигляді горизонтального тиску p_h на внутрішню поверхню вертикальних стінок бункера, нормального тиску на похилі стінки p_n , дотичного тиску тертя на стінки p_w і p_t і вертикального тиску p_v в матеріалі, що зберігається.

(7) Несиметричні навантаження на вертикальні стінки бункера при малих ексцентриситетах заповнення і вивантаження повинні бути представлені у вигляді місцевого навантаження. Ці місцеві навантаження повинні встановлюватися у вигляді локального горизонтального тиску p_h на внутрішню поверхню стінки бункера.

(8) Несиметричні навантаження на вертикальні стінки бункера при великих ексцентриситетах заповнення і вивантаження повинні представлятися у вигляді несиметричних розподілів горизонтального тиску p_h і дотичного тиску тертя p_w .

(9) Коефіцієнти збільшення навантаження C повинні використовуватися для врахування несприятливих додаткових навантажень.

(10) Коефіцієнти збільшення навантаження C для бункерів класів впливів 2 і 3 (див. 2.5) повинні використовуватися виключно для врахування несприятливих додаткових навантажень від потоку матеріалу в процесі вивантаження.

(11) Коефіцієнти збільшення навантаження C для бункерів класу впливів 1 повинні використовуватися для врахування несприятливих додаткових навантажень при вивантаженні і впливу мінливості параметрів сипкого матеріалу.

Примітка. Коефіцієнти збільшення навантажень C враховують невизначеності, пов'язані з формою потоку, впливом ексцентриситетів впускного і впускного отворів на процеси наповнення та вивантаження, впливом форми бункера на тип форми потоку, і спрощення, використувані при перетворенні залежних від часу тисків наповнення та вивантаження в незалежну від часу модель. Для бункерів класу 1 коефіцієнт збільшення навантаження враховує і властиву мінливість властивостей матеріалу, що зберіга-

ється.

(6) Symmetrical loads on silos should be expressed in terms of a horizontal pressure p_h on the inner surface of the vertical silo wall, a normal pressure p_n on an inclined wall, tangential frictional tractions on the walls p_w and p_t , and a vertical pressure p_v in the stored solid.

(7) Unsymmetrical loads on the vertical walls of silos with small eccentricities of filling and discharge should be represented by patch loads. These patch loads should be expressed in terms of a local horizontal pressure p_h on the inner surface of the silo.

(8) Unsymmetrical loads on the vertical walls of silos with larger eccentricities of filling and discharge should be represented by unsymmetrical distributions of horizontal pressure p_h and wall frictional traction p_w .

(9) Load magnifiers C should be used to represent unfavourable additional loads.

(10) For silos in Action Assessment Classes 2 and 3 (see 2.5), the load magnifiers C should be used to represent only unfavourable additional loads associated with solids flow during discharge.

(11) For silos in Action Assessment Class 1, load magnifiers C should be used to represent both unfavourable additional loads associated discharge flow and the effects of variability of the stored solid.

NOTE: The load magnifiers C are intended to account for uncertainties concerning the flow patterns, the influence of the eccentricities of inlet and outlet on the filling and discharge processes, the influence of the form of the silo on the type of flow pattern, and the approximations used in transforming the time-dependent filling and discharge pressures into time-independent models. For silos in Action Assessment Class 1, the load magnifier also accounts for the inherent variability of the properties of the stored solid. For silos in Action Assessment Clas-

ється Для бункерів класів 2 і 3 мінливість розрахункових параметрів, використовуваних для опису матеріалу що зберігається, враховується при визначенні характеристичних значень цих параметрів χ , μ , K і ϕ_1 , а не в коефіцієнті збільшення навантаження C .

(12) Для бункерів класу 1 несиметричні навантаження повинні враховуватися шляхом збільшення симетричних навантажень з використанням коефіцієнта збільшення навантажень при вивантаженні C .

(13) Для бункерів класу 2 несиметричні місцеві навантаження альтернативно можуть враховуватися шляхом збільшення симетричної складової несиметричного місцевого навантаження.

2.2 Представлення впливів на резервуари

(1)P Навантаження на резервуари від рідини повинні бути представлені у вигляді гідростатичного розподіленого навантаження.

(2) Характеристичні значення впливів на резервуари, що визначаються за даним стандартом, відповідають значенням з ймовірністю перевищення 2 % протягом одного року.

Примітка. Характеристичні значення не базуються на формальних статистичних розрахунках, так як дані для цього наразі відсутні. Замість цього, вони ґрунтуються на історичних значеннях, що використовувалися в більш ранніх стандартах. Наведене вище визначення відповідає визначенню за ДСТУ-Н Б EN 1990.

2.3 Класифікація впливів на бункери

(1)P Навантаження від сипкого матеріалу, що зберігається в бункері, класифікуються як змінні впливи (див. ДСТУ-Н Б EN 1990).

(2)P Симетричні навантаження на бункер класифікуються як змінні фіксовані дії (див. ДСТУ-Н Б EN 1990).

(3)P Місцеві навантаження, що виникають в процесах наповнення та вивантаження бункера, класифікуються як змінні вільні впливи (див. ДСТУ-Н Б EN 1990).

(4)P Навантаження з ексцентриситетом, що виникають в процесі наповнення та вивантаження бункера з ексцентриситетом, кла-

ses 2 and 3, the variability of the design parameters used to represent the stored solid is taken into account in the adopted characteristic values for the stored material properties χ , μ , K and ϕ_1 and not in the load magnifiers C .

(12) For silos in Action Assessment Class 1, unsymmetrical loads should be represented by an increase in the symmetrical load, using a discharge load magnifying factor C .

(13) For silos in Action Assessment Class 2, unsymmetrical patch loads may be alternatively represented by a substitute increase in the symmetrical load that is related to the unsymmetrical patch load magnitude.

2.2 Representation of actions on tanks

(1)P Loads on tanks due to liquids shall be represented by a hydrostatic distributed load.

(2) The characteristic value of actions on tanks defined in this standard are intended to correspond to values that have a probability of 2% that they will be exceeded within a reference period of 1 year.

NOTE: The characteristic values are not based on a formal statistical analysis because such data is not currently available. Instead they are based on historical values used in earlier standards. The above definition corresponds to that given in EN 1990.

2.3 Classification of actions on silos

(1)P Loads due to stored particulate solids in silos shall be classified as variable actions, see EN 1990.

(2)P Symmetrical loads on silos shall be classified as variable fixed actions, see EN 1990.

(3)P Patch loads associated with filling and discharging processes in silos shall be classified as variable free actions.

(4)P Eccentric loads associated with eccentric filling or discharge processes in silos shall be classified as variable fixed actions.

сифікуються як змінні фіксовані впливи.

(5)Р Навантаження від тиску газу, що відносяться до пневматичних подавальних систем, класифікуються як змінні фіксовані впливи.

(6)Р Навантаження від вибуху пилу класифікуються як аварійні навантаження.

2.4 Класифікація впливів на резервуари

(1)Р Навантаження на резервуари класифікуються як змінні фіксовані впливи (див. ДСТУ-Н Б EN 1990).

2.5 Класи бункерів щодо впливів

(1) В залежності від надійності конструктивного виконання і чутливості до різних форм відмов при розрахунку конструкцій бункерів повинні використовуватися різні рівні надійності.

(2)Розрахунок бункера повинен виконуватися відповідно до вимог наступних трьох класів за впливами які застосовуються в цьому стандарті. Використання класів дозволяє створювати проекти з однаковим рівнем надійності при виконанні розрахунків і з урахуванням витрат і заходів щодо зниження ризику відмови для різних конструкцій (див. 2.2(3) і 2.2(4) ДСТУ-Н Б EN 1990). Розрізняють такі класи за впливами:

- Клас впливів 1 (AAC 1);
- Клас впливів 2 (AAC 2);
- Клас впливів 3 (AAC 3).

(3) Для бункера завжди може вибиратися більш високий клас впливів, ніж вимагається за пунктом 2.5(2). Будь-яка відповідна частина методики розрахунку для більш високого класу впливів може бути прийнята для розрахунку.

(4) Для бункерів класу впливів 1 можуть застосовуватися спрощені рекомендації цього стандарту.

(5) Клас впливів повинен визначатися конкретно для кожного окремо взятого бункера, а не для всього блоку бункерів або групи бункерів, які можуть розташовуватися як єдина конструктивна система.

(5)P Gas pressure loads attributable to pneumatic conveying systems shall be classified as variable fixed actions.

(6)P Loads due to dust explosions shall be classified as accidental actions.

2.4 Classification of actions on tanks

(1)P Loads on tanks shall be classified as variable fixed actions, see EN 1990.

2.5 Action assessment classification

(1) Different levels of rigour should be used in the design of silo structures, depending on the reliability of the structural arrangement and the susceptibility to different failure modes.

(2) The silo design should be carried out according to the requirements of the following three Action Assessment Classes used in this part, which produce designs with essentially equal risk in the design assessment and considering the expense and procedures necessary to reduce the risk of failure for different structures (see EN 1990, 2.2(3) and (4):

- Action Assessment Class 1 (AAC 1);
- Action Assessment Class 2 (AAC 2);
- Action Assessment Class 3 (AAC 3).

(3) A higher Action Assessment Class than that required in 2.5(2) may always be adopted. Any part of the procedures for a higher Action Assessment Class may be adopted whenever it is appropriate.

(4) For silos in Action Assessment Class 1, the simplified provisions of this standard for that class may be adopted.

(5) The Action Assessment Class for a silo should be determined by the conditions of the individual storage unit, not on those of an entire silos battery or group of silos that may be situated in a complete facility.

Примітка 1. Національний додаток може встановлювати межі між класами. У таблиці 2.1 вказані рекомендовані значення.

NOTE 1: The National Annex may define the class boundaries. Table 2.1 shows recommended values.

Таблиця 2.1 – Рекомендована класифікація бункерів для оцінки впливів
Table 2.1 – Recommended classification of silos for action assessments

Клас впливів Action Assessment Class	Опис Description
Клас впливів 3 Action Assessment Class 3	<p>Бункери ємкістю більше 10 000 т; Бункери ємкістю більше 1000 т, в котрих має місце одна з наступних розрахункових ситуацій:</p> <p>a) вивантаження з ексцентриситетом при $e_0/d_c > 0,25$ (див. рисунок 1.1, b); b) бункери малої гнучкості із заповненням з ексцентриситетом при $e_t/d_c > 0,25$</p> <p>Silos with capacity in excess of 10 000 tonnes Silos with capacity in excess of 1000 tonnes in which any of the following design situations occur:</p> <p>a) eccentric discharge with $e_0/d_c > 0,25$ (see figure 1.1b) b) squat silos with top surface eccentricity with $e_t/d_c > 0,25$</p>
Клас впливів 2 Action Assessment Class 2	Всі бункери, які охоплюються цим стандартом і не включені в інші класи All silos covered by this standard and not placed in another class
Клас впливів 1 Action Assessment Class 1	Бункери ємкістю менше 100 т Silos with capacity below 100 tonnes

Примітка 2. Вищенаведена диференціація за різними класами виконана на підставі наявності невизначеностей при розрахунку впливів з прийнятною точністю. Правила для малих бункерів прості і дають запас за несучої здатності, тому високі витрати на визначення параметрів сипкого матеріалу є не виправданими. Наслідки конструктивної відмови і ризику для життя і власності враховуються в класифікаціях за ДСТУ-Н Б EN 1992 і ДСТУ-Н Б EN 1993.

NOTE 2: The above differentiation has been made in relation to the uncertainty in determining actions with appropriate precision. Rules for small silos are simple and conservative because they have an inherent robustness and the high cost of materials testing of stored solids is not justifiable. The consequences of structural failure and the risk to life and property are covered by the Action Assessment Classification of EN 1992 and EN 1993.

Примітка 3. Вибір класу впливів повинен здійснюватися окремо для кожного проекту.

NOTE 3: The choice of Action Assessment Class should be agreed for the individual project.

3 Розрахункові ситуації

3.1 Загальні положення

(1)P Впливи на бункери та резервуари повинні визначатися з використанням загального формату для кожної відповідної розрахункової ситуації відповідно до ДСТУ-Н Б EN 1990.

Примітка. Це не означає, що правила і значення величин для будівель і мостів з А.1 та А.2 ДСТУ-Н Б EN 1990 можуть застосовуватися для бункерів і резервуарів.

(2)P Повинні бути розглянуті вибрані розрахункові ситуації та визначено критичні випадки навантажування. Для бункерів розрахункові ситуації повинні ґрунтуватися на характеристиках потоку для сипкого матеріалу, які визначаються відповідно до додатка С.

(3)P Для кожного критичного випадку навантажування повинні визначатися розрахункові значення ефектів впливів від комбінації впливів.

(4)P Правила комбінування залежать від виду розрахункової перевірки і повинні прийматися згідно ДСТУ-Н Б EN 1990.

Примітка. Визначальні правила комбінування вказані в додатку А.

(5) Повинні бути враховані впливи, що передаються від примикаючих конструкцій.

(6) Повинні бути враховані впливи від подавальних і закриваючих систем. Особливу увагу необхідно приділити подавальним системам, не встановленим стаціонарно, які можуть передавати навантаження на конструкції бункера через матеріал що зберігається.

(7) Де необхідно, повинні бути враховані наступні аварійні впливи і ситуації:

- впливи від вибуху;
- впливи від удару автомобіля;
- впливи від землетрусу;
- розрахункова ситуація при пожежі.

Section 3 Design situations

3.1 General

(1)P Actions on silos and tanks shall be determined using the general format for each relevant design situation identified in accordance with EN 1990.

NOTE: This does not mean that the paragraphs and values specified for buildings and bridges in EN 1990, A.1 and A.2 are applicable to silos and tanks.

(2)P Selected design situations shall be considered and critical load cases identified. For silos, the design situations shall be based on the flow characteristics of the stored particulate solid, as determined in accordance with Annex C.

(3)P For each critical load case the design values of the effects of actions in combination shall be determined.

(4)P The combination rules depend on the verification under consideration and shall be identified in accordance with EN 1990.

NOTE: Relevant combination rules are given in Annex A.

(5) The actions transferred from adjoining structures should be considered.

(6) The actions from feeders and gates should be considered. Special attention should be paid to unattached feeders that may transfer loads to the silo structure through the stored solid.

(7) The following accidental actions and situations should be considered where appropriate:

- actions due to explosions;
- actions due to vehicle impact;
- seismic actions;
- fire design situations.

3.2 Розрахункові ситуації від матеріалу, що зберігається в бункерах

(1)Р Навантаження на бункери від матеріалу, що зберігається, повинні визначатися, коли бункер знаходиться в повністю заповненому стані.

(2)Р Схеми навантажень від заповнення і при вивантаженні повинні використовуватися для представлення розрахункових ситуацій в граничних станах по несучій здатності та експлуатаційній придатності.

(3) Розрахунки для заповнення і вивантаження сипкого матеріалу повинні відповідати основним випадкам навантажування, які призводять до різних граничних станів конструкцій:

- максимальний нормальний тиск на вертикальну стінку бункера;
- максимальний вертикальний тиск тертя на вертикальну стінку бункера;
- максимальний вертикальний тиск на днище бункера;
- максимальне навантаження на воронку бункера.

(4) При всіх обчисленнях навантажень повинне використовуватися верхнє характеристичне значення питомої ваги матеріалу γ .

(5) Розрахунок для кожного випадку навантажування повинен виконуватися з використанням єдиного набору узгоджених значень параметрів матеріалу μ , K і ϕ_1 , так щоб кожний граничний стан відповідав єдиному визначеному стану матеріалу що зберігається.

(6) Оскільки кожен із цих випадків навантажування досягає свого найбільшого пошкоджуючого ефекту, коли параметри μ , K і ϕ_1 приймають крайні характеристичні значення свого статистичного розподілу, різні крайні значення параметрів повинні бути розглянуті, для того щоб забезпечити достатню надійність для всіх граничних станів. Значення параметрів, які повинні прийматися для кожного випадку навантаження наводяться в таблиці 3.1.

3.2 Design situations for stored solids in silos

(1)P Loads on silos from the stored solid shall be considered when the silo is in the full condition.

(2)P Load patterns for filling and discharge shall be used to represent design situations at the ultimate and serviceability limit states.

(3) The design for particulate solids filling and discharge should address the principal load cases that lead to different limit states for the structure:

- maximum normal pressure on the silo vertical wall;
- maximum vertical frictional drag (traction) on the silo vertical wall;
- maximum vertical pressure on a silo bottom;
- maximum load on a silo hopper.

(4) The upper characteristic value of the bulk unit weight γ should be used in all load calculations.

(5) The evaluation of each load case should be made using a single set of consistent values of the solids properties μ , K and ϕ_1 , so that each limit state corresponds to a single defined stored solid condition.

(6) Because these load cases each attain their most damaging extreme values when the stored solid properties μ , K and ϕ_1 take characteristic values at different extremes of their statistical range, different property extremes should be considered to ensure that the design is appropriately safe for all limit states. The value of each property that should be adopted for each load case is given in Table 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення параметрів для різних видів навантаження на стінку
Table 3.1 – Values of properties to be used for different wall loading assessments

	Прийняте характеристичне значення Characteristic value to be adopted		
Ціль: Purpose:	Коефіцієнт тертя об стінки μ Wall friction coefficient μ	Коефіцієнт бокового тиску K Lateral pressure ratio K	Кут внутрішнього тертя ϕ Angle of internal friction ϕ
Для вертикальної стінки або циліндра For the vertical wall or barrel			
Максимальний нормальний тиск на вертикальну стінку Maximum normal pressure on vertical wall	Нижнє Lower	Верхнє Upper	Нижнє Lower
Максимальний дотичний тиск тертя на вертикальну стінку Maximum frictional traction on vertical wall	Верхнє Upper	Верхнє Upper	Нижнє Lower
Максимальні вертикальні навантаження на воронку і днище бункера Maximum vertical load on hopper or silo bottom	Нижнє Lower	Нижнє Lower	Верхнє Upper
Ціль: Purpose:	Коефіцієнт тертя об стінки μ Wall friction coefficient μ	Коефіцієнт тиску на воронку K Hopper pressure ratio K	Кут внутрішнього тертя ϕ Angle of internal friction ϕ
Для стінки воронки For the hopper wall			
Максимальний тиск на воронку при заповненні Maximum hopper pressures on filling	Нижнє значення для воронки Lower value for hopper	Нижнє Lower	Нижнє Lower
Максимальний тиск на воронку при вивантаженні Maximum hopper pressures on discharge	Нижнє значення для воронки Lower value for hopper	Верхнє Upper	Верхнє Upper
Примітка 1. Слід зазначити, що завжди $\phi_{wh} \leq \phi_i$, оскільки матеріал буде розриватися усередині, якщо ковзання в зоні контакту зі стінкою потребує більших напружень зсуву, ніж внутрішнє тертя може забезпечити. Це означає, що у всіх випадках коефіцієнт тертя об стінки не повинен прийматися більш ніж $\tan \phi_i$ (тобто завжди $\mu = \tan \phi_w \leq \tan \phi_i$).			
NOTE 1: It should be noted that $\phi_{wh} \leq \phi_i$ always, since the material will rupture internally if slip at the wall contact demands a greater shear stress than the internal friction can sustain. This means that, in all evaluations, the wall friction			

coefficient should not be taken as greater than $\tan \phi_i$ (i.e. $\mu = \tan \phi_w \leq \tan \phi_i$ always).

Кінець таблиці 3.1

Примітка 2. Нормальний тиск на воронку p_n , як правило, має найбільше значення, якщо тertia об стінки воронки невелике, так як менша частина повних навантажень на воронку викликається тertiaм об стінки. Потрібно ретельно вибирати крайні значення параметрів тertia об стінки воронки для виявлення всіх конструктивних наслідків (чи повинно бути отримано найбільший нормальний тиск або тиск тertia, залежить від форми конструктивної відмови, що розглядається).

NOTE 2: Hopper normal pressure p_n is usually maximized if the hopper wall friction is low because less of the total hopper load is then carried by wall friction. Care should be taken when choosing which property extreme to use for the hopper wall friction to ensure that the structural consequences are fully explored (i.e. whether friction or normal pressures should be maximized depends on the kind of structural failure mode that is being considered).

(7) Незважаючи на вищезазначене, бункери класу впливів 1 можуть розраховуватися тільки на середні значення коефіцієнта тertia об стінки μ_m , коефіцієнта бокового тиску K_m і кута внутрішнього тertia ϕ_{im} для сипкого матеріалу що зберігається.

(7) Notwithstanding the above, silos in Action Assessment Class 1 may be designed for the single value of the mean wall friction coefficient μ_m , the mean lateral pressure ratio K_m and the mean internal friction angle ϕ_{im} for the stored particulate solid.

(8) Основні формули для розрахунку навантажень на стінки бункера наводяться в розділах 5 і 6. Вони повинні використовуватися як основа для розрахунку наступних характеристичних навантажень:

(8) General expressions for the calculation of silo wall loads are given in Sections 5 and 6. They should be used as a basis for the calculation of the following characteristic loads:

- навантаження від заповнення на вертикальні ділянки стіни (див. розділ 5);
- навантаження при вивантаженні на вертикальні ділянки стіни (див. розділ 5);
- навантаження від заповнення і при вивантаженні на плоскі днища (див. розділ 6);
- навантаження від заповнення на воронку (див. розділ 6);
- навантаження при вивантаженні на воронку (див. розділ 6).

- filling loads on vertical walled segments (Section 5);
- discharge loads on vertical walled segments (Section 5);
- filling and discharge loads on flat bottoms (Section 6);
- filling loads on hoppers (Section 6);
- discharge loads on hoppers (Section 6).

3.3 Розрахункові ситуації для різних геометричних конфігурацій бункера

3.3 Design situations for different silo geometrical arrangements

(1)P Різні співвідношення розмірів бункера (гнучкість), форми воронки і розташування пристроїв вивантаження призводять до різних розрахункових ситуацій, які повинні бути розглянуті.

(1)P Different silo aspect ratios (slendernesses), hopper geometries and discharge arrangements lead to different design situations that shall be considered.

(2) Якщо траєкторія матеріалу, що падає в бункер, призводить до утворення позачентрового насипного конуса на деякому рівні (див. рисунок 1.1, b), то матеріал

(2) Where the trajectory of the solid falling into a silo leads to an eccentric pile at some level (see Figure 1.1b), different packing densities can occur in different parts of the silo that induce unsym-

може отримати різну щільність в різних частинах бункера і викликати несиметричний тиск. Для оцінки значень такого тиску необхідно використовувати найбільший ексцентриситет траєкторії матеріалу e_f (див. 5.2.1.2 і 5.3.1.2).

(3) При розрахунку необхідно враховувати вплив форми потоку при вивантаженні, яка може бути наступних типів (див. рисунок 3.1):

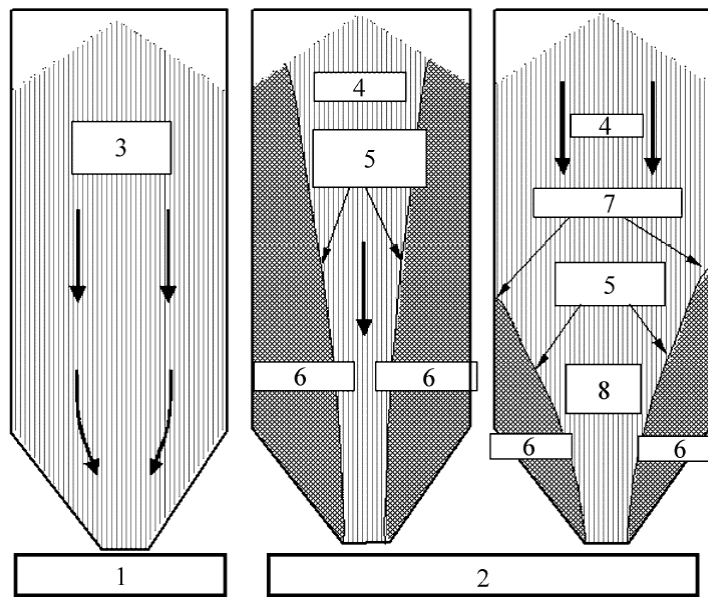
- масовий потік;
- потік в трубі;
- змішаний потік.

metrical pressures.

The largest eccentricity in the solids trajectory e_f should be used to assess the magnitudes of these pressures (see 5.2.1.2 and 5.3.1.2).

(3) The design should consider the consequences of the flow pattern during discharge, which may be described in terms of the following categories (see Figure 3.1):

- mass flow;
- pipe flow;
- mixed flow.



a - масовий потік b - потік в трубі c - змішаний потік
 a) Mass flow b) Pipe flow c) Mixed flow

Роз'яснення

- 1 масовий потік
- 2 конічний потік
- 3 весь матеріал в русі
- 4 текучий матеріал
- 5 межі каналу потоку
- 6 нерухомий матеріал
- 7 ефективний перехід
- 8 ефективна воронка

Key

- 1 Mass flow
- 2 Funnel flow
- 3 All solids in motion
- 4 Flowing
- 5 Flow channel boundary
- 6 Stationary
- 7 Effective transmission
- 8 Effective hopper

Рисунок 3.1 - Основні форми потоку

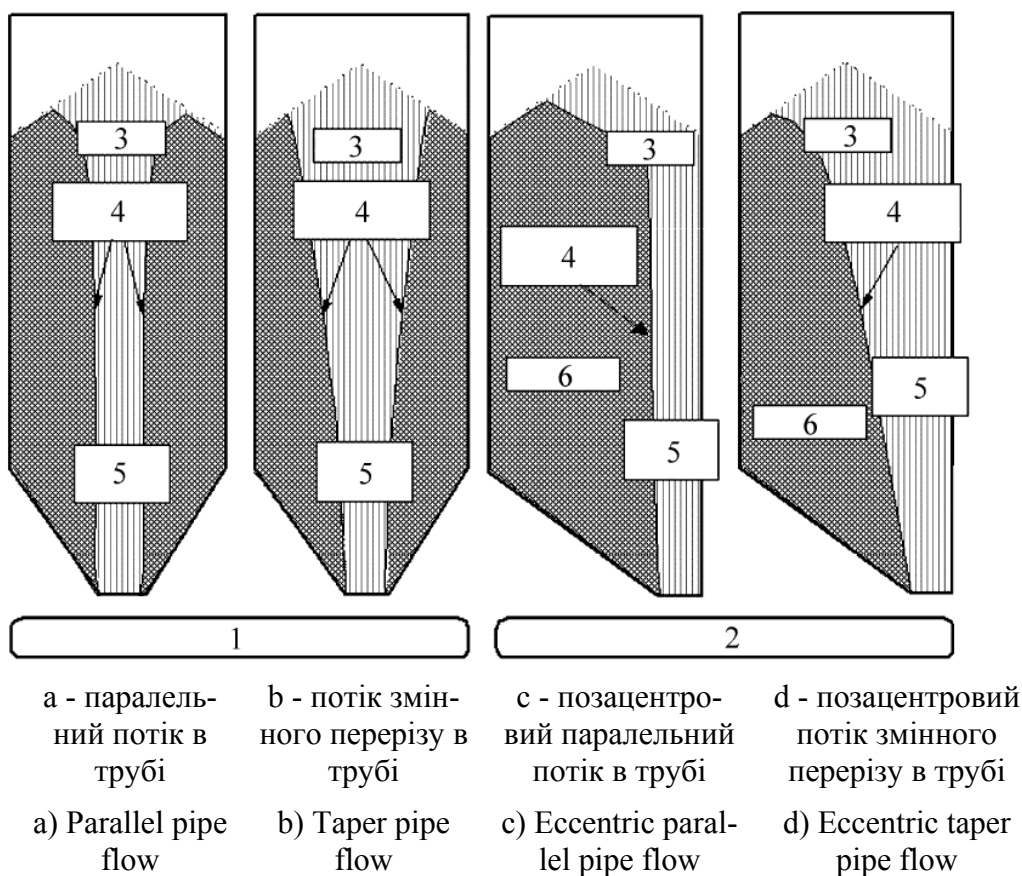
Figure 3.1: Basic flow patterns

(4) Якщо потік в трубі завжди знаходиться всередині сипкого матеріалу (див. рисунки 3.2, а і b), то тиск при вивантаженні допускається не враховувати. Бункери малої гнучкості з симетричним вивантаженням від дії сили тяжіння і бункери з механічною системою вивантаження на поверхні матеріалу, яка забезпечує внутрішній потік в трубі (див. рисунки 3.4, а, b і 3.5, а), відповідають цим умовам (див. 5.1(7) і 5.3.2.1(2) і (4).

Примітка. Антидинамічна труба відповідної конструкції також може забезпечувати умови для внутрішнього потоку в трубі.

(4) Where pipe flow occurs and is always internal to the solid, (see Figures 3.2a and b) discharge pressures can be ignored. Squat silos with concentric gravity discharge and silos with top-surface mechanical discharge systems that ensure internal pipe flow (see Figures 3.4a and b and 3.5a) satisfy these conditions (see 5.1(7) and 5.3.2.1(2) and (4).

NOTE: An anti-dynamic tube of appropriate design may also satisfy the conditions for internal pipe flow.



Роз'яснення

- 1 внутрішній потік в трубі
- 2 позацентровий потік в трубі
- 3 текучий матеріал
- 4 межі каналу потоку
- 5 труба текучого матеріалу
- 6 нерухомий матеріал

Key

- 1 Internal pipe flow
- 2 Eccentric pipe flow
- 3 Flowing
- 4 Flow channel boundary
- 5 Flowing pipe
- 6 Stationary

Рисунок 3.2 - Форми потоку в трубі

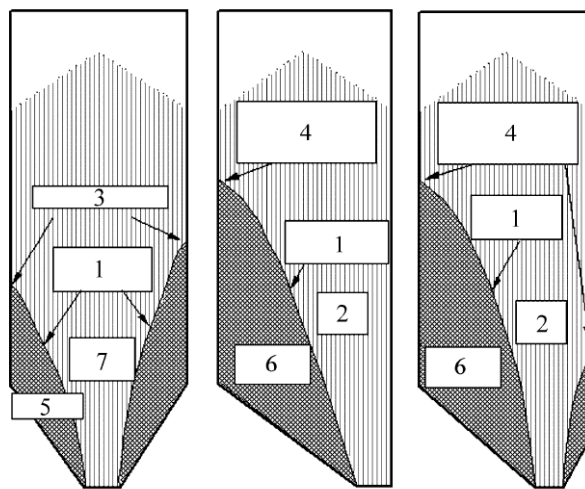
Figure 3.2: Pipe flow patterns

(5) При симетричному масовому або змішаному потоці (див. рисунок 3.1) в розрахунках повинна враховуватися можливе виникнення несиметричних тисків (див. 5.2.2.2 і 5.3.2.2).

(5) Under symmetrical mass or mixed flow (see Figure 3.1), the design should consider the unsymmetrical pressures that may develop (see 5.2.2.2 and 5.3.2.2).

(6) Якщо при потоці в трубі або змішаному потоці має місце контакт потоку зі стінкою бункера, при розрахунках необхідно враховувати спеціальні положення для несиметричного тиску, який може виникнути в цьому випадку (див. рисунки 3.2, с, d, а також рисунки 3.3, b, с) (див. також 5.2.4).

(6) Where pipe flow or mixed flow occurs with partial contact with the silo wall, the design should consider special provisions for the unsymmetrical pressures that may arise (see Figure 3.2c and d and Figure 3.3b and c) (see also 5.2.4).



а - симетричний змішаний потік

б - повністю несиметричний змішаний потік

с - частково несиметричний змішаний потік

a) Concentric mixed flow

b) Fully eccentric mixed flow

c) Partially eccentric mixed flow

Роз'яснення

Key

1 межі каналу потоку

1 Flow channel boundary

2 зона потоку

2 Flow zone

3 ефективний перехід

3 Effective transition

4 ефективний перехід: зміна по окружності бункера

4 Effective transition: varies around silo circumference

5 нерухомий матеріал

5 Stationary

6 нерухомий матеріал

6 Stationary

7 ефективна воронка

7 Effective hopper

Рисунок 3.3 - Форми змішаного потоку

Figure 3.3: Mixed flow patterns

(7) Якщо бункер має кілька вихідних отворів, при розрахунках слід розглядати

(7) Where a silo has multiple outlets, the design should consider the possibility that either any out-

можливість того, що один отвір або кілька вихідних отворів можуть бути відкриті одночасно при повністю заповненому бункері.

(8) Якщо бункер має кілька вихідних отворів і за технологією вони керуються конкретним способом, цей спосіб повинен розглядатися як звичайна розрахункова ситуація. Інші способи відкриття вихідних отворів повинні розглядатися як аварійні ситуації.

Примітка. Поняття «звичайна розрахункова ситуація» в наведеному вище абзаці належить до основної комбінації згідно ДСТУ-Н Б EN 1990, 6.4.3.2. Поняття «аварійна розрахункова ситуація» відноситься до аварійних розрахункових ситуацій згідно 6.4.3.3EN 1990.

(9) Якщо дуже гнучкий бункер заповнений з ексцентриситетом, або якщо розширення матеріалу в дуже гнучкому бункері призводить до різної щільності матеріалу в різних частинах бункера або до зчеплення сипкого матеріалу, асиметрія розташування часток може викликати несиметричний потік в трубі або несиметричний змішаний потік з витіканням біля стінки бункера, що може призвести до несиметричного тиску (див. рисунок 3.4, d). У цьому випадку необхідно використовувати спеціальні положення (див. 5.2.4.1(2)).

(10) Для бункерів з порошкоподібним матеріалом, що подається пневматично, при максимальному заповненні повинні розглядатися дві розрахункові ситуації. Перша: матеріал що зберігається може утворити кут природного укусу, як і при інших видах сипкого матеріалу. Друга: слід розглянути можливість того, що поверхня матеріалу горизонтальна (див. рисунок 3.5, c), незалежно від кута природного укусу та ексцентриситету заповнення. У цьому випадку ексцентриситети заповнення e_f і e_t можуть бути прийняті рівними нулю, а рівень заповнення має бути прийнятий максимально можливим.

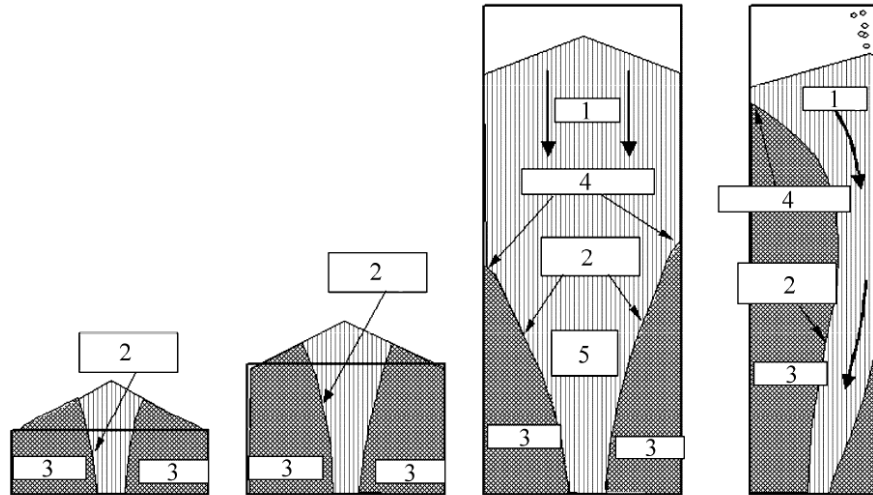
let alone, or any combination of outlets simultaneously, may be opened when the silo is in the full condition.

(8) Where a silo has multiple outlets and the operational design has arranged for it to operate in a particular manner, this manner should be treated as an ordinary design situation. Other outlet opening conditions should be treated as accidental design situations.

NOTE: The term «ordinary design situation» above refers to a Fundamental Combination in EN 1990, 6.4.3.2. The term «accidental load case» refers to an Accidental Design Situation in EN 1990, 6.4.3.3.

(9) Where a very slender silo is filled eccentrically, or where segregation in a very slender silo can lead either to different packing densities in different parts of the silo or to cohesiveness in the solid, the asymmetry of the arrangement of particles may induce unsymmetrical pipe or mixed flow (see Figure 3.4d), with flow against the silo wall that may cause unsymmetrical pressures. The special provisions that are required for this case (see 5.2.4.1(2)) should be used.

(10) Where a silo is filled with powder that has been pneumatically conveyed, two design situations for the full condition should be considered. First, the stored solid may form an angle of repose, as for other solids. Second, consideration should be given to the possibility that the top surface may be horizontal (see Figure 3.5c), irrespective of the angle of repose and the eccentricity of filling. If this is the case, the eccentricities associated with filling e_f and e_t may be taken to be zero, and the filling level should be taken at its maximum possible value.



а - опорний бункер б – бункер малої гнучкості с - гнучкий бункер д - дуже гнучкий бункер
 a) Retaining silo b) Squat silo c) Slender silo d) Very slender silo

Роз'яснення

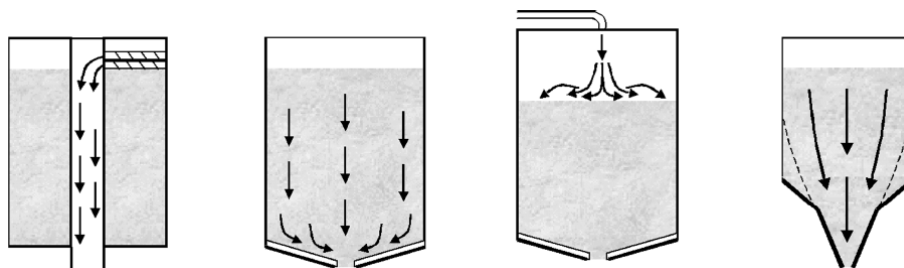
- 1 текучий матеріал
- 2 межі каналу потоку
- 3 нерухомий матеріал
- 4 ефективний перехід
- 5 ефективна воронка

Key

- 1 Flowing
- 2 Flow channel boundary
- 3 Stationary
- 4 Effective transition
- 5 Effective hopper

Рисунок 3.4 - Вплив гнучкості (відношення висоти до діаметра) на форму змішаного потоку і потоку в трубі

Figure 3.4: Aspect ratio (slenderness) effects in mixed and pipe flow patterns



а - механічне вивантаження з симетричним тиском б - нагнітання повітря і його рух створюють масовий потік с - пневматичне заповнення порошкоподібного матеріалу утворює практично плоску верхню поверхню д - воронка з розширеним потоком викликає масовий потік тільки в нижній воронці
 a) mechanical discharge with concentric pressures b) air injection and air slides promote mass flow c) pneumatic filling of powders causes almost flat top surface d) expanded flow hopper gives mass flow only in bottom hopper

Рисунок 3.5 – Спеціальні способи заповнення і вивантаження

Figure 3.5: Special filling and discharge arrangements

(11) У бункерах для зберігання порошкоподібного матеріалу з нагнітанням повітря в зоні днища (див. рисунок 3.5, b) весь матеріал поблизу днища може перебувати в підвішеному стані, викликаючи ефективний масовий потік навіть у бункері малої гнучкості. Такі бункери, незалежно від фактичної гнучкості h_c/d_c , повинні розраховуватися за правилами для гнучкого бункера.

(12) У бункерах для зберігання порошкоподібного матеріалу з нагнітанням повітря в зоні днища (див. рисунок 3.5, b) може статися, що тільки частина матеріалу знаходиться в підвішеному стані, викликаючи несиметричний потік в трубі (див. рисунок 3.3, b). Ексцентриситет результуючого каналу потоку і результуюче значення e_0 необхідно визначати відносно зони матеріалу в підвішеному стані, незалежно від положення вихідного отвору.

(13) Вертикальні стінки бункера з воронкою, що має розширений потік (див. рисунок 3.5, d), можуть відповідати умовам змішаного потоку, що викликає несиметричний тиск при вивантаженні. Визначення гнучкості для бункерів цього типу повинно базуватися на співвідношенні h_b/d_c замість h_c/d_c (див. рисунок 1.1, a).

(14) Якщо бункер з гнучкістю h_c/d_c менше 0,4 має воронку, він повинен класифікуватися як бункер малої гнучкості, при горизонтальному днищі такий бункер повинен класифікуватися як опорний бункер.

(15) Для бункера, що має воронку не конічної, не пірамідальної і не клиноподібної форми, повинні застосовуватися відповідні раціональні методи для розрахунку тисків. Якщо воронка містить внутрішні конструкції, тиски на воронку і ці конструкції повинні визначатися відповідними раціональними методами.

(16) Для циліндричного бункера з клиноподібною воронкою повинні застосовуватися відповідні раціональні методи для розрахунку тисків.

(11) Where a silo storing powder has an aerated bottom (see Figure 3.5b), the whole bottom may be fluidized, causing an effective mass flow even in a squat silo geometry. Such a silo should be designed according to the provisions for slender silos, irrespective of the actual slenderness h_c/d_c .

(12) Where a silo storing powder has an aerated bottom (see Figure 3.5b), it may be that only a limited zone of powder is fluidized, causing an eccentric pipe flow (see Figure 3.3b) which should also be considered. The eccentricity of the resulting flow channel and the resulting value of e_0 should be evaluated with respect to the fluidized zone, and not relative to the location of the outlet.

(13) The vertical walls of a silo with an expanded flow discharge hopper (see Figure 3.5d) may be subject to mixed flow conditions that may cause unsymmetrical pressures during discharge. The evaluation of the slenderness of a silo of this type should be based on h_b/d_c in place of h_c/d_c (see Figure 1.1a).

(14) Where a silo has a slenderness h_c/d_c less than 0,4, it should be classified as squat if it has a hopper at its base, but classed as a retaining silo if it has a flat bottom.

(15) Where the silo has a hopper that is not conical, pyramidal or wedge shaped, a rational method of analysis of the pressures should be used. Where a hopper contains internal structures, the pressures on both the hopper and the internal structure should be evaluated using a rational method.

(16) Where the silo has a chisel hopper (a wedge shaped hopper beneath a circular cylinder), a rational method of analysis of the pressures should be used.

Примітка. Подовжені вихідні отвори становлять особливу проблему. Якщо використовуються живильники для управління вивантаженням матеріалу з бункера, їх конструкція може впливати на форму потоку в бункері. Це може призвести до масового потоку, до повністю несиметричного змішаного потоку або до повністю несиметричного потоку в трубі.

3.4 Розрахункові ситуації для спеціальних форм конструкції

(1) При розрахунку залізобетонних бункерів за граничним станом експлуатаційної придатності поява тріщин повинна бути обмежена в будь-який час для запобігання проникнення води. Вимоги до тріщин повинні відповідати обмеженням на ширину розкриття тріщин згідно з ДСТУ-Н Б EN 1992 для навколишнього середовища експлуатації бункера.

(2) Для металевих бункерів на болтових або клепаних з'єднаннях розрахункові положення для несиметричних навантажень (місцеві навантаження) повинні прийматися з урахуванням того, що несиметричне навантаження може діяти на будь-яку ділянку стінки бункера.

(3) Для металевих бункерів з прямокутним поперечним перерізом, що мають внутрішні затяжки для зниження згинальних моментів в стінці, повинні використовуватися положення 5.7.

(4) Втоми ефекти повинні враховуватися для бункерів і резервуарів, якщо вони піддаються дії в середньому більше одного циклу навантаження в день. Один цикл навантаження відповідає повному заповненню та спорожненню бункера або, в разі бункера з повітрям що нагнітається (див. рисунок 3.5, b), повної послідовності (ротації) ділянок нагнітання. Втоми ефекти повинні враховуватися і у бункерів, які піддаються вібраційним впливам від обладнання.

(5) Бункери заводського виготовлення повинні бути розраховані на впливи, що виникають при виготовленні, транспортуванні та монтажі.

(6) Якщо в стінці бункера передбачені люки або отвори для доступу, тиск на

NOTE: Elongated outlets present special problems. Where a feeder is used to control the discharge of the solid from the silo, its design may affect the solids flow pattern in the silo. This may produce either mass flow or fully eccentric mixed flow, or fully eccentric pipe flow in the silo.

3.4 Design situations for specific construction forms

(1) In concrete silos being designed for the serviceability limit state, cracking should be limited to prevent water ingress at any time. The crack control should comply with the crack width limitations of EN 1992 appropriate for the environment in which the silo is situated.

(2) In metal silos that are assembled using bolted or riveted construction, the provision for unsymmetrical loads (patch loads) should be interpreted in a manner that recognizes that the unsymmetrical loads may occur anywhere on the silo wall (see 5.2.1.4(4)).

(3) In metal silos that have a rectangular planform and contain internal ties to reduce the bending moments in the walls, the provisions of 5.7 should be used.

(4) The effects of fatigue should be considered in silos or tanks that are subjected to an average of more than one load cycle a day. One load cycle is equal to a single complete filling and emptying, or in an aerated silo (see Figure 3.5b), a complete sequence (rotation) of aerated sectors. The effects of fatigue should also be considered in silos affected by vibrating machinery.

(5) Prefabricated silos should be designed for actions arising during handling, transport and erection.

(6) Where a manhole or access opening is made in the wall of a silo structure, the pressure acting on

кришки повинен прийматися в два рази більше розрахункового локального тиску на прилеглі стінки. Цей тиск повинен використовуватися тільки для розрахунку кришок та їх кріплень.

(7) Якщо дах бункера підтримує системи фільтрації, циклони, конвеєрний привід або подібне обладнання, вони повинні розглядатися як тимчасові навантаження.

(8) Якщо для заповнення або вивантаження бункера використовуються пневматичні подавальні системи, то повинна враховуватися результуюча різниця тисків газу.

Примітка. Цей тиск, як правило, становить <10 кПа, але може виникати і значний тиск вакууму (наприклад, $40 \text{ kPa} \cong 0,4 \text{ bar}$) зазвичай в наслідок помилок проектування або при несправностях у роботі. Бункери повинні мати відповідний захист від таких непередбачених подій, або проектувальник бункера повинен виключити можливість їх появи.

(9) При використанні вібраторів, нагнітачів повітря або обертових розвантажувальних пристроїв на днище змінні навантаження від них повинні бути враховані в граничному стані за витривалістю. Коливання від пневматичних подавальних систем також повинні враховуватися.

(10) При модифікації існуючого бункера шляхом установки футеровки необхідно визначити вплив зміни сил тертя об стінки на роботу конструкцій, включаючи можливі конструктивні наслідки зміни форми потоку матеріалу.

3.5 Розрахункові ситуації від рідин, що зберігаються в резервуарах

(1)P Навантаження на резервуари від рідин, що зберігаються, повинні визначатися при працюючого резервуара і для максимального рівня заповнення.

(2) Якщо рівень рідини в працюючому стані відрізняється від рівня максимального заповнення, то максимальне заповнення повинно розглядатися як аварійна розрахункова ситуація.

the cover should be assessed as two times the highest value of the local design pressure on the adjacent wall. This pressure should be used only for the design of the opening cover and its supports.

(7) Where the roof supports dust filter assemblies, cyclones, mechanical conveying equipment or other similar items, these should be treated as imposed loads.

(8) Where pneumatic conveying systems are used to fill or empty the silo, the resulting gas pressure differentials should be considered.

NOTE: These pressures are usually <10 kPa, but significant vacuum (e.g. $40 \text{ kPa} \cong 0,4 \text{ bar}$) can be applied, usually where a conveying process design or operational error occurs. Silos should have appropriate relief protection for such unexpected events, or the silo designer should ensure that they cannot occur.

(9) Where vibrators, air cannons or gyrating live bottoms form part of the silo installation, the alternating loads caused by them should be considered with respect to the limit state of fatigue. The vibrations caused by pneumatic conveying systems should also be considered.

(10) Where it is proposed to modify an existing silo by the insertion of a wall liner, the consequences of the modified wall friction for the structural design should be investigated, including possible structural consequences of changes in the solids flow patterns.

3.5 Design situations for stored liquids in tanks

(1)P Loads on tanks from the stored liquid shall be considered both when the tank is in operation and when it is full.

(2) Where the operational liquid level is different from the level when the tank is full, the latter should be considered as an accidental design situation.

3.6 Принципи розрахунку вибухів

(1) Якщо можливий вибух рідин або сипких матеріалів, що зберігаються в резервуарах або бункерах, потенційні пошкодження повинні бути обмежені або відвернені відповідним вибором одного або декількох з наступних заходів:

- устрій області для достатнього зниження тиску;
- встановлення відповідних систем придушення вибуху;
- розрахунок конструкцій на сприйняття тиску вибухової хвилі.

Деякі види матеріалів, схильні до вибуху пилу, вказані в таблиці E.1.

Примітка. Рекомендації щодо визначення тисків вибуху наведені в додатку H.

(2) Повинно враховувати тиск на конструкції, розташовані біля бункера, при вибуху всередині нього.

Примітка. Національний додаток може давати вказівки щодо тиску на конструкції поблизу бункера при вибуху всередині нього.

3.6 Principles for design for explosions

(1) Where tanks or silos are used to store liquids or particulate solids that are susceptible to explosion, potential damage should be limited or avoided by appropriate choice of one or more of the following:

- incorporating sufficient pressure relief area;
- incorporating appropriate explosion suppression systems;
- designing the structure to resist the explosion pressure.

Some of the solids that are prone to dust explosions are identified in Table E.1.

NOTE: Advice on the determination of explosion pressures is given in Annex H.

(2) The pressure exerted on structures near a silo as a result of an explosion within it should be determined.

NOTE: The National Annex may give guidance on the pressure exerted on structures near the silo as a result of an explosion within it.

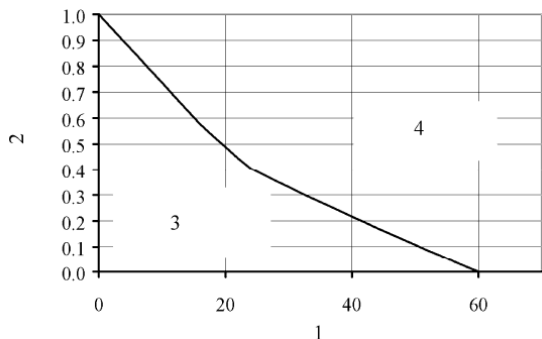
4 Характеристики сипкого матеріалу

4.1 Загальні положення

(1)Р При визначенні дій на бункер необхідно враховувати:

- діапазон характеристик сипкого матеріалу;
- мінливість умов тертя по поверхні;
- геометричну форму бункера;
- методи заповнення і розвантаження.

(2) Жорсткість сипкого матеріалу не підвищує стійкість стінки та не змінює навантаження, визначені за цим стандартом. Вплив деформацій стінки в процесі роботи на тиск в матеріалі, що зберігається, враховувати не слід, якщо не використовується відповідний перевірений метод розрахунку.



а — конічна воронка

a) Conical hoppers

Роз'яснення

- 1 половина кута в вершині β воронки (в градусах)
- 2 коефіцієнт тертя об стінки воронки μ_h ;
- 3 ризик тисків масового потоку в цій області
- 4 достовірна область конічного потоку

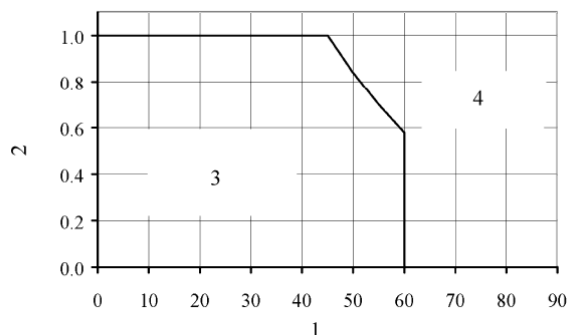
Section 4 Properties of particulate solids

4.1 General

(1)P The evaluation of actions on a silo shall take account of:

- the range of particulate solid properties;
- the variation in the surface friction conditions;
- the geometry of the silo;
- the methods of filling and discharge.

(2) The stiffness of the particulate solid should not be assumed to provide additional stability to the silo wall or to modify the loads defined within this standard. The effects of in-service wall deformations on the pressures developed in the stored solid should be ignored unless a rational verified method of analysis can be applied.



б — клиноподібна воронка

b) Wedge hoppers

Key

- 1 Hopper apex half angle β (degrees)
- 2 Hopper wall friction coefficient μ_h
- 3 Risk of mass flow pressure in this zone
- 4 Funnel flow certain

Рисунок 4.1 – Умови виникнення тисків масового потоку

Figure 4.1: Conditions in which mass flow pressures may arise

(3) Коли це необхідно, тип форми потоку (масовий або конічний потік) повинен визначитися по рисунку 4.1. Рисунок 4.1 не повинен використовуватися для технологічного проектування бункера з масовим потоком, оскільки не враховується вплив внутрішнього тертя.

Примітка. Розрахунок для гарантованого масового потоку знаходиться поза областю цього стандарту (див. 1.1.2(5)). Для цього повинні застосовуватися спеціальні методи, що використовуються в розрахунках переміщення порошкоподібних сипких матеріалів.

4.2 Характеристики сипкого матеріалу

4.2.1 Загальні положення

(1)P Кількісні характеристики сипкого матеріалу, що зберігається, для визначення навантажень за параметрами матеріалу повинні прийматися за результатами випробувань або з інших відповідних даних.

(2)P Значення, отримані з результатів випробувань, інші дані мають відповідним чином бути оброблені при оцінці конкретного навантаження.

(3)P Слід враховувати можливу різницю між параметрами матеріалу, отриманими з результатів випробувань, і тих, які визначають поведінку матеріалу, що зберігається в бункері.

(4)P При визначенні значення різниці параметрів матеріалу, вказаної в (3)P, необхідно враховувати наступні чинники:

- багато параметрів не є константами, а залежать від рівня тиску і форми деформації;
- форма часток, їх розміри і розподіл по розмірах можуть грати різну роль в експерименті і у бункері;
- тимчасові чинники;
- зміну вологи;
- вплив динамічних дій;
- крихкість або в'язкість випробовуваного матеріалу;
- спосіб внесення матеріалу у бункер і у випробувальний пристрій.

(3) Where necessary, the type of flow pattern (mass flow or funnel flow) should be determined from Figure 4.1. Figure 4.1 should not be used for the functional design of a silo to achieve a mass flow pattern, because the influence of the internal friction angle is ignored.

NOTE: Design for guaranteed mass flow is outside the scope of this standard (see 1.1.2(5)). Powder and bulk solids handling procedures should be used for this purpose.

4.2 Particulate solids properties

4.2.1 General

(1)P Properties of stored particulate solids, as quantified for load calculations by material parameters, shall be obtained either from test results or from other relevant data.

(2)P Values obtained from test results and other data shall be interpreted appropriately for the load assessment considered.

(3)P Account shall be taken of the possible differences between the material parameters obtained from test results and those governing the behaviour of the solids stored in silos.

(4)P In evaluating the differences in solids properties indicated in (3)P, the following factors shall be considered:

- many parameters are not true constants but depend on the stress level and mode of deformation;
- particle shape, size and size distribution can play different roles in the test and in the silo;
- time effects;
- moisture content variations;
- effect of dynamic actions;
- the brittleness or ductility of the stored solid tested;
- the method of filling into the silo and into the test apparatus.

(5)P При визначенні значення різниці характеристик тертя об стінки, вказаною в (3)P, необхідно враховувати наступні чинники:

- корозію і хімічну реакція між матеріалом, вологою і стінкою;
- стирання і знос, які можуть зробити стінки бункера шорсткішими;
- згладжування поверхні стінки;
- накопичення жирних відкладень на стінці;
- частки матеріалу, що вкраплені в поверхню стінки (зазвичай збільшують шорсткість).

(6)P При призначенні кількісних значень параметрів матеріалу необхідно враховувати:

- опубліковані загально визнані дані по застосуванню кожного типу випробувань;
- значення кожного параметра порівняно з відповідними опублікованими даними і досвідом проектування;
- мінливість параметрів, для розрахунку;
- результати будь-яких натурних вимірів у бункерах аналогічної конструкції;
- будь-яку кореляцію між результатами, отриманими із понад одного типу випробувань;
- будь-яку істотну мінливість параметрів матеріалу, яку можна припускати впродовж терміну служби бункера.

(7)P Вибір характеристичних значень параметрів матеріалу повинен ґрунтуватися на значеннях, отриманих в результаті випробувань, з урахуванням достовірних, перевірених досвідом даних.

(8) Характеристичне значення параметра матеріалу повинне вибиратися як обережна оцінка відповідного нижнього або верхнього характеристичного значення залеж-

(5)P In evaluating the differences in wall frictional properties indicated in (3)P, the following factors shall be considered:

- corrosion and chemical reaction between the particles, moisture and the wall;
- abrasion and wear that may roughen the wall;
- polishing of the wall;
- accumulation of greasy deposits on the wall;
- particles of solid being impressed into the wall surface (usually a roughening effect).

(6)P When establishing values of material parameters, the following shall be considered:

- published as well as recognized information relevant to the use of each type of test;
- the value of each parameter compared with relevant published data and general experience;
- the variation of the parameters that are relevant to the design;
- the results of any large scale field measurements from similar silos;
- any correlation between the results from more than one type of test;
- any significant variation in material properties that may be contemplated during the lifetime of the silo.

(7)P The selection of characteristic values for material parameters shall be based on derived values resulting from laboratory tests, complemented by well-established experience.

(8) The characteristic value of a material parameter should be selected as a cautious estimate of the appropriate value, either the upper or the lower characteristic value, depending on

но від його впливу на навантаження, що визначається.

(9) Для інтерпретації результатів випробувань допускається використовувати положення ДСТУ-Н Б EN 1990.

Примітка. Див. також додаток D ДСТУ-Н Б EN 1990.

4.2.2 Випробування і визначення характеристик матеріалу

(1)P Значення характеристик матеріалу, прийняті в розрахунках, повинні враховувати можливу мінливість внаслідок змін в складі, методах виробництва, гранулометричному складі, вмісті вологи, температури, старіння і електричного заряду в процесі переміщення.

(2) Характеристики сипкого матеріалу повинні визначатися спрощеним методом по 4.2.3, або шляхом випробувань по 4.3.

(3) Для бункерів класу дій 3 характеристики сипкого матеріалу повинні визначатися шляхом випробувань по 4.3.

(4) Характеристики для будь-якого конкретного сипкого матеріалу допускається приймати як для матеріалу, що зберігається, характеристики якого наводяться в таблиці E.1.

(5) Значення коефіцієнта тертя об стінки μ для даного сипкого матеріалу, прийняте в розрахунку, повинно враховувати тип тертя поверхні, по якій він ковзає. Різні категорії поверхні стінок, які використовуються в даному стандарті, визначені в 4.2.1 і перераховані в таблиці 4.1.

(6) Для бункерів з поверхнями стінок категорії D4 повинен визначатися ефективний коефіцієнт тертя об стінки по методу, приведеному в D.2.

(7) Коефіцієнт місцевого навантаження C_{op} слід приймати по таблиці E.1 або розраховувати по формулі (4.8).

its influence on the load being evaluated.

(9) Reference may be made to EN 1990, for provisions concerning the interpretation of test results.

NOTE: Refer also to Annex D of EN 1990.

4.2.2 Testing and evaluation of solids properties

(1)P The values of solid properties adopted in design shall take into account potential variations due to changes in composition, production method, grading, moisture content, temperature, age and electrical charge due to handling.

(2) Particulate solid properties should be determined using either the simplified approach presented in 4.2.3 or by testing as described in 4.3.

(3) For silos in Action Assessment Class 3, particulate solids properties should be obtained by testing as described in 4.3.

(4) The properties of any particulate solid may be taken as represented by the default stored solid given in Table E.1.

(5) The value adopted in design of the wall friction coefficient μ for a given particulate solid should take account of the frictional character of the surface on which it slides. The Wall Surface Categories used in this standard are defined in 4.2.1 and are listed in Table 4.1.

(6) For silos with walls in Wall Surface Category D4, the effective wall friction coefficient should be determined as set out in D.2.

(7) The patch load solid reference factor C_{op} should be obtained from Table E.1 or determined from Expression (4.8).

Таблиця 4.1 – Категорії поверхні стінок
Table 4.1 – Wall surface definitions

Категорія	Опис	Типові матеріали стінки
Category	Descriptive title	Typical wall materials
D1	Низьке тертя. Класифікується як: «Дуже гладка»	Холоднокатана неіржавіюча сталь; Полірована неіржавіюча сталь; Поверхні з покриттям, призначеним для низького тертя; Полірований алюміній; Поліетилен з дуже високої молекулярною вагою
D1	Low friction classed as «Slippery»	Cold-rolled stainless steel Polished stainless steel Coated surface designed for low friction Polished aluminium Ultra high molecular weight polyethylene ^a
D2	Середнє тертя. Класифікується як: «Гладка»	Гладка маловуглецева сталь (зварні або болтові конструкції); Неіржавіюча сталь з прокатною поверхнею; Вуглецева сталь з гальванічним покриттям; Окислений алюміній Поверхні з покриттям, призначеним для захисту від корозії або абразивного зносу
D2	Moderate friction classed as «Smooth»	Smooth mild carbon steel (welded or bolted construction) Mill finish stainless steel Galvanized carbon steel Oxidized aluminium Coated surface designed for corrosion resistance or abrasive wear
D3	Сильне тертя. Класифікується як: «Груба»	Бетон, бетон в сталевому облицюванні, старий бетон; Стара (що має корозію) вуглецева сталь; Зносостійка сталь; Керамічні плитки
D3	High friction classed as «Raspy»	Off form concrete, steel finished concrete or aged concrete Aged (corroded) carbon steel Abrasion resistant steel Ceramic tiles
D4	Нерегулярна	Горизонтально гофровані стінки; Профільовані листи з горизонтальними ребрами; Нестандартні стінки з великими відхиленнями
D4	Irregular	Horizontally corrugated walls Profiled sheeting with horizontal ribs Non-standard walls with large aberrations
Примітка. Класифікація і описи в таблиці 4 даються в термінах тертя, а не шорсткості, оскільки існує незначна кореляція між виміряним значенням тертя матеріалу об поверхню при його ковзанні і виміряною шорсткістю.		
NOTE: The descriptive titles in this table are given in terms of friction rather than roughness because there is a poor correlation between measured wall friction between a sliding granular solid and the surface and measures of roughness.		
а) Для цих поверхонь потрібно особливо ретельно розглядати ефект шорсткості від частинок, що втиснуті в поверхню стінки.		
^a The roughening effect of particles being impressed into the surface should be considered carefully for these surfaces.		

4.2.3 Спрощений підхід

(1) Значення характеристик добре відомих матеріалів повинні прийматися згідно таблиці Е.1. Вказані там значення відповідають верхньому характеристичному значенню питомої ваги γ і середнім значенням для μ_m , K_m и ϕ_{im} .

(2) Якщо матеріал, що зберігається, не можна точно ідентифікувати як подібний одному з вказаних в таблиці Е.1 матеріалів, необхідно виконати випробування згідно 4.3.

(3) Для визначення характеристичних значень μ , K и ϕ_i табличні значення μ_m , K_m и ϕ_{im} слід помножити або розділити на поправочні коефіцієнти a з таблиці Е.1. При розрахунку максимальних навантажень повинні використовуватися наступні комбінації:

- верхнє характеристичне значення
- Upper characteristic value of
- нижнє характеристичне значення
- Lower characteristic value of
- верхнє характеристичне значення
- Upper characteristic value of
- нижнє характеристичне значення
- Lower characteristic value of
- верхнє характеристичне значення
- Upper characteristic value of
- нижнє характеристичне значення
- Lower characteristic value of

(4) Для бункерів класу дій 1 замість верхнього і нижнього характеристичних значень допускається використовувати середні значення μ_m , K_m и ϕ_{im} .

4.3 Випробування сипкого матеріалу

4.3.1 Методи випробувань

(1)Р Випробування повинні проводитися з показними зразками сипкого матеріалу. Середнє значення для кожної характеристики сипкого матеріалу повинне визначатися з належним врахуванням мінливості

4.2.3 Simplified approach

(1) The values of the properties of well-known solids should be taken from Table E.1. The values in Table 4.1 correspond to the upper characteristic value for the unit weight γ , but the values of μ_m , K_m and ϕ_{im} are mean values.

(2) Where the solid to be stored cannot be clearly identified as similar to one of the descriptors in Table E.1, testing according to 4.3 should be undertaken.

(3) To determine the characteristic values of μ , K and ϕ_i , the tabulated values of μ_m , K_m and ϕ_{im} should be multiplied and divided by the conversion factors a given in Table E.1. Thus in calculating maximum loads the following combinations should be used:

$$K = a_K K_m \quad (4.1)$$

$$K = K_m / a_K \quad (4.2)$$

$$\mu = a_\mu \mu_m \quad (4.3)$$

$$\mu = \mu_m / a_\mu \quad (4.4)$$

$$\phi_i = a_\phi \phi_{im} \quad (4.5)$$

$$\phi_i = \phi_{im} / a_\phi \quad (4.6)$$

(4) For silos in Action Assessment Class 1, the mean values of μ_m , K_m and ϕ_{im} may be used for design, in place of the range of values associated with the upper and lower characteristic values.

4.3 Testing particulate solids

4.3.1 Test procedures

(1)P Testing shall be carried out on representative samples of the particulate solid. The mean value for each solid property shall be determined making proper allowance for variations in secondary parameters such as composition,

вторинних параметрів, таких як: склад, гранулометричний склад, вміст вологи, температура, вік і електричний заряд унаслідок переміщення або методу виробництва.

(2) Характеристичні значення визначаються по експериментальним середнім значенням з використанням формул (4.1) – (4.6) і відповідних поправочних коефіцієнтів a .

(3) Кожен поправковий коефіцієнт a повинен ретельно визначатися з врахуванням очікуваної мінливості характеристик матеріалу протягом терміну використання бункера, можливого впливу розшарування матеріалу і неточностей при відборі зразків матеріалу.

(4) Якщо існує значна кількість експериментальних даних для визначення стандартного відхилення характеристики, то відповідний поправковий коефіцієнт a слід визначати за С.11.

(5) Інтервал між середнім і характеристичним значеннями параметра матеріалу виражається поправочним коефіцієнтом a . Якщо один другорядний параметр вносить більше 75 % у значення поправочного коефіцієнта a , його значення має бути збільшене шляхом множення на 1,10.

Примітка. Приведене вище положення призначене для забезпечення того, аби вибране значення a давало порівнянну вірогідність появи навантажень, що визначаються.

4.3.2 Питома вага сипкого матеріалу γ

(1) Питома вага сипкого матеріалу γ повинна визначатися при щільності ущільнення частинок сипкого матеріалу і при рівні тиску, які відповідають ділянці в матеріалі, що зберігається в бункері, де реалізується максимальний вертикальний тиск від заповнення. Вертикальний тиск p_{vft} в бункері допускається визначати по формулах (5.3) або (5.79) на глибині нижнього краю вертикальної частини.

(2) Для виміру питомої ваги сипкого матеріалу γ повинен застосовуватися метод випробувань по С.6.

grading, moisture content, temperature, age, electrical charge due to handling and production method.

(2) The mean test values should be adjusted using Expressions (4.1) to (4.6) with the relevant conversion factor a to derive characteristic values.

(3) Each conversion factor a should be carefully evaluated, taking proper account of the expected variability of the solid properties over the silo life, the possible consequences of segregation and of the effects of sampling inaccuracies.

(4) Where sufficient test data exists to determine the standard deviation of a property, the relevant conversion factor a should be determined as set out in C.11.

(5) The margin between the mean and the characteristic values for the solid property is represented by the conversion factor a . Where a single secondary parameter alone accounts for more than 75% of the value of a , that value should be increased by multiplying it by 1,10.

NOTE: The above provision is made to ensure that the value of a is chosen to represent an appropriate probability of occurrence for the deduced loads.

4.3.2 Bulk unit weight γ

(1) The bulk unit weight γ should be determined at a particle packing density and at a stress level corresponding to the position in the stored solid in the silo where the maximum vertical stress after filling occurs. The vertical stress p_{vft} in the silo may be assessed using Expression (5.3) or (5.79), as appropriate, for the depth at the bottom of the vertical section.

(2) The test method for the measurement of bulk unit weight γ described in C.6 should be used.

(3) Поправковий коефіцієнт для отримання характеристичного значення з виміряного значення повинен визначатися по методиці, вказаній в С.11. Поправковий коефіцієнт a_γ не повинен прийматися менше ніж $a_\gamma = 1,10$, за винятком випадку, коли менше значення підтверджується експериментально з відповідною оцінкою (див. С.11).

4.3.3 Коефіцієнт тертя об стінки μ

(1) Випробування по визначенню коефіцієнта тертя об стінки μ для розрахунку навантажень повинні виконуватися при щільності ущільнення частинок сипкого матеріалу і при рівні тиску, які відповідають ділянці в матеріалі, що зберігається в бункері, де реалізується максимальний горизонтальний тиск на вертикальну стінку після заповнення p_{hfb} . Тиск від заповнення p_{hfb} в основі вертикальної стінки допускається визначати за формулою (5.1) або (5.71).

(2) Для виміру коефіцієнта тертя о стінки μ повинен застосовуватися метод випробувань по С.7.

(3) Середнє значення μ_m коефіцієнта тертя о стінки і його стандартне відхилення повинні визначатися з випробувань. Якщо для матеріалу може бути знайдено лише середнє значення, то стандартне відхилення повинне оцінюватися по методу, вказаному в С.11.

(4) Поправковий коефіцієнт для отримання характеристичного значення з виміряного значення повинен визначатися за методикою, наведеною в С.11. Поправковий коефіцієнт a_μ не повинен прийматися менше ніж $a_\mu = 1,10$, за винятком випадку, коли менше значення підтверджується експериментально з відповідною оцінкою (див. С.11).

4.3.4 Кут внутрішнього тертя ϕ_i

(1) Кут внутрішнього тертя ϕ_i при навантаженні (арктангенс відношення зсувних напружень до нормальних напружень при

(3) The conversion factor to obtain the characteristic value from the measured value should be found using the procedure given in C.11. The conversion factor a_γ should not be taken as less than $a_\gamma = 1,10$ unless a smaller value can be justified by testing and assessment (see C.11).

4.3.3 Coefficient of wall friction μ

(1) Tests to determine the wall friction coefficient μ for the calculation of loads should be determined at a particle packing density and at a stress level corresponding to the position in the stored solid in the silo where the maximum assessed horizontal filling pressure p_{hfb} on the vertical wall after filling occurs. The filling pressure p_{hfb} at the base of the vertical wall may be assessed using Expression (5.1) or (5.71) as appropriate.

(2) The test method for the measurement of μ described in C.7 should be used.

(3) The mean value μ_m of the wall friction coefficient and its standard deviation should be deduced from the tests. Where only the mean value can be found, the standard deviation should be assessed using the procedure given in C.11.

(4) The conversion factor to obtain the characteristic value from the mean value should be found using the procedure given in C.11. The conversion factor a_μ should not be taken as less than $a_\mu = 1,10$ unless a smaller value can be justified by testing and assessment (see C.11).

4.3.4 Angle of internal friction ϕ_i

(1) The loading angle of internal friction ϕ_i (arctan of the ratio of shear stress to normal stress at failure during virgin loading) should be

руйнуванні під час первинного навантаження) повинен визначатися при щільності ущільнення часток матеріалу і при рівні тиску, які відповідають щільності ущільнення і рівню тиску на ділянці в матеріалі, що зберігається в бункері, де реалізується максимальний вертикальний тиск після заповнення. Вертикальний тиск допускається визначати за формулою (5.3) або (5.79).

(2) Для виміру ϕ_i повинен застосовуватися метод випробувань по С.9.

(3) Середнє значення ϕ_{im} кута внутрішнього тертя при навантаженні і його стандартне відхилення δ повинні визначатися з випробувань. Якщо для матеріалу може бути знайдено лише середнє значення, то стандартне відхилення повинне оцінюватися по методу, вказаному в С.11.

(4) Поправковий коефіцієнт для отримання характеристичного значення з виміряного значення повинен визначатися по методиці, вказаній в С.11. Поправковий коефіцієнт a_ϕ не повинен прийматися менше ніж $a_\phi = 1,10$, за винятком випадку, коли менше значення підтверджується експериментально з відповідною оцінкою (див. С.11).

4.3.5 Коефіцієнт бокового тиску K

(1) Коефіцієнт бокового тиску K (відношення середнього горизонтального тиску до середнього вертикального тиску) повинен визначатися при щільності ущільнення частинок матеріалу і при рівні тиску, які відповідають ділянці в матеріалі, що зберігається в бункері, де реалізуються максимальні вертикальні тиски після заповнення. Вертикальний тиск в матеріалі p_{vf} допускається визначати за формулою (5.3) або (5.79).

(2) Для визначення K повинен застосовуватися метод випробувань по С.8.

(3) Середнє значення K_m коефіцієнта бокового тиску і його стандартне відхилення повинні визначатися з випробувань. Якщо для матеріалу може бути знайдено лише середнє значення, то стандартне відхилен-

determined at a particle packing density and at a stress level corresponding to the position in the stored solid in the silo where the maximum vertical stress after filling occurs. The vertical stress may be assessed using Expression (5.3) or (5.79) as appropriate.

(2) The test method for the measurement of ϕ_i described in C.9 should be used.

(3) The mean value ϕ_{im} of the loading angle of internal friction and its standard deviation δ should be deduced from the tests. Where only the mean value can be found, the standard deviation should be assessed using the procedure given in C.11.

(4) The conversion factor to obtain the characteristic value from the mean value should be found using the procedure given in C.11. The conversion factor a_ϕ should not be taken as less than $a_\phi = 1,10$ unless a smaller value can be justified by testing and assessment (see C.11).

4.3.5 Lateral pressure ratio K

(1) The lateral pressure ratio K (ratio of mean horizontal to mean vertical pressure) should be determined at a particle packing density and at a stress level corresponding to the position in the stored solid in the silo where the maximum vertical stress after filling occurs. The vertical stress in the solid p_{vf} may be assessed using Expression (5.3) or (5.79) as appropriate.

(2) The test method for the measurement of K described in C.8 should be used.

(3) The mean value K_m of the lateral pressure ratio and its standard deviation should be deduced from the tests. Where only the mean value can be found, the standard deviation should be assessed using the procedure given in C.11.

ня повинне оцінюватися по методу, вказаному в С.11.

(4) Наближене значення K_m допускається альтернативно визначити по середньому значенню виміряного кута внутрішнього тертя при навантаженні ϕ_{im} (див. 4.3.4) по формулі:

$$K_m = 1,1 \cdot (1 - \sin \phi_{im}) \quad (4.7)$$

Примітка. Коефіцієнт 1,1 у формулі (4.7) застосовується для приблизного врахування відмінності між значенням K ($= K_0$), виміряним в умовах практично повної відсутності тертя о стінки, і значенням K , виміряним за наявності тертя о стінки (див. також 4.2.2(5)).

(5) Поправковий коефіцієнт для отримання характеристичного значення з виміряного значення повинен визначатися по методиці, вказаній в С.11. Коефіцієнт a_K не повинен прийматися менше ніж $a_K = 1,10$, за винятком випадку, коли менше значення підтверджується експериментально з відповідною оцінкою (див. С.11).

4.3.6 Зчеплення c

(1) Зчеплення c сипких матеріалів варіюється разом з тиском консолідації, який прикладений до матеріалу. Воно повинне визначатися при щільності ущільнення частинок сипкого матеріалу і при рівні тиску, які відповідають ділянці в матеріалі, що зберігається в бункері, де реалізуються максимальні вертикальні тиски після заповнення. Вертикальний тиск p_{vf} допускається визначати за формулою (5.3) або (5.79).

(2) Для виміру зчеплення c повинен застосовуватися метод випробувань по С.9.

Примітка. Альтернативне зчеплення c допускається визначати за результатами випробувань на зріз по методу Дженике. Метод розрахунку зчеплення за результатами випробувань наводиться в С.9.

(4) An approximate value for K_m may alternatively be obtained from the mean value of the measured loading angle of internal friction ϕ_{im} (see 4.3.4) as:

NOTE: The factor 1,1 in Expression (4.7) is used to give an approximate representation of the difference between the value of K ($= K_0$) measured under conditions of almost zero wall friction and the value of K measured when wall friction is present (see also 4.2.2(5)).

(5) The conversion factor to obtain the characteristic value from the measured value should be found using the procedure in C.11. The conversion factor a_K should not be taken as less than $a_K = 1,10$ unless a smaller value can be justified by testing and assessment (see C.11).

4.3.6 Cohesion c

(1) The cohesion c of the solid varies with the consolidating stress that has been applied to the solid. It should be determined at a particle packing density and at a stress level corresponding to the position in the stored solid in the silo where the maximum vertical stress occurs after filling. The vertical stress in the solid p_{vf} may be assessed using Expression (5.3) or (5.79) as appropriate.

(2) The test method for the measurement of c described in C.9 should be used.

NOTE: Alternatively the cohesion c may be estimated from the results of a Jenike shear cell test (ASTM Standard D6128). A method for determining the cohesion from the test results is given in C.9.

4.3.7 Коефіцієнт місцевого навантаження від матеріалу C_{op}

(1)Р Коефіцієнт місцевого навантаження від матеріалу C_{op} повинен визначатися на підставі відповідних даних випробувань.

Примітка 1. Коефіцієнти вивантаження C враховують ряд явищ, що виникають при розвантаженні бункера. Симетричне зростання тиску є відносно незалежним від матеріалу, що зберігається, проте несиметричні компоненти тиску залежать від матеріалу. Залежність несиметричних компонентів від матеріалу враховується коефіцієнтом місцевого навантаження від матеріалу C_{op} . Цей параметр не може бути легко виміряний при виконанні випробувань матеріалу.

Примітка 2. Відповідний експериментальний метод для визначення параметра C_{op} з випробувань матеріалу сам по собі до цих пір ще не розроблений. Тому цей коефіцієнт ґрунтується на експериментах по вивантаженню бункерів і на досвіді. Він може бути застосований для бункерів з традиційними системами завантаження і вивантаження і побудованих в межах звичайних інженерних допусків.

(2) Значення коефіцієнта місцевого навантаження від матеріалу C_{op} для добре відомих сипких матеріалів повинно прийматися за таблицею E.1.

(3) Для матеріалів, не приведених в таблиці E.1, оцінку коефіцієнта місцевого навантаження C_{op} від матеріалу допускається виконувати залежно від коефіцієнтів мінливості властивостей матеріалу, коефіцієнта для горизонтального тиску a_K і коефіцієнта для тертя о стінки a_μ , по формулі:

$$C_{op} = 3,5a_\mu + 2,5a_K - 6,2 \quad (4.8)$$

де

a_μ коефіцієнт мінливості для коефіцієнта тертя о стінки μ ;

a_K коефіцієнт мінливості для коефіцієнта бокового тиску K .

(4) Для спеціальних бункерів із специфічними матеріалами, що зберігаються, відповідні коефіцієнти місцевого навантаження від матеріалу C_{op} допускається визначати за результатами натурних випробувань бункерів такого ж типу.

4.3.7 Patch load solid reference factor C_{op}

(1)P The patch load solid reference factor C_{op} shall be determined on the basis of appropriate test records.

NOTE 1: The discharge factors C account for a number of phenomena occurring during discharge of the silo. The symmetrical increase in pressures is relatively independent of the solid being stored, but the unsymmetrical component is quite material dependent. The material dependency of the unsymmetrical component is represented by the patch load solid reference factor C_{op} . This parameter is not easily measured in a control test on the solid.

NOTE 2: An appropriate laboratory test method to determine the parameter C_{op} from a control test on the solid alone has not yet been developed. This factor is based on silo discharge experiments and on experience. It applies to silos with conventional filling and discharge systems and built to standard engineering tolerances.

(2) The value of the patch load solid reference factor C_{op} for well-known solids should be taken from Table E.1.

(3) For solids not listed in Table E.1, the patch load solid reference factor C_{op} may be estimated from the material variability factors for the lateral pressure ratio a_K and the wall friction coefficient a_μ as:

where:

a_μ is the variability factor for the wall friction coefficient μ

a_K is the variability factor for the lateral pressure ratio K for the solid.

(4) Appropriate patch load solid reference factors C_{op} for specific silos with specified stored solids may also be derived from full-scale tests performed on silos of the same type.

5 Навантаження на вертикальні стінки бункерів

5.1 Загальні положення

(1)Р Характеристичні значення навантажень від заповнення і при вивантаженні визначені в цьому розділі повинні використовуватися для наступних типів бункерів:

- гнучкі бункери;
- бункери проміжної гнучкості;
- бункери малої гнучкості;
- опорні бункери;
- бункери для матеріалів, що містять повітря.

(2)Р Навантаження на вертикальні стінки бункера повинні визначатися залежно від гнучкості бункера (див. рисунки 1.1, а і 5.1), які можуть бути наступних класів:

- гнучкі бункери з $2,0 \leq h_c/d_c$ (за виключеннями, визначеними в 3.3);
- бункери проміжної гнучкості з $1,0 < h_c/d_c < 2,0$ (за виключеннями, визначеними в 3.3);
- бункери малої гнучкості з $0,4 < h_c/d_c \leq 1,0$ (з виключеннями згідно 3.3);
- опорні бункери з горизонтальним днищем і $h_c/d_c \leq 0,4$.

(3) Бункер з нагнітанням повітря в днище повинен вважатися гнучким незалежно від своєї фактичної гнучкості h_c/d_c .

(4)Р Навантаження на вертикальні стінки включають фіксоване навантаження, що називається симетричним навантаженням, і вільне навантаження, що називається місцевим навантаженням, які діють одночасно.

(5) Детальні правила для розрахунку навантажень від заповнення і при розвантаженні вказані в 5.2, 5.3 і 5.4 для бункерів різної гнучкості.

(6) Додаткові випадки навантаження повинні враховуватися для бункерів із спеці-

Section 5 Loads on the vertical walls of silos

5.1 General

(1)P The characteristic values of the filling and discharge loads, which are prescribed in this section for the following types of silo, shall be used:

- slender silos;
- intermediate slenderness silos;
- squat silos;
- retaining silos;
- silos containing solids with entrained air.

(2)P The loads on silo vertical walls shall be evaluated according to the slenderness of the silo (see figure 1.1a and 5.1) determined according to the following classes:

- slender silos, where $2,0 \leq h_c/d_c$ (except as defined in 3.3);
- intermediate slenderness silos, where $1,0 < h_c/d_c < 2,0$ (except as defined in 3.3);
- squat silos, where $0,4 < h_c/d_c \leq 1,0$ (except as defined in 3.3);
- retaining silos, where the bottom is flat and $h_c/d_c \leq 0,4$.

(3) A silo with an aerated bottom should be treated as a slender silo, irrespective of its slenderness h_c/d_c .

(4)P The load on vertical walls is composed of a fixed load, called the symmetrical load, and a free load, called the patch load, which shall be taken to act simultaneously.

(5) Detailed rules for the calculation of filling loads and discharge loads are given for each silo slenderness in 5.2, 5.3 and 5.4.

(6) Additional load cases should be considered for silos with special conditions as follows:

альними умовами, а саме:

- бункери з пристроями нагнітання повітря для повного або часткового підвісу матеріалу, див. 5.5;
- бункери, у яких допускається різниця температур між конструкціями бункера і матеріалом, що зберігається, див. 5.6;
- бункери з прямокутним поперечним перетином, див. 5.7.

(7)Р При появі великих ексцентриситетів наповнення або вивантаження повинні встановлюватися спеціальні випадки навантаження. Вони не повинні діяти одночасно з симетричним і місцевим навантаженням, але кожен повинен представляти власний окремий випадок навантаження.

(8) Якщо може бути гарантований внутрішній потік в трубі (див. 3.3 (3)), то допускається проектування тільки з урахуванням навантаження від заповнення, включаючи, при необхідності, місцеві навантаження при заповненні.

(7)P Where large eccentricities of filling or discharge occur, special different load cases are defined. These shall not be taken to act simultaneously with the symmetric and patch loads, but each shall represent a separate and distinct load case.

(8) Where internal pipe flow can be guaranteed (see 3.3(3)), the design may be based on filling loads alone, including the filling patch load where appropriate.

5.2 Гнучкі бункери

5.2.1 Навантаження від заповнення на вертикальні стінки

5.2.1.1 Симетричні навантаження від заповнення

(1) Симетричні навантаження від заповнення (див. рисунок 5.1) повинні обчислюватися за формулами (5.1) – (5.6).

(2) Значення горизонтального тиску p_{hf} , дотичного тиску тертя о стінку p_{wf} і вертикальний тиск p_{vf} від заповнення і при вивантаженні повинні визначатися за формулами:

$$p_{hf}(z) = p_{ho} Y_J(z) \quad (5.1)$$

$$p_{wf}(z) = \mu p_{ho} Y_J(z) \quad (5.2)$$

$$p_{vf}(z) = \frac{p_{ho}}{K} Y_J(z) \quad (5.3)$$

В яких

in which:

$$p_{ho} = \gamma K z_o \quad (5.4)$$

5.2 Slender silos

5.2.1 Filling loads on vertical walls

5.2.1.1 Symmetrical filling load

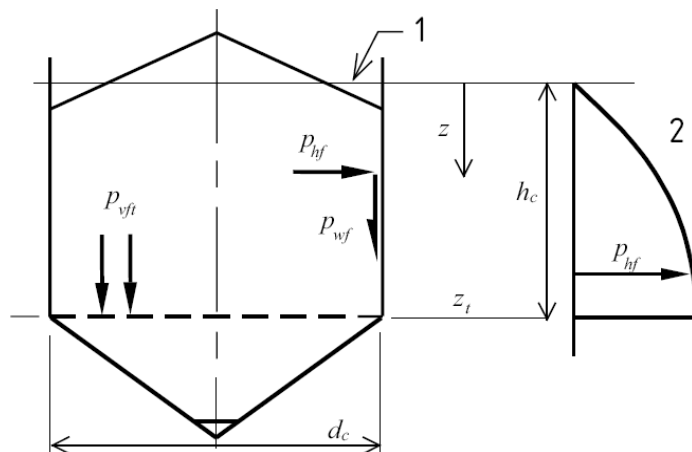
(1) The symmetrical filling load (see Figure 5.1) should be calculated using Expressions (5.1) to (5.6).

(2) The values of horizontal pressure p_{hf} , wall frictional traction p_{wf} and vertical pressure p_{vf} at any depth after filling and during storage should be determined as:

$$z_o = \frac{1}{K\mu} \frac{A}{U} \quad (5.5)$$

$$Y_J(z) = 1 - e^{-z/z_o} \quad (5.6)$$

де	where:
γ характеристичне значення питомої ваги;	γ is the characteristic value of the unit weight
μ характеристичне значення коефіцієнта тертя о стінки для матеріалу, що ковзає по вертикальній стінці;	μ is the characteristic value of the wall friction coefficient for solid sliding on the vertical wall
K характеристичне значення коефіцієнта бокового тиску;	K is the characteristic value of the lateral pressure ratio
z глибина під еквівалентною поверхнею матеріалу;	z is the depth below the equivalent surface of the solid
A площа внутрішнього поперечного перетину бункера;	A is the plan cross-sectional area of the silo
U периметр внутрішнього поперечного перетину бункера.	U is the internal perimeter of the plan cross-section of the silo



Роз'яснення	Key
1 еквівалентна поверхня	1 Equivalent surface
2 тиск у вертикальному стовбурі	2 Pressures in vertical segment

Рисунок 5.1 – Симетричний тиск від заповнення у вертикальному стовбурі бункера

Figure 5.1: Symmetrical filling pressures in the vertical-walled segment

(3) Характеристичне значення вертикальних стискаючих сил в стінці n_{zSk} на одиницю довжини периметра від заповнення на будь-якій глибині z повинні визначатися за формулою:

3) The resulting characteristic value of the vertical force (compressive) in the wall n_{zSk} per unit length of perimeter after filling at any depth z should be determined as:

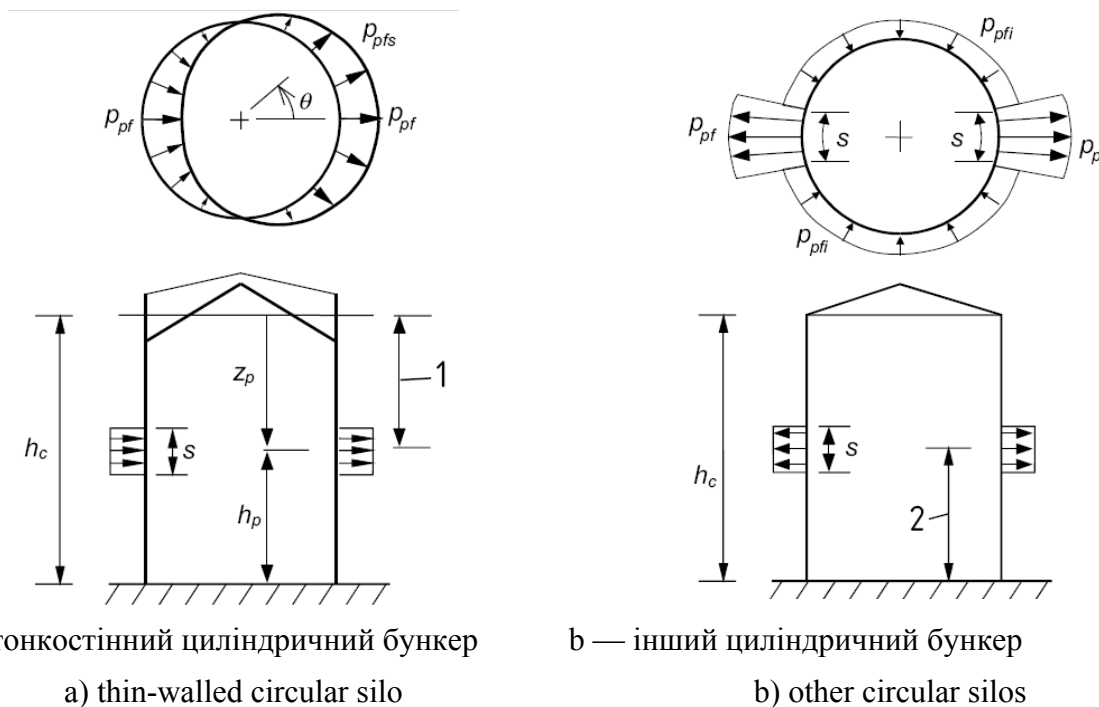
$$n_{zSk} = \int_0^z p_{wf}(z) dz = \mu p_{ho} [z - z_0 Y_J(z)] \quad (5.7)$$

Примітка. Результируючі напруження, отримані за формулою (5.7), є характеристичним значенням. При використанні цієї формули слід звернути увагу на необхідність застосування відповідного часткового коефіцієнта для навантажень, оскільки ця формула є результатом статичного розрахунку (із застосуванням мембранної теорії оболонки). Ця формула приведена тут для допомоги проектувальникам в інтеграції формули (5.2). Слід зазначити, що інші навантаження (наприклад, місцеве навантаження) можуть викликати додаткові вертикальні сили в стінці.

(4) Методи, вказані в 4.2 і 4.3, повинні використовуватися для визначення характеристичних значень необхідних характеристик сипкого матеріалу (питома вага γ , коефіцієнт тертя о стінки μ і коефіцієнт бокового тиску K).

NOTE: The stress resultant defined in Expression (5.7) is a characteristic value. Care is required when using this result to ensure that the appropriate partial factor on actions is not omitted, since this expression is a result of a structural analysis (using the membrane theory of shells). The expression is included here to assist designers in the integration of Expression (5.2). It is also noted that other loads (e.g. patch loads) may induce additional vertical forces in the wall.

(4) The methods given in 4.2 and 4.3 should be used to determine the characteristic values of the required properties of the particulate solid (unit weight γ wall friction μ and lateral pressure ratio K).



Роз'яснення

- 1 для зварного бункера класу дій 2: менше із значень z_0 і $h_c/2$
- 2 для інших тонкостінних бункерів класів дій 2 і 3: будь-яке значення
- 3 будь-яке значення

Key

- 1 For welded silos in Action Class 2: the lesser of z_0 and $h_c/2$
- 2 For other thin-walled silos in Action Classes 2 and 3: anywhere
- 3 Anywhere

Рисунок 5.2 – Циліндричний бункер: місцеві навантаження від заповнення в плані і розрізі

Figure 5.2: Circular silos: side elevation and plan view of the filling patch load

5.2.1.2 Місцеве навантаження від заповнення: загальні вимоги

(1)Р Місцеве навантаження від заповнення, або інше відповідне альтернативне навантаження, повинно використовуватися для представлення випадкової асиметрії навантаження, пов'язаної з ексцентриситетами і недосконалістю процесу заповнення.

(2) Для бункерів класу дій 1 місцеве навантаження від заповнення допускається не враховувати.

(3) Для бункерів, що використовуються для зберігання порошкоподібних сипких матеріалів, які насичаються повітрям в процесі заповнення, місцеве навантаження від заповнення допускається не враховувати.

(4) Значення направленої назовні місцевого навантаження від заповнення p_{pf} повинне визначатися при максимальному ексцентриситеті верхнього насипного конуса, який позначений як e_f на рисунку 1.1, b).

(5) Основне значення місцевого навантаження від заповнення p_{pf} слід визначати за формулою:

$$p_{pf} = C_{pf} p_{hf} \tag{5.8}$$

де

in which:

$$C_{pf} = 0,21C_{op} \left[1 + 2E^2 \left(1 - e^{\{-1,5[(h_c/d_c)-1]\}} \right) \right] \tag{5.9}$$

$$E = 2e_f / d_c \tag{5.10}$$

але якщо отримане за формулою (5.9) значення від'ємне, то C_{pf} слід приймати:

$$C_{pf} = 0 \tag{5.11}$$

де

where:

e_f максимальний ексцентриситет насипного конуса на поверхні матеріалу при заповненні (див. рисунок 1.1, b);

e_f is the maximum eccentricity of the surface pile during filling (see Figure 1.1b);

p_{hf} локальне значення тиску від заповнення (див. формулу (5.1) на висоті прикладення місцевого навантаження);

p_{hf} is the local value of the filling pressure (see Expression (5.1) at the height at which the patch load is applied);

C_{op} коефіцієнт місцевого навантаження від матеріалу (див. таблицю E.1).

C_{op} is the patch load solid reference factor for the solid (see Table E.1).

(6) Висота зони, до якої прикладається міс-

(6) The height of the zone on which the patch

5.2.1.2 Filling patch load: general requirements

(1)P The filling patch load, or an appropriate alternative, shall be used to represent accidental asymmetries of loading associated with eccentricities and imperfections in the filling process.

(2) For silos in Action Assessment Class 1, the filling patch load may be ignored.

(3) For silos used for the storage of powders that become aerated during the filling process, the filling patch load may be ignored.

(4) The magnitude of the filling outward patch pressure p_{pf} should be determined from the maximum eccentricity of the top pile throughout the filling process, which is shown as e_f in Figure 1.1b.

(5) The reference magnitude of the filling patch pressure p_{pf} should be taken as:

цеве навантаження (див. рисунок 5.2), повинна дорівнювати:

$$s = \pi d_c / 16 \cong 0,2d_c \quad (5.12)$$

(7) Місцеве навантаження включає тільки нормальний тиск. Зміна дотичного тиску тертя від зміни нормального тиску не повинна враховуватися в розрахунку.

(8) Форма місцевого навантаження від заповнення залежить від форми конструкції бункера. Виділяють наступні конструктивні форми бункерів, для яких місцевий тиск повинен визначатися з використанням вказаних нижче пунктів:

- для товстостінних циліндричних бункерів – див. 5.2.1.3 (залізобетонні бункери);
- для тонкостінних циліндричних бункерів – див. 5.2.1.4 (металеві бункери);
- для бункерів не кругового перетину – див. 5.2.1.5.

5.2.1.3 Місцеве навантаження від заповнення: товстостінні циліндричні бункери

(1) Для товстостінних циліндричних бункерів основне значення місцевого тиску від заповнення p_{pf} слід приймати діючим назовні на двох протилежних квадратних майданчиках з довжиною сторони s (див. формулу (5.12) (горизонтальна відстань s вимірюється уздовж криволінійної поверхні (див. рисунок 5.2, b).

(2) Додатково до діючого назовні місцевого тиску p_{pf} в частині периметра, що залишилася, на тій же висоті стінки (див. рисунок 5.2, b) повинен бути прикладений направлений всередину місцевий тиск p_{pf1} :

$$p_{pf1} = p_{pf} / 7 \quad (5.13)$$

де

p_{pf} основне значення діючого назовні місцевого тиску від заповнення (див. формулу (5.8).

load is applied (see Figure 5.2) should be taken as:

(7) The patch load consists of a pattern of normal pressures only. No changes to the frictional traction associated with the changed normal pressure should be considered in design.

(8) The form of the filling patch pressure depends on the form of silo construction. The following construction forms are identified and the patch pressures should be determined using the paragraphs stated below:

- for thick-walled circular silos, see 5.2.1.3 (concrete silos);
- for thin-walled circular silos, see 5.2.1.4 (metal silos);
- for non-circular silos, see 5.2.1.5.

5.2.1.3 Filling patch load: thick-walled circular silos

(1) For thick-walled circular silos, the reference magnitude of the filling patch pressure p_{pf} should be taken to act outwards on two opposite square areas with side length s given by Expression (5.12) (the horizontal distance s is measured on the curved surface where appropriate) (see Figure 5.2b).

(2) In addition to the outward patch pressure p_{pf} , the remainder of the silo circumference over the same height of wall (see Figure 5.2b) should be subjected to an inward patch pressure p_{pf1} given by:

where:

p_{pf} is the reference magnitude of the tilling patch pressure acting outwards (see Expression (5.8).

Примітка. Значення i і протяжність направленою всередину тиску p_{pf1} вибрані такими, щоб середній тиск на даному рівні не змінювався від дії місцевого навантаження.

(3) Місцеве навантаження від заповнення може діяти на будь-яку частину стінки бункера, але це допускається інтерпретувати за способом, вказаним в 5.2.1.3 (4).

(4) У товстостінних циліндричних бункерах класу дій 2 допускається використовувати спрощений підхід. В якості найбільш несприятливого розташування навантаження допускається прикладати місцеве навантаження на середині висоти бункера і використовувати результати статичного розрахунку для визначення приблизних значень результуючих напружень по всій стінці. Пропорційне зростання мембранних результуючих напружень в стінці на цьому рівні допускається використовувати для отримання всіх мембранних результуючих напружень у вертикальній стінці. Результуючі нормальних напружень від вигину на даному рівні дорівнюють результату множення напружень на рівні прикладення місцевого навантаження на відношення тиску від заповнення на даному рівні до тиску від заповнення на рівні місцевого навантаження.

5.2.1.4 Місцеве навантаження від заповнення: тонкостінні циліндричні бункери

(1) Для тонкостінних циліндричних бункерів ($d_c/t > 200$) класів дій 2 місцевий тиск від заповнення повинен прикладатися в межах висоти s , яка визначається по формулі (5.12), але змінюватися від максимального значення тиску p_{pf} назовні з одного боку до значення тиску p_{pf} всередину на протилежній стороні (див. рисунок 5.2, а). Зміна по колу повинна прийматися за формулою:

$$p_{pfs} = p_{pf} \cos \theta \quad (5.14)$$

де

p_{pf} місцевий направлений назовні тиск (див. формулу (5.8));

NOTE: The value and the extent of the inward pressure p_{pf1} is chosen so that the mean pressure at that level remains unchanged by the patch load.

(3) The filling patch load should be considered to act on any part of the silo wall, but this may be interpreted in the manner described in 5.2.1.3(4).

(4) In thick-walled circular silos in Action Assessment Class 2, a simplified approach may be used. The most unfavourable load arrangement may be taken as that found by applying the patch at the mid-height of the silo and using the results to deduce approximate values for the stress resultants throughout the wall. The percentage increase in the membrane stress resultants in the wall at that level may be used to scale all the membrane stress resultants on the vertical wall. The calculated bending stress resultants at any level may be found by scaling the values at the patch load level according to the ratio of the filling pressure at that level to the filling pressure at the patch load level.

5.2.1.4 Filling patch load: thin-walled circular silos

(1) For thin walled circular silos ($d_c/t > 200$) in Action Assessment Classes 2 and 3, the filling patch pressure should be taken to act over a height s , given by Expression (5.12), but to extend from a maximum outward pressure on one side of p_{pf} to an inward pressure p_{pf} on the opposite side (see Figure 5.2a). The circumferential variation should be taken as:

where:

p_{pf} is the outward patch pressure (see Expression (5.8));

θ кутлова координата (див. рисунок 5.2, а).

(2) Повна горизонтальна сила F_{pf} від місцевого навантаження від заповнення на тонкостінний циліндричний бункер повинна визначатися за формулою:

$$F_{pf} = \frac{\pi}{2} s d_c p_{pf} \quad (5.15)$$

(3) Для зварних бункерів класу дій 2 допускається приймати, що місцеве навантаження від заповнення діє на глибині z_p нижче за еквівалентну поверхню, де z_p є меншим із значень:

$$z_p = z_o \text{ and } z_p = 0,5h_c \quad (5.16)$$

де

h_c висота вертикального стовбура (див. рисунок 1.1, а).

(4) Для бункерів на болтових або клепанних з'єднаннях класу дій 2 місцеве навантаження від заповнення повинне прийматися діючим на будь-якій глибині, але нормальний тиск на будь-якому рівні приймається таким, що зростає рівномірно і пропорційно по висоті бункера.

5.2.1.5 Місцеве навантаження від заповнення: нециліндричні бункери

(1) Для нециліндричних бункерів класів дій 2 і 3 місцеве навантаження від заповнення, яке є несиметричним навантаженням, може бути представлене за допомогою добавки до симетричного тиску по (2) і (3).

(2) Місцевий тиск, направлений назовні, повинен прийматися таким, що діє по колу бункера на будь-якому рівні в межах горизонтальної смуги висотою s (див. рисунок 5.3, а), яка визначається по формулі (5.12).

(3) Значення добавки до рівномірного симетричного тиску на нециліндричну стінку $p_{pf,nc}$ повинне визначатися за формулою:

$$p_{pf,nc} = 0,36 p_{pf} \quad (5.17)$$

θ is the circumferential coordinate (see Figure 5.2a).

(2) The total horizontal force F_{pf} due to the filling patch load on a thin-walled circular silo should be determined as:

(3) For welded silos in Action Assessment Class 2, the patch load may be taken to act at a depth z_p below the equivalent surface, where z_p is the lesser of:

where

h_c is the height of the vertical walled segment (see Figure 1.1a).

(4) For bolted and riveted silos in Action Assessment Class 2, the patch load should be considered to act at any depth, but the normal pressure at any level may be taken as a uniform percentage increase throughout the height of the silo.

5.2.1.5 Filling patch load: non-circular silos

(1) For non-circular silos in Action Assessment Classes 2 and 3, the filling patch load, which represents unsymmetrical loads, may be represented by an increase in the symmetrical pressure as defined in (2) and (3).

(2) The outward patch pressure should be taken to act on a horizontal band on the silo wall at any level, over a vertical height s (see Figure 5.3a) given by Expression (5.12).

(3) The magnitude of the uniform symmetrical pressure increase on the non-circular wall $p_{pf,nc}$ should be taken as

де

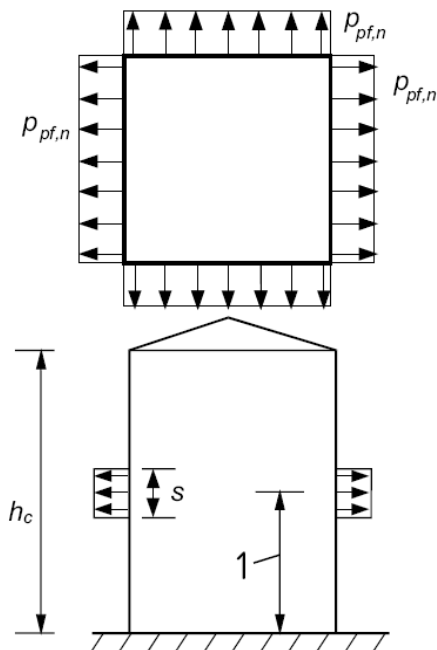
p_{pf} основний місцевий тиск від наповнення по формулі (5.8), де розмір d_c визначається по рисунку 1.1, d.

Примітка. Значення і розподіл рівномірного тиску $p_{pf,nc}$ вибрані такими, щоб згинаючі моменти в прямокутному бункері без внутрішніх затяжок приблизно дорівнювали моментам від місцевого навантаження з тиском p_{pf} , яке прикладене в центрі стінки.

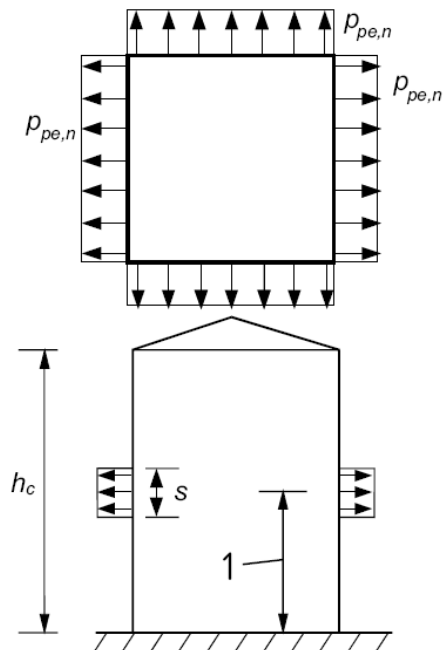
where:

p_{pf} is the reference filling patch load pressure (Expression (5.8) and the appropriate dimension d_c should be found using Figure 1.1d.

NOTE: The value and the extent of the uniform pressure $p_{pf,nc}$ is chosen so that the bending moments induced in a rectangular silo without internal ties are approximately the same as those that would be induced by a local patch load with pressure p_{pf} placed at the centre of the wall.



а — місцевий тиск від заповнення
a) filling patch pressures



б — місцевий тиск при вивантаженні
b) discharge patch pressures

Роз'яснення

1 довільне значення

Key

1 Anywhere

Рисунок 5.3 – Нециліндричний бункер: місцеві навантаження в плані і розрізі

Figure 5.3: Non-circular silos: side elevation and plan view of patch loads

5.2.2 Навантаження при вивантаженні на вертикальні стінки

5.2.2 Discharge loads on vertical walls

5.2.2.1 Симетричні навантаження при вивантаженні

5.2.2.1 Symmetrical discharge load

(1)P Симетричне зростання навантаження при вивантаженні слід використовувати для представлення можливого тимчасового зростання тиску, який діє на стінки бункера в процесі вивантаження.

(1)P Symmetrical increases in the discharge load shall be used to represent the possible transitory increases in pressure that occur on silo walls during the discharge process.

(2) Для бункерів всіх класів дій симетричний тиск при розвантаженні p_{he} і p_{we} повинен визначатися за формулами:

$$p_{he} = C_h p_{pf} \quad (5.18)$$

$$p_{we} = C_w p_{wf} \quad (5.19)$$

де

C_h коефіцієнт при розвантаженні для горизонтального тиску;

C_w коефіцієнт при вивантаженні для дотичного тиску тертя о стінку.

Коефіцієнти вивантаження C_h і C_w повинні визначатися за формулами (5.20) – (5.24).

(3) Для бункерів всіх класів дій, які вивантажуються зверху (не мають потоку усередині матеріалу, що зберігається), коефіцієнти C_h і C_w повинні прийматися:

$$C_h = C_w = 1,0 \quad (5.20)$$

(4) Для гнучких бункерів класів дій 2 і 3 коефіцієнти при вивантаженні повинні прийматися як

$$C_h = C_o = 1,15 \quad (5.21)$$

$$C_w = 1,10 \quad (5.22)$$

де

C_o коефіцієнт при вивантаженні для всіх матеріалів ($C_o = 1,15$).

(5) Для гнучких бункерів класу дій 1, коли для розрахунків використовуються середні значення характеристик матеріалу K і μ , в якості коефіцієнтів при вивантаженні повинні прийматися значення:

$$C_h = 1,15 + 1,5(1 + 0,4e/d_c)C_{op} \quad (5.23)$$

$$C_w = 1,4(1 + 0,4e/d_c) \quad (5.24)$$

$$e = \max(e_f; e_o) \quad (5.25)$$

де

e_f максимальний ексцентриситет насипного конуса при заповненні;

e_o ексцентриситет центру випускного

(2) For silos in all Action Assessment Classes, the symmetrical discharge pressures p_{he} and p_{we} should be determined as:

where:

C_h is the discharge factor for horizontal pressure

C_w is the discharge factor for wall frictional traction.

The discharge factors C_h and C_w should be determined according to Expressions (5.20) to (5.24) as appropriate.

(3) For silos in all Action Assessment Classes that are unloaded from the top (no flow within the stored solid), the values of C_h and C_w may be taken as:

(4) For slender silos in Action Assessment Classes 2 and 3, the discharge factors should be taken as:

where:

C_o is the discharge factor for all solids ($C_o = 1,15$).

(5) For slender silos in Action Assessment Class 1, where the mean value of the material properties K and μ have been used for design, the discharge factors should be taken as:

where:

e_f is the maximum eccentricity of the surface pile during filling;

e_o is the eccentricity of the centre of the

отвору;

C_{op} коефіцієнт місцевого навантаження для матеріалу (див. таблицю Е.1).

(6) Результируюче характеристичне значення вертикальної сили (стискаючої) різання в стінці n_{zSk} на одиницю довжини периметра в процесі вивантаження на глибині z визначається за формулою:

$$n_{zSk} = \int_0^z p_{we} dz = C_w \mu p_{ho} [z - z_o Y_J(z)] \quad (5.26)$$

Примітка. Результируюча напружень, яка визначається по формулі (5.26), є характеристичним значенням. При використанні цієї формули необхідно звернути увагу на необхідність використання відповідного часткового коефіцієнту для впливів, оскільки ця формула є результатом статичного розрахунку (із застосуванням мембранної теорії оболонок). Формула приведена тут для допомоги проектувальникам при інтеграції формули (5.19). Слід також відзначити, що інші навантаження (наприклад, місцеві навантаження) можуть викликати додаткові вертикальні зусилля в стінці.

5.2.2.2 Місцеве навантаження при вивантаженні: загальні вимоги

(1)Р Місцеве навантаження при вивантаженні повинне використовуватися для представлення випадкових несиметричностей в процесі вивантаження бункера, а також ексцентриситетів впускного і випускного отворів (див. рисунок 1.1, b).

(2) Для бункерів класу дій 1 місцеве навантаження при вивантаженні допускається не враховувати.

(3) Для бункерів класів дій 2 і 3 при оцінці навантажень при вивантаженні повинні використовуватися методи даного розділу.

(4) Для циліндричних бункерів класів дій 2 і 3 методика для великих ексцентриситетів при вивантаженні гнучких циліндричних бункерів (див. 5.2.4) необхідно використовувати як окремий випадок навантаження (див. 5.1(5)) на додаток до методів даного розділу, якщо виконується одна з наступних умов:

- ексцентриситет випускного отвору e_o перевищує критичне значення $e_{o,cr} = 0,25d_c$ (див. рисунок 3.3, c);

outlet;

C_{op} is the patch load solid reference factor for the solid (see Table E.1).

(6) The resulting characteristic value of the vertical force (compressive) in the wall n_{zSk} per unit length of perimeter during discharge at any depth z should be determined as:

NOTE: The stress resultant defined in Expression (5.26) is a characteristic value. Care should be taken when using this result to ensure that the appropriate partial factor on actions is not omitted, since this expression is a result of a structural analysis (using the membrane theory of shells). The expression is included here to assist designers in the integration of Expression (5.19). It should also be noted that other loads (e.g. patch loads) may induce additional vertical forces in the wall.

5.2.2.2 Discharge patch load: general requirements

(1)P The discharge patch load shall be used to represent accidental asymmetries of loading during discharge, as well as inlet and outlet eccentricities (see Figure 1.1b).

(2) For silos in Action Assessment Class 1, the discharge patch load may be ignored.

(3) For silos in Action Assessment Classes 2 and 3, the method of this section should be used to assess discharge loads.

(4) For circular silos in Action Assessment Classes 2 and 3, where either of the following conditions apply, the procedure for large discharge eccentricities in slender circular silos (see 5.2.4) should be used as a separate load case (see 5.1(5)) in addition to the method of this section:

- the eccentricity of the outlet e_o exceeds the critical value $e_{o,cr} = 0,25d_c$ (see Figure 3.3c);

– максимальний ексцентриситет заповнення e_f перевищує критичне значення $e_{f,cr} = 0,25d_c$ і гнучкість бункера більше граничного значення $(h_c/d_c)_{lim} = 4,0$ (див. рисунок 3.4, d).

– the maximum filling eccentricity e_f exceeds the critical value $e_{f,cr} = 0,25d_c$ and the slenderness of the silo is greater than the limiting value $(h_c/d_c)_{lim} = 4,0$ (see Figure 3.4d).

(5) Основне значення місцевого тиску, направленого назовні, при розвантаженні p_{pe} необхідно визначати за формулою:

(5) The reference magnitude of the discharge outward patch pressure p_{pe} should be determined as:

$$p_{pe} = C_{pe} p_{he} \quad (5.27)$$

де

in which:

якщо $h_c/d_c > 1,2$, то C_{pe} визначається за формулою (5.28)

for $h_c/d_c > 1,2$, C_{pe} is given by Expression 5.28

$$C_{pe} = 0,42C_{op} [1 + 2E^2] \{1 - \exp\{-1,5[(h_c/d_c) - 1]\}\} \quad (5.28)$$

якщо $h_c/d_c \leq 1,2$, то C_{pe} приймається як найбільше значення з визначених за формулами (5.28), (5.29) або (5.30).

for $h_c/d_c \leq 1,2$, C_{pe} is given by the greatest of the values given by Expressions 5.28, 5.29 and 5.30

$$C_{pe} = 0,272C_{op} \{(h_c/d_c - 1 + E)\} \quad (5.29)$$

$$C_{pe} = 0 \quad (5.30)$$

де

in which:

$$E = 2e/d_c \quad (5.31)$$

$$e = \max(e_f; e_o) \quad (5.32)$$

де

where:

e_f максимальний ексцентриситет насипного конуса в процесі заповнення;

e_f is the maximum eccentricity of the surface pile during filling;

e_o ексцентриситет центру випускного отвору;

e_o is the eccentricity of the centre of the outlet;

p_{he} локальне значення тиску при вивантаженні на висоті прикладення місцевого навантаження (формула (5.18));

p_{he} is the local value of the discharge pressure at the height at which the patch load is applied (Expression (5.18));

C_{op} коефіцієнт місцевого навантаження від матеріалу (див. таблицю E.1).

C_{op} is the patch load solid reference factor for the solid (see Table E.1).

(6) Місцеве навантаження при вивантаженні включає лише нормальний тиск. Зміни дотичного тиску тертя, що виникли при зміні нормального тиску не повинні враховуватися при розрахунках.

(6) The discharge patch load consists of a pattern of normal pressures only. No changes to the frictional traction associated with the changed normal pressure should be considered in design.

(7) Форма місцевого тиску при вивантаженні залежить від конструктивної форми

(7) The form of the discharge patch pressure depends on the form of silo construction. The

бункера. Місцевий тиск повинен визначатися з використанням вказаних нижче пунктів для наступних конструктивних форм:

- товстостінні циліндричні бункери – 5.2.2.3 (залізобетонні бункери);
- тонкостінні циліндричні бункери – 5.2.2.4 (металеві бункери);
- нециліндричні бункери – 5.2.2.5.

5.2.2.3 Місцеве навантаження при вивантаженні: товстостінні циліндричні бункери

(1) Для товстостінних циліндричних бункерів направлений назовні місцевий тиск p_{pe} слід приймати діючим на двох протилежних квадратних майданчиках з довжиною сторони s (див. рисунок 5.4, b), що визначається за формулою (5.12) (горизонтальна відстань s вимірюється уздовж криволінійної поверхні, де це необхідно).

(2) Додатково до місцевого тиску p_{pe} , що діє назовні, в частині периметра бункера, що залишилася, на тій же висоті стінки (див. рисунок 5.4, b) повинен прикладатися направлений всередину місцевий тиск при розвантаженні p_{pei} , який визначається за формулою

$$p_{pei} = p_{pe} / 7 \quad (5.33)$$

де

p_{pe} місцевий тиск, що діє назовні (формула (5.27)).

Примітка. Значення і протяжність направлено всередину тиску вибрані такими, аби середній тиск на даному рівні не змінювався від дії місцевого навантаження.

(3) Місцеве навантаження при заповненні може діяти на будь-яку частину стінки бункера, але це можливо інтерпретувати за способом, вказаним в 5.2.2.3 (4).

(4) У товстостінних циліндричних бункерах класу дій 2 допускається використовувати спрощений підхід. Як найбільш несприятливе розташування навантаження допускається прикладати місцеве навантаження на середині висоти бункера і використовувати

following construction forms are identified and the patch pressures should be determined using the paragraphs stated below:

- for thick-walled circular silos, see 5.2.2.3 (concrete silos);
- for thin-walled circular silos, see 5.2.2.4 (metal silos);
- for non-circular silos, see 5.2.2.5.

5.2.2.3 Discharge patch load: thick-walled circular silos

(1) For thick-walled circular silos, the outward patch pressure p_{pe} should be taken to act on two opposite square areas with side length s (see Figure 5.4b) given by Expression (5.12) (the horizontal distance s is measured on the curved surface where appropriate).

(2) In addition to the outward patch pressure p_{pe} , the remainder of the silo circumference over the same height of wall (see Figure 5.4b) should be subjected to an inward discharge patch pressure p_{pei} given by:

where:

p_{pe} is the outward patch pressure (Expression (5.27)).

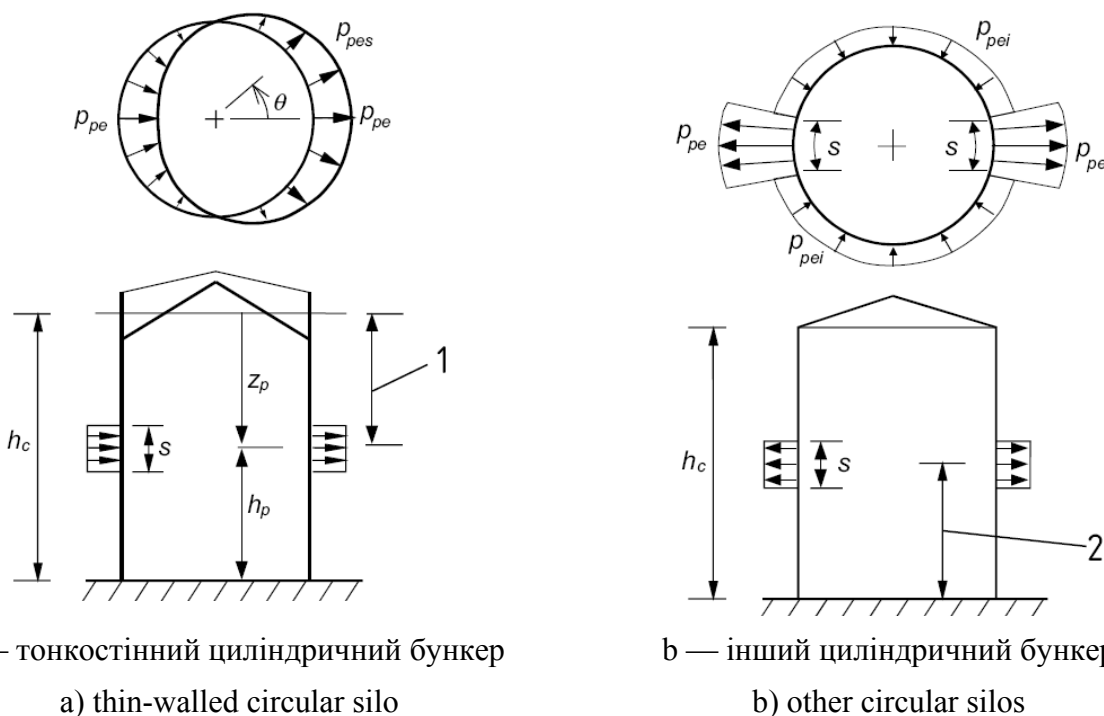
NOTE: The value and the extent of this inward pressure is chosen so that the mean pressure at that level remains unchanged by the patch load.

(3) The discharge patch load should be considered to act on any part of the silo wall, but this may be interpreted in the manner described in 5.2.2.3(4).

(4) In thick-walled silos in Action Assessment Class 2, a simplified approach may be used. The most unfavourable load arrangement may be taken as that found by applying the patch at the mid-height of the silo and using the results to deduce approximate values for the stress re-

результати статичного розрахунку для визначення приблизних значень результуючих напружень по всій стінці. Пропорційне зростання мембранних результуючих напружень в стінці на цьому рівні допускається використовувати для отримання всіх мембранних результуючих напружень у вертикальній стінці. Результуючі нормальних напружень від вигину на даному рівні дорівнюють результату множення напружень на рівні прикладення місцевого навантаження на відношення тиску від заповнення на даному рівні до тиску від заповнення на рівні місцевого навантаження.

sultants throughout the wall. The percentage increase in the membrane wall stress resultants at that level may be used to scale all the membrane wall stress resultants on the vertical wall. The calculated bending stress resultants at each level may be found by scaling the values at the patch load level according to the ratio of the filling pressure at that level to the filling pressure at the patch load level.



Роз'яснення

- 1 для зварного бункера класу дій 2: менше із значень z_0 і $h_c/2$
- 1 для інших тонкостінних бункерів класів дій 2 і 3: будь-яке значення
- 2 будь-яке значення

Key

- 1 For welded silos in Action Class 2: the lesser of z_0 and $h_c/2$
- 1 For other thin-walled silos in Action Classes 2 and 3: anywhere
- 2 Anywhere

Рисунок 5.4 – Циліндричний бункер: вигляд місцевих навантажень при вивантаженні в плані і розрізі

Figure 5.4: Circular silos: side elevation and plan view of the discharge patch load

5.2.2.4 Місцеве навантаження при вивантаженні: тонкостінні циліндричні бункери

(1) Для тонкостінних циліндричних бункерів класу дій 2 місцевий тиск при вивантаженні повинен прикладатися в межах висоти s , що визначається за формулою (5.12), але змінюватися від максимального значення тиску p_{pe} назовні з одного боку до значення тиску p_{pe} всередину на протилежній стороні (див. рисунок 5.2, а). Зміна по колу повинна прийматися за формулою:

$$p_{pes} = p_{pe} \cos \theta \quad (5.34)$$

де

- p_{pe} місцевий направлений назовні тиск (див. формула (5.27));
- θ кутова координата (див. рисунок 5.4, а).

(2) Повна горизонтальна сила F_{pe} від місцевого навантаження при вивантаженні на тонкостінний циліндричний бункер повинна визначатися по формулі:

$$F_{pe} = \frac{\pi}{2} s d_c p_{pe} \quad (5.35)$$

(3) Для зварних бункерів класу дій 2 допускається приймати, що місцеве навантаження при вивантаженні діє на глибині z_p нижче за еквівалентну поверхню, де z_p є меншим із значень:

$$z_p = z_o \text{ та } z_p = 0,5h_c \quad (5.36)$$

де

- h_c висота вертикального ствола бункера (див. рисунок 1.1, а).

(4) Для бункерів на болтових або клепаних з'єднаннях класу дій 2 місцеве навантаження при вивантаженні повинне прийматися діючим на будь-якій глибині, але нормальний тиск на будь-якому рівні приймається зростаючим рівномірно і пропорційно по висоті бункера (як альтернатива допускається застосовувати методику по 5.2.3).

5.2.2.4 Discharge patch load: thin-walled circular silos

(1) For thin walled circular silos in Action Assessment Classes 2 and 3, the discharge patch pressure should be taken to act over a height s , given by Expression (5.12), but to extend from a maximum outward pressure on one side of p_{pe} to an inward pressure p_{pe} on the opposite side (see Figure 5.4a). The circumferential variation should be taken as:

where:

- p_{pe} is the outward patch pressure (Expression (5.27))
- θ is the circumferential coordinate (see Figure 5.4a).

(2) The total horizontal force F_{pe} due to the discharge patch load on a thin-walled circular silo should be determined as:

(3) For welded silos in Action Assessment Class 2, the discharge patch load may be taken to act at a depth z_p below the equivalent surface, where z_p is the lesser of:

where

- h_c is the height of the vertical walled segment (see Figure 1.1a).

(4) For bolted and riveted silos in Action Assessment Class 2, the discharge patch load should be considered to act at any depth, but the normal pressure at any level may be taken as a uniform percentage increase throughout the height of the silo (the procedures of 5.2.3 may alternatively be used).

5.2.2.5 Часткове поверхнєве навантаження для випадку навантаження – вивантаження: не круглі бункери

(1) Для нециліндричних бункерів класів дій 2 і 3 місцеве навантаження при розвантаженні, яке є несиметричним навантаженням, може бути представлено за допомогою добавки до симетричного тиску по (2) і (3).

(2) Місцевий тиск, направлений назовні, повинен прийматися діючим по периметру бункера на будь-якому рівні в межах горизонтальної смуги висотою s (див. рисунок 5.3, b), що визначається за формулою (5.12).

(3) Значення добавки до рівномірного симетричного тиску на нециліндричну стінку $p_{pe.nc}$ повинне визначатися за формулою:

$$p_{pe.nc} = 0,36p_{pe} \quad (5.37)$$

де

p_{pe} основний місцевий тиск при вивантаженні (див. формулу (5.27)).

Примітка. Значення і розподіл рівномірного тиску $p_{pe.nc}$ вибрані такими, щоб згинаючі моменти в прямокутному бункері без внутрішніх затяжок приблизно дорівнювали моментам від місцевого навантаження, прикладеного в центрі стінки.

5.2.3 Підвищення рівномірного навантаження як заміна місцевого навантаження від заповнення і при вивантаженні

(1) Для бункерів класу дій 2 метод визначення місцевих навантажень по 5.2.1 і 5.2.2 для врахування асиметрії від заповнення і при розвантаженні допускається замінювати рівномірним збільшенням симетричного навантаження.

(2) Для нециліндричних бункерів рівномірне збільшення визначене в 5.2.1.5 і 5.2.2.5.

(3) Для циліндричних бункерів нижченаведені методики допускається застосовувати, лише якщо основа і вершина вертикальної стінки закріплені відповідними ребрами жорсткості для збереження форми в горизонтальній площині (циліндричний бункер повинен зберігати форму кола на вершині і

5.2.2.5 Discharge patch load: non-circular silos

(1) For non-circular silos in Action Assessment Classes 2 and 3, the discharge patch load, which represents unsymmetrical loads, may be represented by an increase in the symmetrical pressure as defined in (2) and (3).

(2) The outward patch pressure should be taken to act on a horizontal band on the silo wall at any level, over a vertical height s (see Figure 5.3b) given by Expression (5.12).

(3) The magnitude of the uniform symmetrical pressure increase on the non-circular wall $p_{pe.nc}$ should be taken as:

where

p_{pe} is the reference discharge patch load pressure (see Expression (5.27)).

NOTE: The value and the extent of the uniform pressure $p_{pe.nc}$ is chosen so that the bending moments induced in a rectangular silo without internal ties are approximately the same as those that would be induced by a patch load placed at the centre of the wall.

5.2.3 Substitute uniform pressure increase for filling and discharge patch loads

(1) For silos in Action Assessment Class 2, a uniform increase in the symmetrical load may be substituted for the patch load method of 5.2.1 and 5.2.2 to account for asymmetries in the filling and discharge processes.

(2) For non-circular silos, the uniform increases are defined in 5.2.1.5 and 5.2.2.5.

(3) For circular silos, the following procedures may be used only if the base and the top of the vertical wall are restrained to retain their horizontal shape by appropriate stiffeners (the circular silo must be held circular at the top and bottom by a structurally connected roof or a ring stiffener).

в основі за рахунок приєднаного даху або кільцевого ребра жорсткості).

(4) Для товстостінних циліндричних бункерів результуючі повні симетричні горизонтальні тиски від заповнення $p_{hf.u}$ і при вивантаженні $p_{he.u}$ повинні визначатися за формулами:

$$p_{hf.u} = p_{hf}(1 + \zeta C_{pf}) \quad (5.38)$$

$$p_{he.u} = p_{he}(1 + \zeta C_{pe}) \quad (5.39)$$

в яких

in which:

$$\zeta = 0,5 + 0,01(d_c / t) \quad (5.40)$$

з

with

$$\zeta \geq 1,0 \quad (5.41)$$

де

where:

p_{hf} горизонтальний симетричний тиск від заповнення (див. формулу (5.1);

p_{hf} is the horizontal symmetrical filling pressure (see Expression (5.1);

p_{he} горизонтальний симетричний тиск при вивантаженні (див. формулу (5.18);

p_{he} is the horizontal symmetrical discharge pressure (see Expression (5.18);

C_{pf} коефіцієнт місцевого навантаження від заповнення (див. формулу (5.9);

C_{pf} is the filling patch load factor (see Expression (5.9);

C_{pe} коефіцієнт місцевого навантаження при вивантаженні (див. формулу (5.28).

C_{pe} is the discharge patch load factor (see Expression (5.28).

(5) Для тонкостінних циліндричних бункерів результуючі симетричні горизонтальні тиски від заповнення $p_{hf.u}$ і при вивантаженні $p_{he.u}$ і результуючі симетричні дотичні тиски тертя від заповнення $p_{wf.u}$ і при вивантаженні $p_{we.u}$ повинні визначатися за формулами:

(5) For thin-walled circular silos, the resulting total symmetrical horizontal pressures for filling $p_{hf.u}$ and discharge $p_{he.u}$ and the resulting total symmetrical frictional traction for filling $p_{wf.u}$ and discharge $p_{we.u}$ should be determined as:

$$p_{hf.u} = p_{hf}(1 + 0,5C_{pf}) \quad (5.42)$$

$$p_{wf.u} = p_{wf}(1 + C_{pf}) \quad (5.43)$$

$$p_{he.u} = p_{he}(1 + 0,5C_{pe}) \quad (5.44)$$

$$p_{we.u} = p_{we}(1 + C_{pe}) \quad (5.45)$$

де

where:

p_{wf} симетричний дотичний тиск тертя об стінки від заповнення (див. форму-

p_{wf} is the filling symmetrical wall frictional traction (see Expression (5.2);

лу (5.2);

p_{we} симетричний дотичний тиск тертя об стінки при вивантаженні (див. формулу (5.19);

p_{hf} , p_{he} , C_{pf} і C_{pe} – повинні розраховуватися, як вказано в (3).

5.2.4 Навантаження при вивантаженні для циліндричних бункерів з великим ексцентриситетом випускного отвору

5.2.4.1 Загальні положення

(1) Якщо ексцентриситет випускного отвору e_o перевищує критичне значення $e_{o.cr} = 0,25d_c$ в бункерах класів дій 2 і 3, то нижченаведені методики необхідно використовувати для визначення розподілу тисків при вивантаженні з ексцентриситетом і каналом потоку в трубі над випускним отвором (див. рисунок 5.5, а).

(2) Якщо максимальний ексцентриситет від заповнення e_f перевищує критичне значення $e_{f.cr} = 0,25d_c$, гнучкість бункера перевищує $h_c/d_c = 4,0$, то для бункерів класів дій 2 і 3 повинні використовуватися приведені нижче методики для визначення розподілу тисків, які можуть виникнути як результат утворення несиметричного каналу потоку в трубі (див. рисунки 3.4, d) і 5.5a).

(3) Там, де ці методики можуть бути застосовані (див. (1) і (2)), методики по 5.2.4.2 і 5.2.4.3 повинні використовуватися як окремий незалежний випадок навантаження. Цей додатковий випадок навантаження відрізняється від тих, які визначені для тисків від заповнення і при вивантаженні з трактуванням місцевого навантаження в 5.2.2 і 5.2.3.

(4) Обчислення повинні виконуватися з використанням нижнього характеристичного значення μ і верхнього характеристичного значення ϕ_i для матеріалу.

(5) Для бункерів класу дій 2 дозволяється використовувати спрощену методику по 5.2.4.2. Для бункерів класу дій 3 повинні застосовуватися методики, вказані в 5.2.4.3.

p_{we} is the discharge symmetrical wall frictional traction (see Expression (5.19)

and the parameters p_{hf} , p_{he} , C_{pf} , and C_{pe} are calculated as indicated in (3).

5.2.4 Discharge loads for circular silos with large outlet eccentricities

5.2.4.1 General

(1) Where the outlet eccentricity e_o exceeds the critical value $e_{o.cr} = 0,25d_c$ and the silo is in Action Assessment Class 2 or 3, the following procedures should be used to determine the pressure distribution during eccentric discharge in a pipe flow channel above the outlet (see Figure 5.5a).

(2) Where the maximum filling eccentricity e_f exceeds the critical value $e_{f.cr} = 0,25d_c$ and the slenderness of the silo exceeds $h_c/d_c = 4,0$ and the silo is in Action Assessment Class 2 or 3, the following procedures should be also used to determine the pressure distribution that may occur as a result of the formation of an eccentric pipe flow channel (see Figures 3.4d and 5.5a).

(3) Where they are applicable (see (1) and (2)), the procedures of 5.2.4.2 and 5.2.4.3 should be used as a separate independent load case. This is an additional load case that is separate from that defined by filling and discharge pressures with the patch load treatment of 5.2.2 and 5.2.3.

(4) The calculation should be performed using the lower characteristic value of μ and the upper characteristic value of ϕ_i for the solid.

(5) A simplified procedure is permitted for silos in Action Assessment Class 2, as given in 5.2.4.2. For silos in Action Assessment Class 3, the procedure given in 5.2.4.3 should be im-

5.2.4.2 Метод для бункерів класу дій 2

5.2.4.2.1 Геометрія каналу потоку

(1) Розрахунки необхідні лише для одного розміру контакту каналу потоку із стінкою бункера, який визначається як

$$\theta_c = 35^\circ \quad (5.46)$$

5.2.4.2.2 Тиск на стінку при вивантаженні з ексцентриситетом

(1) Тиск на вертикальну стінку бункера в зоні витікання (див. рисунок 5.5, с) повинен визначатися за формулою

$$p_{hce} = 0 \quad (5.47)$$

(2) Тиск на глибині z на вертикальну стінку в зоні, де матеріал залишається нерухомим (див. рисунок 5.5, с), повинен визначатися по формулах:

$$p_{hse} = p_{hf} \quad (5.48)$$

$$p_{hae} = 2p_{hf} \quad (5.49)$$

а дотичний тиск тертя на глибині z — за формулами:

$$p_{wse} = p_{wf} \quad (5.50)$$

$$p_{wae} = 2p_{wf} \quad (5.51)$$

де

p_{hf} горизонтальний тиск від заповнення (див. формулу (5.1));

p_{wf} дотичний тиск тертя о стінку від заповнення (див. формулу (5.2)).

Примітка. Цей спрощений метод відповідає порожньому каналу течії і тому, інколи, може бути досить консервативним

(3) В якості альтернативи допускається використовувати метод по 5.2.4.3.2.

plemented.

5.2.4.2 Method for Action Assessment Class 2

5.2.4.2.1 Flow channel geometry

(1) Calculations are required for only one size of flow channel contact with the wall, which should be determined for:

$$\theta_c = 35^\circ \quad (5.46)$$

5.2.4.2.2 Wall pressures under eccentric discharge

(1) The pressure on the vertical wall in the flowing zone (see Figure 5.5c) should be taken as:

$$p_{hce} = 0 \quad (5.47)$$

(2) The pressures at depth z on the vertical wall in the zone in which the solid remains static (see Figure 5.5c) should be taken as:

$$p_{hse} = p_{hf} \quad (5.48)$$

$$p_{hae} = 2p_{hf} \quad (5.49)$$

and the frictional traction on the wall at depth z as:

$$p_{wse} = p_{wf} \quad (5.50)$$

$$p_{wae} = 2p_{wf} \quad (5.51)$$

where:

p_{hf} is the horizontal filling pressure (see Expression (5.1));

p_{wf} is the filling wall frictional traction (see Expression (5.2)).

NOTE: This simplified method relates to an empty rathole (empty flow channel), and the method may therefore sometimes be rather conservative.

(3) The method of 5.2.4.3.2 may alternatively be used.

5.2.4.3 Метод для бункера класу дії 3

5.2.4.3.1 Геометрія каналу потоку

(1) Геометрія і розташування каналу потоку повинні вибиратися так, щоб враховувалася геометрія бункера, умови вивантаження і властивості матеріалу, що зберігається.

(2) Якщо умови вивантаження призводять до каналу потоку точно визначеної геометрії і розташування, то мають бути прийняті відповідні параметри для цього каналу потоку.

(3) Якщо геометрія каналу потоку не може бути визначена безпосередньо з умов вивантаження і геометрії бункера, то розрахунки повинні виконуватися не менше чим для трьох значень радіусу каналу потоку r_c для врахування випадкових змін розміру каналу потоку в часі. Ці три значення повинні визначатися по формулах:

$$r_c = k_1 r \quad (5.52)$$

$$r_c = k_2 r \quad (5.53)$$

$$r_c = k_3 r \quad (5.54)$$

де

r радіус циліндричного бункера ($= d_c / 2$).

Примітка. Значення k_1 , k_2 і k_3 можуть бути вказані в національному додатку. Рекомендовані значення, відповідно, 0,25, 0,4 і 0,6.

(4) Ексцентриситет каналу потоку e_c (див. рисунок 5.5) повинен визначатися за формулою:

$$e_c = r \left\{ \eta (1 - G) + (1 - \eta) \sqrt{1 - G} \right\} \quad (5.55)$$

де

$$G = \frac{r_c}{r} \quad (5.56)$$

$$\eta = \frac{\mu}{\tan \phi_i} \quad (5.57)$$

де

μ нижнє характеристичне значення коефіцієнта тертя об стінки для вертика-

5.2.4.3 Method for Action Assessment Class 3

5.2.4.3.1 Flow channel geometry

(1)P The geometry of the flow channel and its location shall be chosen to reflect the geometry of the container, the discharge arrangements and the properties of the stored solid.

(2) Where the discharge arrangement leads to a flow channel of well defined geometry and location, the appropriate parameters for this flow channel should be adopted.

(3) Where the geometry of the flow channel cannot be directly deduced from the discharge arrangements and silo geometry, calculations should be performed for no less than three values of the radius of the flow channel r_c to allow for random variations in the size of the flow channel from time to time. These three values should be taken as:

where:

r is the radius of the circular silo ($= d_c / 2$).

NOTE: The values of k_1 , k_2 and k_3 may be given in the National Annex. The recommended values are 0,25, 0,4 and 0,6 respectively.

(4) The flow channel eccentricity e_c (see Figure 5.5) should be determined as:

in which:

where:

μ is the lower characteristic wall friction coefficient for the vertical wall;

льної стінки;

ϕ_i верхнє характеристичне значення кута внутрішнього тертя матеріалу, що зберігається;

r_c розрахунковий радіус каналу потоку за формулами (5.52) – (5.54).

Примітка 1. Необхідно відзначити, що завжди $\phi_w \leq \phi_i$, оскільки матеріал може розриватися усередині, якщо ковзання в зоні контакту із стінкою вимагатиме більш великих напружень зсуву, ніж може забезпечити внутрішнє тертя. Це означає, що $\eta \leq 1$ у всіх обчисленнях.

Примітка 2. Ексцентриситет каналу течії e_c може змінюватися, як видно з рисунка 3.4, d), і залежить не лише від ексцентриситету випускного отвору e_o . Приведена методика направлена на визначення умов, які близькі до найбільш несприятливих при будь-якій геометрії бункера і конструктивному рішенні. В результаті цього ексцентриситет каналу потоку може бути менше критичного ексцентриситету випускного отвору $e_{o,cr}$ і менше критичного ексцентриситету впускного отвору $e_{f,cr}$.

Примітка 3. Це визначення розташування і радіусу каналу потоку ґрунтується на принципі мінімізації опору тертю матеріалу в каналі по периметру каналу потоку в припущенні, що контур каналу потоку є круговою аркою. Допускається використовувати інші методи прогнозування розмірів каналу потоку.

(5) Не дивлячись на приведені вище вимоги до передбачуваного радіусу каналу потоку, якщо використовується воронка з розширеним потоком (див. рисунок 3.5, d), то як радіус каналу потоку r_c , необхідно прийняти радіус верхнього краю воронки з розширеним потоком.

(6) Кутова довжина зони контакту стінки з каналом потоку повинна визначатися по кутових координатах $\theta = \pm\theta_c$, де:

$$\cos\theta_c = \frac{r^2 + e_c^2 - r_c^2}{2re_c} \quad (5.58)$$

(7) Довжина дуги зони контакту стінки з каналом потоку повинна визначатися за формулою:

$$U_{wc} = 2\theta_c r \quad (5.59)$$

ϕ_i is the upper characteristic angle of internal friction of the stored solid;

r_c is the design radius of the flow channel (see Expressions (5.52) to (5.54)).

NOTE 1: It should be noted that $\phi_w \leq \phi_i$ always, since the material will rupture internally if slip at the wall contact demands a greater shear stress than the internal friction can sustain. This means that $\eta \leq 1$ in all evaluations.

NOTE 2: The flow channel eccentricity e_c may vary, as indicated in Figure 3.4d, and does not depend solely on the outlet eccentricity e_o . This procedure is intended to identify conditions that are close to the most demanding for each silo geometry and structural arrangement. The flow channel eccentricity may consequently be less than both the critical value of the outlet eccentricity $e_{o,cr}$ and the critical value of the inlet eccentricity $e_{f,cr}$.

NOTE 3: This evaluation of the location and radius of the flow channel is based on a minimization of the total frictional drag at the channel perimeter on the solid in the channel, assuming the periphery of the channel to be a circular arc. Other methods of predicting flow channel dimensions may be used.

(5) Notwithstanding the above requirements concerning the assumed flow channel radius, where an expanded flow hopper is used (see Figure 3.5d), the radius of the flow channel r_c should be taken as the radius of the top of the expanded flow hopper.

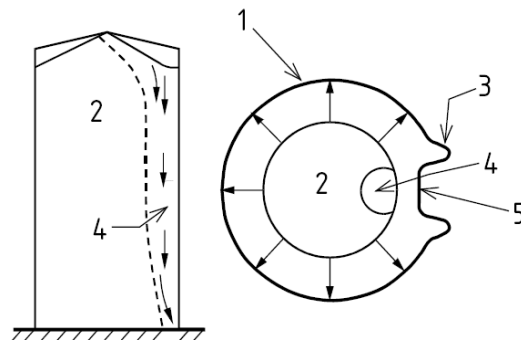
(6) The angular length of the wall contact with the flowing channel should be found, bounded by the circumferential coordinates $\theta = \pm\theta_c$, where:

(7) The arc length of the contact between the flow channel and the wall should be determined as:

а довжина дуги контакту каналу потоку з нерухомим матеріалом – за формулою:

and the arc length of the contact between the flow channel and static solid as:

$$U_{sc} = 2r_c(\pi - \psi) \quad (5.60)$$



а) Розріз
a) Elevation

б) Поперечний перетин
b) Cross-section

Роз'яснення

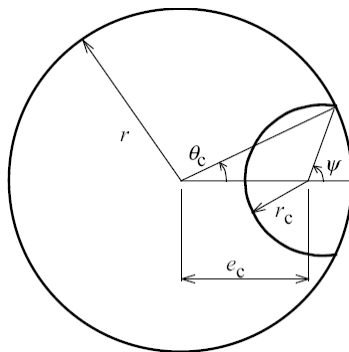
- 1 статичний тиск
- 2 нерухомий матеріал
- 3 місцевий високий тиск
- 4 канал потоку
- 5 тиск потоку

Key

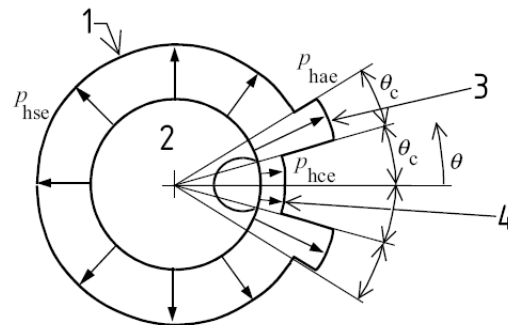
- 1 Static pressures
- 2 Static solid
- 3 Local high pressure
- 4 Flow channel
- 5 Flow pressure

а — канал потоку і розподіл тиску

a) flow channel and pressure pattern



б — геометрія каналу потоку
b) channel geometry



с — тиски
c) pressures

Роз'яснення

- 1 статичний тиск
- 2 нерухомий матеріал
- 3 краєві тиски в каналі
- 4 тиск каналу потоку

Key

- 1 Static pressures
- 2 Static solid
- 3 Channel edge pressures
- 4 Flow channel pressures

Рисунок 5.5 – Канал потоку і розподіл тиску при несиметричному вивантаженні

Figure 5.5: Eccentric discharge flow channel and pressure distribution

де

in which:

$$\sin \psi = \frac{r}{r_c} \sin \theta_c \quad (5.61)$$

де θ_c і ψ – кути в радіанах.

where the angles θ_c and ψ are both expressed in radians.

(8) Площа поперечного перетину каналу потоку повинна визначатися за формулою:

(8) The cross-sectional area of the flowing channel should be determined as:

$$A_c = (\pi - \psi)r_c^2 + \theta_c r^2 - r r_c \sin(\psi - \theta_c) \quad (5.62)$$

5.2.4.3.2 Тиски на стінку при несиметричному вивантаженні

5.2.4.3.2 Wall pressures under eccentric discharge

(1) Тиск на вертикальну стінку в зоні витікання (див. рисунок 5.5, с) залежить від відстані z нижче за еквівалентну поверхню матеріалу і повинен визначатися за формулою:

(1) The pressure on the vertical wall in the flowing zone (see Figure 5.5c) depends on the distance z below the equivalent solid surface and should be determined as:

$$p_{hce} = p_{hco} (1 - e^{-z/z_{oc}}) \quad (5.63)$$

а дотичний тиск тертя об стінки на рівні z – за формулою:

and the frictional traction on the wall at level z as:

$$p_{wce} = \mu p_{hce} = \mu p_{hco} (1 - e^{-z/z_{oc}}) \quad (5.64)$$

в яких

in which:

$$p_{hco} = \gamma K z_{oc} \quad (5.65)$$

$$z_{oc} = \frac{1}{K} \left(\frac{A_c}{U_{wc} \mu + U_{sc} \tan \varphi} \right) \quad (5.66)$$

де

where:

μ коефіцієнт тертя об стінки для вертикальної стіни;

μ is the wall friction coefficient for the wall;

K коефіцієнт бокового тиску.

K is the lateral pressure for the solid.

(2) Тиск на глибині z на вертикальну стінку поза каналом витікання в зоні нерухомого матеріалу повинен прийматися як:

(2) The pressure at depth z on the wall far from the flowing channel in the zone where the solid remains static (see Figure 5.5c) should be taken as:

$$p_{hse} = p_{hf} \quad (5.67)$$

а дотичний тиск тертя на стінку на глибині z :

and the frictional traction on the wall at depth z as:

$$p_{wse} = p_{wf} \quad (5.68)$$

де

p_{hf} горизонтальний тиск від заповнення (див. формула (5.1));

p_{wf} дотичний тиск тертя о стінки від заповнення (див. формула (5.2)).

(3) Більш високий тиск p_{hae} діє на вертикальну стінку в зоні примикання нерухомого матеріалу до потоку і залежить від глибини z нижче за еквівалентну поверхню матеріалу. Тиск на глибині z в нерухомому матеріалі біля каналу потоку слід визначати за формулою:

$$p_{hae} = 2p_{hf} - p_{hce} \quad (5.69)$$

а дотичний тиск тертя об стінки на глибині z – за формулою:

$$p_{wae} = \mu p_{hae} \quad (5.70)$$

5.3 Бункери малої і проміжної гнучкості

5.3.1 Навантаження від заповнення на вертикальні стінки

5.3.1.1 Симетричні навантаження від заповнення

(1) Симетричні навантаження від заповнення (див. рисунок 5.6) повинні визначатися за формулами (5.71) – (5.80).

(2) Значення горизонтального тиску p_{hf} і дотичного тиску тертя p_{wf} після заповнення на будь-якій глибині повинні визначатися за формулами:

$$p_{hf} = p_{ho} Y_R \quad (5.71)$$

$$p_{wf} = \mu p_{hf} \quad (5.72)$$

в яких

in which:

$$p_{ho} = \gamma K z_0 = \gamma \frac{1}{\mu} \frac{A}{U} \quad (5.73)$$

$$Y_R = \left(1 - \left\{ \left(\frac{z - h_0}{z_0 - h_0} \right) + 1 \right\}^n \right) \quad (5.74)$$

$$z_0 = \frac{1}{K\mu} \frac{A}{U} \quad (5.75)$$

$$n = -(1 + \tan \phi_r)(1 - h_0 / z_0) \quad (5.76)$$

where:

p_{hf} Is the horizontal filling pressure (see Expression (5.1));

p_{wf} Is the filling wall frictional traction (see Expression (5.2)).

(3) A higher pressure p_{hae} is exerted on the vertical wall in the zone of static solid adjacent to the flow zone (see Figure 5.5c) and depends on the depth z below the equivalent solid surface. The pressure at depth z in the static zone near to the flowing channel should be determined as:

and the frictional traction on the wall at depth z as:

5.3 Squat and intermediate slenderness silos

5.3.1 Filling loads on vertical walls

5.3.1.1 Filling symmetrical load

(1) The symmetrical filling load (see Figure 5.6) should be calculated using Expressions (5.71) to (5.80).

(2) The values of horizontal pressure p_{hf} and wall frictional traction p_{wf} at any depth after filling should be determined as:

де

h_0 значення z в найвищій точці контакту матеріалу із стінкою (див. рисунки 1.1, а) і формулу (5.6).

Для симетрично заповненого циліндричного бункера з радіусом r розмір h_0 повинен визначатися за формулою:

$$h_0 = \frac{r}{3} \tan \varphi_r \quad (5.77)$$

для симетрично заповненого прямокутного бункера з характеристичним розміром d_c – за формулою

$$h_0 = \frac{d_c}{4} \tan \varphi_r \quad (5.78)$$

де

γ характеристичне значення питомої ваги;

μ характеристичне значення коефіцієнта тертя о стінки між матеріалом і вертикальною стінкою;

K характеристичне значення коефіцієнта бокового тиску;

Z глибина нижче еквівалентної поверхні матеріалу;

A площа поперечного перетину бункера;

U внутрішній периметр поперечного перетину бункера;

φ_r кут природного укосу матеріалу (див. таблицю E.1).

(3) Значення вертикального тиску p_{vf} після заповнення на будь-якій глибині повинне визначатися за формулою:

$$p_{vf} = \gamma z_v \quad (5.79)$$

де

$$z_v = h_0 - \frac{1}{(n+1)} \left(z_0 - h_0 - \frac{(z + z_0 - 2h_0)^{n+1}}{(z_0 - h_0)^n} \right) \quad (5.80)$$

where

h_0 Is the value of z at the highest solid-wall contact (see Figures 1.1a and 5.6).

For a symmetrically filled circular silo of radius r , h_0 should be determined as:

and for a symmetrically filled rectangular silo of characteristic dimension d_c , h_0 should be determined as:

where:

γ Is the characteristic value of the unit weight;

μ Is the characteristic value of the wall friction coefficient for solid sliding on the vertical wall;

K Is the characteristic value of the lateral pressure ratio;

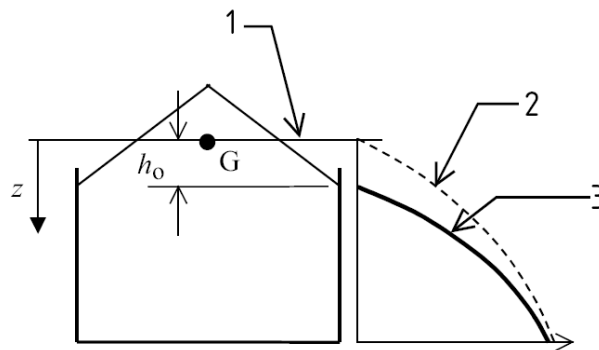
Z Is the depth below the equivalent surface of the solid;

A Is the plan cross-sectional area of the silo;

U Is the internal perimeter of the plan cross-section of the silo;

φ_r Is the angle of the repose of the solid (see Table E.1).

(3) The value of vertical pressure p_{vf} at any depth after filling should be determined as:



Роз'яснення

Key

1	еквівалентна поверхня	1	Equivalent surface
2	тиск в бункері з проміжною гнучкістю	2	Slender silo rule
3	тиск для бункерів малої гнучкості	3	Squat silo pressures

Рисунок 5.6 – Тиски від заповнення в бункерах малої і проміжної гнучкості

Figure 5.6: Filling pressures in a squat or intermediate slenderness silo

(4) Характеристичне значення вертикальних стискуючих сил в стінці n_{zSk} на одиницю довжини периметра на будь-якій глибині z повинні визначатися за формулою:

(4) The resulting characteristic value of the vertical force (compressive) in the wall n_{zSk} per unit length of perimeter at any depth z should be determined as:

$$n_{zSk} = \int_0^z p_{wf}(z) dz = \mu p_{ho} (z - z_V) \quad (5.81)$$

де z_V — визначається за формулою (5.80).

where z_V is given by Expression (5.80)

Примітка. Результирує напруження за формулою (5.81) є характеристичним значенням. При використанні цієї формули слід звернути увагу на необхідність вживання відповідного часткового коефіцієнта для дій, оскільки ця формула є результатом статичного розрахунку (із застосуванням мембранної теорії оболонок). Ця формула приведена тут для допомоги проектувальникам в інтеграції формули (5.72). Слід зазначити, що інші навантаження (наприклад, місцеве навантаження або несиметричне заповнення) можуть викликати додаткові вертикальні зусилля в стінці.

NOTE: The stress resultant defined in Expression (5.81) is a characteristic value. Care should be taken when using this results to ensure that the appropriate partial factor on actions is not omitted, since this expression is a result of a structural analysis (using the membrane theory of shells). The expression is included here to assist designers in the integration of Expression (5.72). It should also be noted that other loads (e.g. patch loads or unsymmetrical filling) may induce additional vertical forces in the wall.

5.3.1.2 Місцеве навантаження від заповнення

5.3.1.2 Filling patch load

(1)Р Місцеве навантаження від заповнення може діяти на будь-яку частину стінки бункера.

(1) The filling patch load should be considered to act on any part of the silo wall.

(2) Місцеве навантаження включає лише нормальний тиск. Зміни дотичного тиску, внаслідок зміни нормального тиску, не повинні враховуватися в розрахунку.

(2) The patch load consist of normal pressure only. No change normal pressure should be considered in design.

(3) Для бункерів малої гнучкості ($h_c/d_c \leq 1,0$) всіх класів дій місцеве навантаження від заповнення враховувати не слід ($C_{pf} = 0$).

(4) Для бункерів проміжної гнучкості ($1,0 < h_c/d_c < 2,0$) класу дій 1 місцеве навантаження від заповнення допускається не враховувати.

(5) Для бункерів проміжної гнучкості ($1,0 < h_c/d_c < 2,0$) класів дій 2 і 3 місцевий локальний тиск p_{pf} по 5.2.1 необхідно використовувати для врахування випадкової асиметрії навантаження і малих ексцентриситетів заповнення e_f (див. рисунок 1.1, б).

(6) Для бункерів малої або проміжної гнучкості ($h_c/d_c < 2,0$) класів дій 2 і 3, якщо ексцентриситет заповнення e_f перевищує критичне значення $e_{f.cr} = 0,25d_c$, то повинен використовуватися додатковий випадок навантаження як бункерів малої гнучкості з великими ексцентриситетами заповнення (див. 5.3.3).

5.3.2 Навантаження при вивантаженні на вертикальні стінки

5.3.2.1 Симетричні навантаження при вивантаженні

(1) Р збільшення симетричного навантаження при вивантаженні слід використовувати, де це необхідно, для представлення можливих тимчасових зростань тиску в процесі вивантаження.

(2) Для бункерів малої гнучкості ($h_c/d_c < 1,0$) симетричні навантаження при вивантаженні допускається приймати рівними навантаженням від заповнення.

(3) Для бункерів проміжної гнучкості ($1,0 < h_c/d_c < 2,0$) симетричні тиски при вивантаженні p_{he} і p_{we} повинні визначатися за формулами:

$$p_{he} = C_h p_{hf} \quad (5.82)$$

(3) For squat silos ($h_c/d_c \leq 1,0$) in all Action Assessment Classes, the filling patch load need not be considered ($C_{pf} = 0$)

(4) For silos of intermediate slenderness ($1,0 < h_c/d_c < 2,0$) in Action Assessment Class 1, the filling patch load may be ignored.

(5) For silos of intermediate slenderness ($1,0 < h_c/d_c < 2,0$) in Action Assessment Classes 2 and 3, the filling patch pressure p_{pf} taken from 5.2.1 should be used to represent accidental asymmetries of loading and small eccentricities of filling e_f (see Figure 1.1b).

(6) For silos of squat in intermediate slenderness ($h_c/d_c < 2,0$) in Action Assessment Classes 2 and 3, where in eccentricity of filling e_f exceeds the critical value $e_{f.cr} = 0,25d_c$, the additional load case for large filling eccentricity in squat silos should be used (see 5.3.3)

5.3.2 Discharge loads on vertical walls

5.3.2.1 Discharge symmetrical load

(1) Symmetrical increases in the discharge load shall be used where it is necessary to represent possible transitory increases in pressure during the discharge process.

(2) For squat silos ($h_c/d_c < 1,0$) the symmetrical discharge loads may be taken as identical to the filling loads.

(3) For silos of intermediate slenderness ($1,0 < h_c/d_c < 2,0$), the symmetrical discharge pressures p_{he} and p_{we} should be determined as:

$$p_{we} = C_w p_{wf} \quad (5.83)$$

де C_h , C_w – коефіцієнти вивантаження, які визначаються за формулами (5.84)–(5.89). where: C_h and C_w are discharge factors according to Expression (5.84) to (5.89) as appropriate.

(4) Для бункерів всіх класів дій, які розвантажуються зверху (не мають потоку усередині матеріалу, що зберігається) (4) For silos in all Action Assessment Classes that are unloaded from the top (no flow within the stored solid):

$$C_w = C_h = 1,0 \quad (5.84)$$

(5) Для бункерів проміжної гнучкості класів дій 2 і 3 для коефіцієнтів вивантаження повинні прийматися значення: (5) For intermediate slenderness silos in Action Assessment Class 2 and 3, the discharge factors should be taken as:

$$C_h = 1,0 + 0,15 C_s \quad (5.85)$$

$$C_w = 1,0 + 0,1 C_s \quad (5.86)$$

$$C_s = h_c / h_d - 1,0 \quad (5.87)$$

де C_s поправковий коефіцієнт до гнучкості. where C_s is slenderness adjustment factor

(6) Для бункерів проміжної гнучкості класу дій 1, якщо в розрахунках використовуються середні значення характеристик матеріалу K і μ , коефіцієнти вивантаження повинні визначатися за формулами (6) For intermediate slenderness silos in Action Assessment Class 1, where the mean value of the material properties K and μ have been used for design, the discharge factors should be taken as:

$$C_h = 1,0 + \{0,15 + 1,5(1 + 0,4e / d_c) C_{op}\} C_s \quad (5.88)$$

$$C_h = 1,0 + 0,4(1 + 1,4e / d_c) C_s \quad (5.89)$$

$$e = \max(e_f; e_o) \quad (5.90)$$

де e_f максимальний ексцентриситет насипного конуса при заповненні; where: e_f is the maximum eccentricity of the surface pile during filling;
 e_o ексцентриситет центру випускного отвору; e_o is the eccentricity of the centre of the outlet;
 C_{op} коефіцієнт місцевого навантаження від матеріалу (див. таблиця E.1); C_{op} is the patch load solid reference factor for the solid (see Table E.1);
 C_s поправковий коефіцієнт до гнучкості (див. формула (5.87)). C_s is the slenderness adjustment factor (Expression (5.87)).

(7) Характеристичне значення вертикальних стискуючих сил в стінці при вивантаженні (7) The resulting characteristic value of the discharge vertical force (compressive) in the wall

n_{zSk} на одиницю довжини периметра на будь-якій глибині z повинно визначатися за формулою:

$$n_{zSk} = \int_0^z p_{we}(z) dz = C_w \mu p_{ho}(z - z_V) \quad (5.91)$$

де z_V — за формулою (5.80).

Примітка. Результируюче напруження за формулою (5.91) є характеристичним значенням. При використанні цієї формули слід звернути увагу на необхідність вживання відповідного часткового коефіцієнта для дій, оскільки ця формула є результатом статичного розрахунку (із застосуванням мембранної теорії оболонок). Ця формула приведена тут для допомоги проектувальникові в інтеграції формули (5.83). Слід зазначити, що інші навантаження (наприклад, місцеве навантаження або несиметричне заповнення) можуть викликати додаткові вертикальні зусилля в стінці.

5.3.2.2 Місьцеве навантаження при вивантаженні

(1) Місьцевий тиск при вивантаженні p_{pe} необхідно використовувати для врахування випадкових несиметричностей навантаження (див. рисунок 1.1, b).

(2) Правила, вказані в 5.2.2, повинні застосовуватися для визначення форми, розташування і значення місцевого навантаження.

(3) Для бункерів малої або проміжної гнучкості ($h_c/d_c < 2,0$) всіх класів дій, якщо ексцентриситет вивантаження e_0 перевищує критичне значення $e_{o.cr} = 0,25d_c$, повинен також прийматися додатковий випадок навантаження по 5.3.4.

(4) Для бункерів малої гнучкості ($h_c/d_c < 1,0$) всіх класів дій, якщо ексцентриситет вивантаження e_0 менший, ніж $e_{o.cr} = 0,1d_c$, місцеве навантаження від вивантаження враховувати не слід ($C_{pe} = 0$).

n_{zSk} k per unit length of perimeter at any depth z should be determined as:

where z_V is given by Expression (5.80).

NOTE: The stress resultant defined in Expression (5.91) is a characteristic value. Care should be taken when using this result to ensure that the appropriate partial factor on actions is not omitted, since this expression is a result of a structural analysis (using the membrane theory of shells). The expression is included here to assist designers in the integration of Expression (5.83). It should also be noted that other loads (e.g. patch loads or unsymmetrical filling) may induce additional vertical forces in the wall.

5.3.2.2 Discharge patch load

(1) The discharge path pressure p_{pe} should be used to represent accidental asymmetries of loading (see Figure 1.1b).

(2) The rules set out in 5.2.2 should be used to define the form, location and magnitude of the patch load.

(3) For squat or intermediate slenderness silos ($h_c/d_c < 2,0$) in all Action Assessment Classes, where the eccentricity of discharge e_0 exceeds the critical value $e_{o.cr} = 0,25d_c$, the additional load case defined in 5.3.4 should also be adopted.

(4) For squat silos ($h_c/d_c < 1,0$) in all Action Assessment Classes and which discharge eccentricity e_0 less than $e_{o.cr} = 0,1d_c$, the discharge patch loads should not be considered ($C_{pe} = 0$).

(5) Для бункерів малої або проміжної гнучкості ($h_c/d_c < 2,0$) класу дій 1 місцеве навантаження від вивантаження враховувати не слід $C_{pe} = 0$.

(6) Для бункерів малої гнучкості ($h_c/d_c < 1,0$) класу дій 2, якщо ексцентриситет при вивантаженні e_0 перевищує $e_{o.cr} = 0,1d_c$, повинні застосовуватися положення 5.3.2.3.

(7) Для бункерів проміжної гнучкості ($1,0 < h_c/d_c < 2,0$) класу дій 2 повинні застосовуватися положення 5.3.2.3.

(8) Для бункерів малої гнучкості ($h_c/d_c \leq 1,0$) класу дій 3, якщо ексцентриситет при вивантаженні e_0 перевищує $e_{o.cr} = 0,1d_c$, повинні застосовуватися відповідні положення 5.2.2.2 – 5.2.2.5.

(9) Для бункерів проміжної гнучкості ($1,0 < h_c/d_c < 2,0$) класу дій 3 повинні застосовуватися відповідні положення 5.2.2.2 – 5.2.2.5.

5.3.2.3 Замінююче рівномірне збільшення тиску від заповнення і при вивантаженні

(1) Для бункерів класу дій 2 метод розрахунку місцевого навантаження по 5.3.1.2 і 5.3.2.2 допускається замінювати рівномірним збільшенням симетричного навантаження для врахування несиметричностей в процесі заповнення і вивантаження.

(2) Положення 5.2.3 допускається приймати для місцевого навантаження, отриманого по 5.3.1.2 і 5.3.2.2, з використанням відповідних формул (5.38) – (5.45).

5.3.3 Великі ексцентриситети навантажень заповнення в бункерах малої і проміжної гнучкості

(1)P Для циліндричних бункерів малої або проміжної гнучкості ($h_c/d_c < 2,0$) класу дій 3 з ексцентриситетом верхньої поверхні

(5) For squat or intermediate slenderness silos ($h_c/d_c < 2,0$) in Action Assessment Class 1, the discharge patch load should not be considered $C_{pe} = 0$.

(6) For squat silos ($h_c/d_c < 1,0$) in Action Assessment Class 2 and with discharge eccentricity e_0 greater than $e_{o.cr} = 0,1d_c$, the provisions of 5.3.2.3 should be adopted.

(7) For silos of intermediate slenderness ($1,0 < h_c/d_c < 2,0$) in Action Assessment Class 2, the provisions 5.3.2.3 should be adopted.

(8) For squat silos ($h_c/d_c \leq 1,0$) in Action Assessment Class 3 and with discharge eccentricity e_0 greater than $e_{o.cr} = 0,1d_c$ the provisions of 5.2.2.2 to 5.2.2.5, as appropriate, should be adopted.

(9) For silos of intermediate slenderness ($1,0 < h_c/d_c < 2,0$) in Action Assessment Class 3, the provisions of 5.2.2.2 to 5.2.2.5, as appropriate, should be adopted.

5.3.2.3 Substitute uniform pressure increase for filling and discharge

(1) For silos in Action Assessment Class 2, a uniform increase in the symmetrical load may be substituted for the patch load method of 5.3.1.2 and 5.3.2.2 to account for asymmetries in the filling and discharge processes.

(2) The provisions of 5.2.3 may be applied to the patch loads obtained from 5.3.1.2 and 5.3.2.2, using Expressions (5.38) to (5.45) as appropriated.

5.3.3 Large eccentricity filling loads in squat and intermediate circular silos

(1)P For silos of circular planform in Action Assessment Class 3 that have a squat or intermediate slenderness ($h_c/d_c < 2,0$) and a top

при заповненні e_t , який перевищує критичне значення $e_{t.cr} = 0,25d_c$ (див. рисунок 5.7), необхідно враховувати, що несиметричність нормального тиску викликає вертикальні зусилля в стінці бункера.

(2) При ручному розрахунку вимоги 5.3.3 (1)Р будуть виконані, якщо додати вертикальні сили в стінці n_{zSk} , визначені за формулою (5.92), до сил від симетричного заповнення з рівнем наповнення до вищої точки контакту матеріалу із стінкою (див. 5.3.1.1).

(3) Вплив несиметричних тисків допускається враховувати шляхом додаткових вертикальних сил в стінці в місці по колу з найбільшою висотою заповнення.

Примітка. Додаток до вертикальних сил в стінці виходить в результаті загального вигину бункера, якщо на протилежну стінку не діє нормальний тиск. Отже, приріст вертикальної сили безпосередньо підсумовується з силами від тертя, які визначаються для випадків з симетричними навантаженнями, розглянутими вище.

(4) Розрахунки повинні проводитися з використанням верхніх характеристичних значень характеристик матеріалу K і μ .

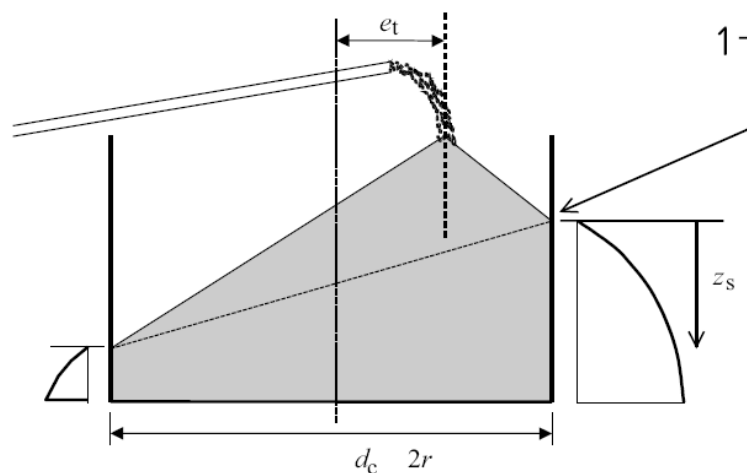
surface filling eccentricity e_t greater $e_{t.cr} = 0,25d_c$ (see Figure 5.7), the effect of the asymmetry of the normal pressures in inducing vertical forces in the silo wall shall be considered.

(2) Where hand calculation are performed, the requirements of 5.3.3 (1)P may be fulfilled by adding the vertical wall force n_{zSk} defined by Expression (5.92) to those evaluated for symmetrical filling with a fill level corresponding to filling symmetrically to the highest wall contact (see 5.3.1.1).

(3) The effect of unsymmetrical pressures may be accounted for by an increase in the vertical force in the wall at the circumferential location where the filling height is greatest.

NOTE: The increase in vertical wall force arises from the global bending action of the silo when the normal pressures are absent from the opposite wall. The increase in the force is therefore directly additive to the forces arising from friction that are defined for symmetrical load cases above.

(4) The calculation should be performed using the upper characteristic values of the properties K and μ for the solid.



Роз'яснення

1 вища точка контакту стінки з матеріалом

Key

1 Highest wall contact with solid

Рисунок 5.7 – Тиски від несиметричного заповнення в бункерах малої або проміжної гнучкості

Figure 5.7: Filling pressures in an eccentrically filled squat or intermediate slenderness silo

(5) Характеристичне значення результуючих додаткових вертикальних стискаючих сил на стінку $n_{zSk}(z_s)$ на одиницю довжини кола на будь-якій глибині z_s повинне визначатися під вищою точкою контакту матеріалу із стінкою за формулою:

$$n_{zSk} = 0,04 p_{ho} z_s \tan \varphi_r \left(\frac{e_t}{r} \right) (6 + 7Z - Z^2) \quad (5.92)$$

в якій

in which:

$$p_{ho} = \frac{\gamma}{\mu} \frac{A}{U} = \frac{\gamma r}{2\mu} \quad (5.93)$$

$$Z = \frac{z_s}{B} \quad (5.94)$$

$$B = \frac{r}{2\mu K} - h_0 \quad (5.95)$$

$$h_0 = r \tan \varphi_r \left[1 - (e_t / r)^2 \right] / 3 \quad (5.96)$$

де

where

z_s глибина під вищою точкою контакту матеріалу із стінкою;

z_s Is the depth below the highest point of solid contact with the wall;

φ_t кут природного укосу сипкого матеріалу;

φ_t Is the angle of repose of the particulate solid;

r радіус стінки циліндричного бункера;

r Is the radius of the circular silo wall;

e_t радіальний ексцентриситет вершини насипного конуса при заповненні (див. рисунки 1.1, b і 5.7).

e_t Is the radial eccentricity of the top of the filling pile (see Figures 1.1b and 5.7).

Примітка. результуюча напружень, визначена за формулою (5.92), є характеристичним значенням. При використанні цієї формули слід застосувати відповідний приватний коефіцієнт для дій, оскільки ця формула є результатом статичного розрахунку (із застосуванням мембранної теорії оболонок).

NOTE: The stress results defined in Expression (5.92) is a characteristic value. Care should be taken when using this results to ensure that the appropriate partial factor on actions is not omitted, since this expression is a result of a structural analysis (using the membrane theory of shells).

(6) Сила на одиницю довжини кола по формулі (5.92) повинна додаватися до сил тертя об стінку, які допускається приймати за формулою (5.81).

(6) The force per unit circumference defined in Expression (5.92) should be added to the force arising from wall friction, which may be taken from Expression (5.81).

5.3.4 Навантаження в циліндричних бункерах малої і проміжної гнучкості при великих ексцентриситетах вивантаження

(1) Якщо ексцентриситет вивантаження e_0 перевищує критичне значення $e_{0.cr} = 0,25d_c$ в бункерах малої і проміжної гнучкості ($h_c/d_c < 2,0$) класів дій 2 і 3, то повинна застосовуватися методика для гнучких бункерів з великими ексцентриситетами вивантаження по 5.2.4 як додатковий випадок навантаження, що розглядається окремо від симетричних і місцевих навантажень (по 5.3.2).

5.4 Опорні бункери

5.4.1 Навантаження від заповнення на вертикальні стінки

(1) Р При визначенні навантажень від заповнення на вертикальну стінку необхідно враховувати вплив геометрії насипного конуса і кривизну стінки бункера.

(2) При визначенні коефіцієнта бокового тиску K слід враховувати обмеження стінкою бункера направленої назовні руху матеріалу, що зберігається (в умовах тиску спокою). Якщо статичний розрахунок показує, що стінка може мати достатні переміщення в пружній стадії роботи, то допускається приймати більш низьке значення коефіцієнта бокового тиску K .

(3) Слід визначати характеристичне значення горизонтального тиску p_h на вертикальну стінку (див. рисунок 5.8).

Примітка 1. Метод визначення горизонтального тиску p_h на вертикальну стінку може бути вказаний в національному додатку. Метод, що рекомендується, – за формулою (5.97).

$$p_h = \gamma K (1 + \sin \varphi_r) z_s \quad (5.97)$$

де:

z_s глибина під найвищою точкою контакту матеріалу, що зберігається, із стінкою (див. рисунок 5.8);

γ верхнє характеристичне значення питомої ваги матеріалу;

K верхнє характеристичне значення ко-

5.3.4 Large eccentricity discharge loads in squat and intermediate circular silos

(1) Where the eccentricity of discharge e_0 exceeds the critical value $e_{0.cr} = 0,25d_c$ in a silo of squat or intermediate slenderness ($h_c/d_c < 2,0$) in Action Assessment Class 2 or 3, the procedure for large discharge eccentricity in slender silos should be used (5.2.4) as an extra load case separate from the symmetrical and patch load treatment given in 5.3.2.

5.4 Retaining silos

5.4.1 Filling loads on vertical walls

(1) P The tilling load on the vertical wall shall consider the effect of the geometry of the pile of stored solid, and where appropriate, the curvature of the silo wall.

(2) The evaluation of the lateral pressure ratio K should take account of the restraint provided by the wall against outward movement of the stored solid (i.e. at rest pressure condition). Where a structural analysis is used to demonstrate that the wall can displace sufficiently in its elastic range, a lower value of K may be adopted.

(3) The characteristic value of the horizontal pressure p_h on a vertical wall (see Figure 5.8) should be determined.

NOTE I: The method to be used for determining the horizontal pressure may be given in the National Annex. The recommended method is given in Expression (5.97):

where:

z_s is the depth below the highest stored solid contact with the wall (see Figure 5.8);

γ is the upper characteristic value of the unit weight of the solid;

K is the upper characteristic value of the lat-

ефіцієнта бокового тиску матеріалу;

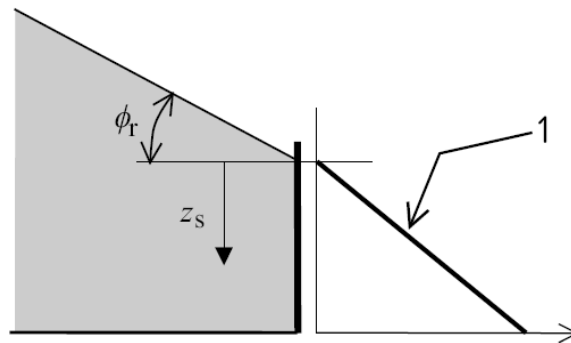
eral pressure ratio for the solid;

φ_r кут природного укосу матеріалу, що зберігається.

φ_r is the angle of repose of the stored solid.

Примітка 2. Формула (5.97) є точною в разі прямої вертикальної стінки з повним фрикційним контактом і при кут природного укосу що дорівнює куту внутрішнього тертя. Це відповідає формулі з ДСТУ-Н Б EN 1997.

NOTE 2: Expression (5.97) is precise for a straight vertical wall with fully frictional wall contact and the angle of repose equal to the angle of internal friction. It matches the expression given in EN 1997.



Роз'яснення

Key

1. тиск в опорному бункері

1. Retaining silo pressure

Рисунок 5.8 – Тиски від заповнення в опорному бункері

Figure 5.8: Filling pressures in a retaining silo

(4) Характеристичне значення результуючих стискаючих вертикальних сил n_{zSk} в стінці на одиницю довжини периметра на довільній глибині z_s нижче найвищої точкою контакту матеріалу і стінки повинно визначатися способом, який сумісний з тиском, що обчислюється по (3), і коефіцієнтом тертя об стінки μ .

(4) The characteristic value of the resulting vertical force n_{zSk} (compressive) in the wall per unit length of circumference at any depth z_s below the point of highest wall contact should be determined in a manner that is consistent with the pressures defined in (3) and the wall friction coefficient μ .

Примітка. Метод визначення результуючих вертикальних сил n_{zSk} може бути вказаний в національному додатку. Метод, що рекомендується, – за формулою (5.98).

NOTE: The method to be used for determining the resulting vertical force n_{zSk} may be given in the National Annex. The recommended method is given in Expression (5.98):

$$n_{zSk} = \gamma \frac{\mu k}{2} \cdot (1 + \sin \varphi_r) z_s^2 \quad (5.98)$$

де μ – верхнє характеристичне значення коефіцієнта тертя матеріалу о стінки.

where μ is the upper characteristic value of the wall friction coefficient of the solid.

(5) На відміну від інших правил даного стандарту, мінливість характеристик матеріалу, що зберігається, можна вважати достатньо врахованою для опорних бункерів лише за рахунок вживання верхніх характеристичних значень питомої ваги γ і коефіцієнта

(5) Notwithstanding other rules within this part of EN 1991, the variability of the properties of the stored solids may be deemed to have been considered for retaining silos by adopting only the upper characteristic values of the unit weight γ and the lateral pressure ratio K of

бокового тиску K .

5.4.2 Навантаження при вивантаженні на вертикальні стіни

(1) Допускається приймати, що навантаження на вертикальну стінку при вивантаженні мають меншу величину, ніж навантаження від заповнення.

(2) Відносно 5.4.2 (1), при визначенні умов розвантаження слід враховувати можливість несиметричного тиску в результаті нерівномірного видалення матеріалу з бункера.

5.5 Бункери з насиченим повітрям матеріалом

5.5.1 Загальні положення

(1)Р Бункери, в яких матеріал знаходиться повністю або частково в підвішеному стані внаслідок насичення повітрям, необхідно розраховувати на додатковий тиск, що виникає від псевдозрідження і тиску повітря.

(2)Р Бункери з матеріалом, що знаходиться в однорідно псевдозрідженому стані, і бункери з високою швидкістю заповнення (див. 1.5.16 і 1.5.17) повинні розраховуватися для наступних випадків навантаження:

- сипучий матеріал псевдозріджений;
- сипучий матеріал не псевдозріджений.

(3) Для випадку, коли сипучий матеріал не псевдозріджений, навантаження повинні визначатися відповідно до 5.2 або 5.3.

5.5.2 Навантаження в бункерах, що містять псевдозріджений матеріал

(1) Для бункерів з порошкоподібним матеріалом (див. 1.5.31) слід вважати, що матеріал, що зберігається, може псевдозріджатися, якщо швидкість підйому поверхні матеріалу перевищує 10 м/ч.

Примітка. Умови, при яких порошкоподібний матеріал, що зберігається, може псевдозріджатися, залежать від багатьох чинників, які не піддаються простому визначенню. Приведене вище правило є простою оцінкою ситуації, чи може даний випадок навантаження вважатися суттєвим для розрахунку. Якщо існують сумніви, то рекомендується залучення відповідних фахівців для визначення поведінки матеріалу.

the solid.

5.4.2 Discharge loads on vertical walls

(1) The discharge load on the vertical wall may be taken to be less than the filling load.

(2) With regard to 5.4.2 (1), the evaluation of the conditions of discharge should take account of the possibility of unsymmetrical pressures as a result of uneven removal of solid from within the silo.

5.5 Silos containing solids with entrained air

5.5.1 General

(1) P Silos in which it is possible for the stored solid to be fully or partially fluidized as a consequence of the entrainment of air shall be designed for the additional pressures that may arise due to fluidization and air pressure.

(2) P Homogenizing fluidized silos and silos with a high filling velocity (see 1.5.16 and 1.5.17) shall be designed for the following load cases:

- the stored solid fluidized;
- the stored solid not fluidized.

(3) Load evaluations for conditions when the stored solid is not fluidized should be performed according to 5.2 or 5.3 above.

5.5.2 Loads in silos containing fluidized solids

(1) In silos storing powders (see 1.5.31), it should be assumed that the stored solid can become fluidized if the velocity of the rising surface of the stored solid exceeds 10 m/h.

NOTE: The conditions under which a stored powder can become fluidized depend on many factors and are not simple to define. The above rule provides a simple estimate of whether this may be an important design consideration. Where any doubt exists, it is recommended that specialist advice on the behaviour of the stored solid be sought.

(2) Для бункерів з порошкоподібним матеріалом (див. 1.5.32), який знаходиться в однорідному псевдозрідженому стані (див. 1.5.18) і в режимі циркуляції, слід вважати, що матеріал, що зберігається, може псевдозріджатися.

(3) Нормальний тиск на стінку бункера p_h від псевдозрідженого матеріалу повинен визначатися по формулі:

$$p_h = \gamma_1 z \quad (5.99)$$

де

γ_1 питома вага псевдозрідженого матеріалу.

(4) Питома вага сипкого матеріалу γ_1 в псевдозрідженому стані може прийматися рівною:

$$\gamma_1 = 0,8\gamma \quad (5.100)$$

де

γ є питомою вагою порошкоподібного сипкого матеріалу по розділу 4.

(2) In homogenizing fluidized silos (see 1.5.18) storing powders (see 1.5.32) that are being re-circulated, it should be assumed that the stored solid can become fluidized.

(3) The pressure normal to the silo wall p_h from fluidized solids should be calculated as follows:

where:

γ_1 is the fluidized unit weight.

(4) The fluidized unit weight of a powder γ_1 may be taken as equal to:

where:

γ is the bulk unit weight of the powder determined from Section 4.

5.6 Різниця температур між матеріалом і конструкціями бункера

5.6.1 Загальні положення

(1)P При розрахунку конструкції бункера необхідно враховувати впливи температурних ефектів (переміщення, деформації, викривлення, напруження, сили і моменти) внаслідок різниці температур між матеріалом, що зберігається, і конструкціями бункера та/або між довіллям і конструкціям бункера.

(2)P Бункери, в яких матеріал, що зберігається, може мати температуру, що відрізняється від температури всій або частини стінки, необхідно розраховувати на додатковий тиск, який може виникати унаслідок різниці температурних розширень за наявності жорсткого матеріалу.

(3) Температурні умови повинні прийматися згідно ДСТУ-Н Б EN 1991-1-5.

(4) Відмінність температурних деформацій бункера і будь-яких приєднаних конструкцій слід враховувати в рамках наступних

5.6 Thermal differentials between stored solids and the silo structure

5.6.1 General

(1) P The design of a silo structure shall consider the consequences of thermal effects (displacements, strains, curvatures, stresses, forces and moments) due to a temperature difference between the stored solid and the silo structure and/or between the external environment and the silo structure.

(2) P Silos in which it is possible for the bulk of the stored solid to be at a different temperature from that of all or part of the wall shall be designed for the additional pressures that may arise due to differential thermal expansion in the presence of a stiff solid.

(3) The thermal conditions should be assessed with reference to EN 1991-1-5.

(4) Differential thermal displacements between the silo and any connected structure should be considered. The following design situations

розрахункових ситуацій:

- зниження температури довкілля відносно температур конструкцій бункера і матеріалу, що зберігається;
- заповнення бункера гарячим матеріалом;
- різні швидкості нагріву незахищених металевих елементів і залізобетону;
- обмеження деформацій стінки конструкціями бункера.

Примітка. Різний нагрів незахищеного металу і залізобетону є звичайним для дахів бункерів, коли балки даху спираються на стінки через ковзаючі опори і забезпечують лише вертикальне опирання конструкцій даху (тобто без спільної роботи). Проблема виникає при короткочасній різниці розширень, яка знижується надалі по мірі нагрівання залізобетону до температури незахищеного металу.

5.6.2 Тиск унаслідок зниження температури довкілля

(1) Р Якщо протягом коротких проміжків часу можливе різке зниження температури довкілля, то в розрахунку необхідно врахувати тиск від різниці температурних деформацій укорочення зовнішніх конструкцій і повільно остигаючим матеріалом, що зберігається.

(2) Для циліндричних бункерів слід приймати додатковий нормальний тиск p_{hT} , який діє на вертикальні стінки бункера, якщо вони холодніше матеріалу, що зберігається. Додатковий тиск по всій висоті бункера слід визначати за формулою:

$$p_{hT} = C_T \alpha_w \Delta T \frac{E_w}{\left[\left(\frac{r}{t} \right) + (1 - \nu) \left(\frac{E_w}{E_{sU}} \right) \right]} \quad (5.101)$$

де

- C_T коефіцієнт збільшення температурних навантажень;
- α_w коефіцієнт температурного розширення стінки бункера;
- ΔT різниця температур;
- r радіус бункера ($=d_c/2$);
- t товщина стінки;

should be considered.

- reduction in ambient temperature relative to the temperature of the silo and stored solid;
- filling of the silo with hot solid;
- differential heating rates between exposed steel members and reinforced concrete;
- restraint to wall displacements from the silo structure.

NOTE: Differential heating between exposed steel members and reinforced concrete is typically found in silo roofs where the roof beams have sliding supports at the wall and provide vertical support to the roof only (i.e. no composite action). The problem stems from short term differential expansion; this reduces with time as the concrete temperature rises to match that in the exposed steel member.

5.6.2 Pressures due to reduction in ambient atmospheric temperature

(1) P Where it is possible for the ambient temperature of the atmosphere to fall considerably within a short period, the design shall consider the pressures induced by differential thermal shrinkage between the external structure and the relatively thermally inert stored solid.

(2) For silos with a circular planform, an additional normal pressure p_{hT} should be taken to act on a silo vertical wall when the container is cooled relative to the stored solid. The additional pressure at each height in the silo should be determined as:

where:

- C_T is the temperature load multiplier;
- α_w is the coefficient of thermal expansion of the silo wall;
- ΔT is the temperature differential;
- r is the silo radius ($=d_c/2$);
- t is the wall thickness;

E_w модуль пружності стінки бункера;
 ν коефіцієнт Пуассона сипкого матеріалу (можна прийняти $\nu = 0,3$);

E_{sU} ефективний модуль пружності матеріалу, що зберігається, в ненавантаженому стані на глибині z .

(3) Оцінка ефективного модуля пружності E_{sU} матеріалу в ненавантаженому стані на глибині z повинна враховувати вертикальний тиск p_{vf} в матеріалі, що зберігається, на цій глибині після заповнення.

(4) Ефективний модуль пружності E_{vU} слід визначати методом, вказаним в С.10.

(5) Якщо ефективний модуль пружності визначається за результатами випробувань, значення коефіцієнта збільшення температурних навантажень слід приймати рівним $C_T = 1,2$. Якщо ефективний модуль пружності оцінюється по щільності матеріалу, то $C_T = 3$.

5.6.3 Тиск від заповнення гарячого матеріалу

(1)Р Якщо гарячий матеріал поміщається в бункер, необхідно враховувати різницю температур між більш холодним матеріалом, що знаходиться в бункері вже деякий час, і гарячим повітрям над поверхнею матеріалу. Необхідно розглянути вплив різниці температур на різне розширення стінки бункера на різних рівнях разом з згинальними моментами, що виникають від спільності деформацій.

(2) Ці ефекти для бункерів класу впливів 1 враховувати не слід.

5.7 Навантаження на прямокутні бункери

5.7.1 Прямокутні бункери

(1) Навантаження на стінку від сипких матеріалів в прямокутних бункерах слід приймати згідно 5.2, 5.3 і 5.4.

E_w is the elastic modulus of the silo wall;

ν is Poisson's ratio for the particulate solid ($\nu = 0,3$ may be assumed);

E_{sU} is the unloading effective elastic modulus of the stored solid at the depth z .

(3) The assessment of the unloading effective elastic modulus of the solid E_{sU} at the depth z should take account of the vertical stress p_{vf} in the stored solid at that depth after filling.

(4) The unloading effective elastic modulus E_{vU} should be determined using the method described in C.10.

(5) Where materials testing of the solid is used to obtain the unloading effective elastic modulus, the value of the temperature load multiplier should be taken as $C_T = 1,2$. Where the unloading effective elastic modulus is estimated from the density, the value of the temperature load multiplier should be taken as $C_T = 3$.

5.6.3 Pressures due to filling with hot solids

(1) P Where hot solids are placed in a silo, account shall be taken of the temperature differential between the cooler solids that have been there for some time and the hot atmosphere above the solids surface. The effect of such temperature differentials on the differential expansion of the silo wall at different levels shall be considered, together with the bending moments arising from satisfying compatibility between these deformations.

(2) These effects need not be considered for silos in Action Assessment Class 1.

5.7 Loads in rectangular silos

5.7.1 Rectangular silos

(1) The wall loads due to bulk solids in rectangular silos should be taken as defined in 5.2, 5.3 and 5.4, as appropriate.

(2) Не дивлячись на загальні вимоги 4.1 (2), якщо бункер має гнучкі стінки, жорсткість яких порівняна з жорсткістю матеріалу, що зберігається, бункери класу дій 1 і 2 допускається розраховувати з врахуванням сприятливої взаємодії матеріалу і конструкцій, яка знижує тиск в середині стінки і збільшує тиск в кутах.

(3) Якщо передбачається зміна тиску на якомусь рівні згідно (2), середній тиск на цьому рівні слід приймати рівним тиску, визначеному по 5.2 або 5.3.

(4) По відношенню 5.7.1(3) і у випадках, коли використовуються знижені тиски, для оцінки тисків слід використовувати відповідний раціональний метод.

5.7.2 Бункери з внутрішніми затяжками

(1) Навантаження на стінку від сипкого матеріалу в прямокутних бункерів з внутрішніми затяжками слід приймати згідно 5.2, 5.3 або 5.4.

(2) Сили, що діють на стінки конструкцій бункера від затяжок, слід розраховувати з врахуванням навантажень від матеріалу на кожну затяжку, розташування і прикріплення кожної затяжки, провисання затяжки і жорсткості конструкцій, що чинить опір збільшенню провисання затяжки в наслідок дії навантажень від матеріалу.

(3) Для бункерів класів дій 1 і 2 сили, що діє на стінки конструкцій бункера від затяжок, слід визначати шляхом статичного розрахунку згідно ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1.

(2) Notwithstanding the general requirement of 4.1 (2), where the silo is constructed with flexible walls whose stiffness is comparable with the stiffness of the contained solid, silos in Action Assessment Classes 1 and 2 may be designed to take advantage of bulk solid-structure interaction effects that reduce the pressures at the midside of the walls and increase the pressures in the comers.

(3) Where a variation of pressure at a level is assumed, according to (2), the mean pressure at that level should be taken as the value of pressure calculated using 5.2 or 5.3.

(4) With regard to 5.7.1(3) and where such reduced pressures are used, a rational method of pressure assessment should be used.

5.7.2 Silos with internal ties

(1) The wall loads due to bulk solids in rectangular silos with internal ties should be taken as defined in 5.2, 5.3 and 5.4 as appropriate.

(2) The forces applied by the ties to the walls of the structure should be evaluated taking into account the bulk solids loading on each tie, the location and fixation of each tie, the sag of the tie and the stiffness of the structure in resisting increased sag in the tie as a result of bulk solids loading.

(3) For silos in the Action Assessment Classes 1 and 2 of this standard, the forces applied by the ties to the walls of the structure should be evaluated using the structural analysis according to EN 1993-4-1.

6 Навантаження на воронки і днища бункерів

6.1 Загальні положення

6.1.1 Фізичні характеристики

(1)Р Характеристичні значення навантажень від заповнення і при вивантаженні які визначені даним розділом, необхідно застосовувати для наступних типів нижньої частини бункера:

- плоскі днища;
- круті воронки;
- пологі воронки.

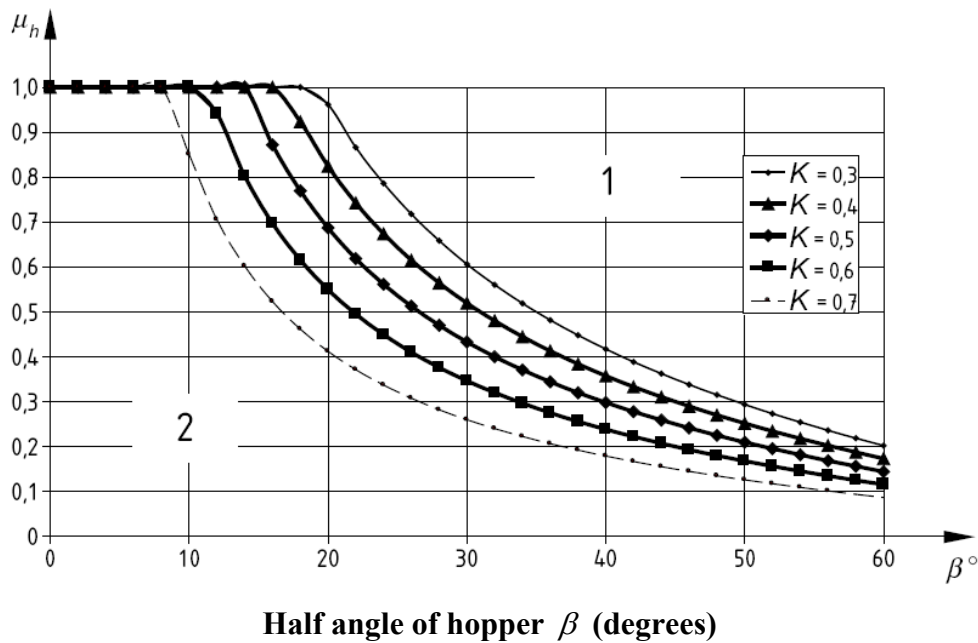
Section 6 Loads on silo hoppers and silo bottoms

6.1 General

6.1.1 Physical properties

(1) P The characteristic values of the filling and discharge loads on silo bottoms, which are prescribed in this section for the following types of silo, shall be used:

- flat bottoms;
- steep hoppers;
- shallow hoppers.



Роз'яснення

- 1 полога воронка
- 2 крута воронка

β половина кута вершини воронки

μ_h нижнє характеристичне значення коефіцієнта тертя о стінки воронки

K нижнє характеристичне значення коефіцієнта бокового тиску на вертикальні стінки

Key

- 1 Shallow
- 2 Steep
- β Hopper apex half angle (degrees)

μ_h Lower characteristic value of hopper wall friction coefficient

K Lower characteristic value of lateral pressure ratio on vertical walls

Рисунок 6.1 – Межа між крутою і пологою воронкою

Figure 6.1: The boundary between steep and shallow hoppers

(2) Р Навантаження на стінки воронки бункера необхідно визначати з урахуванням нахилу стінок воронки відповідно з наступною класифікацією:

- кут нахилу плоского днища до горизонтальної площини α повинен становити менше 5° ;
- похилою воронкою необхідно вважати воронку, яка не є плоскою або крутою;
- крутою воронкою необхідно вважати воронку, для якої виконується наступний критерій (див. рисунки 6.1 і 6.2):

$$\tan \beta < \frac{1-K}{2\mu_h} \quad (6.1)$$

де

- K нижнє характеристичне значення коефіцієнта бокового тиску на вертикальні стінки;
- β половина кута вершини воронки;
- μ_h нижнє характеристичне значення коефіцієнта тертя об стінки воронки.

Примітка. Крутою є воронка, в якій сипучий матеріал ковзає вздовж при похилих стінках воронки при заповненому бункері, а матеріал вище воронки знаходиться в консолідованому стані. У цьому випадку дотичний тиск тертя визначається нормальним тиском і коефіцієнтом тертя об стінки (повністю реалізоване тертя об стінки). У пологої воронці матеріал не ковзає вздовж стінки воронки при заповненому бункері (нахил занадто малий або тертя занадто велике). У цьому випадку дотичний тиск тертя вже не визначається нормальним тиском і коефіцієнтом тертя об стінки, а має більш низьке значення, яке залежить від кута нахилу стінок і напруженого стану в матеріалі (не повністю реалізоване тертя). Стигливість матеріалу також відіграє роль у цій відмінності, але не таку істотну. Перехід між крутими і пологими воронками є плавним, тобто якщо воронка знаходиться на межі, то тиски в ній будуть однаковими незалежно від типу (тертя об стінки майже повністю реалізоване).

6.1.2 Загальні правила

(1) Для розрахунку розподілу тисків на стінку воронки існують два методи. Основний метод зазначений у 6.1.2, альтернативний метод наводиться в додатку G.

(2) P The loads on the walls of silo hoppers shall be evaluated according to the steepness of the hopper determined according to the following classes;

- a flat bottom shall have an inclination to the horizontal less α than 5° ;
- a shallow hopper shall be any hopper not classified as either flat or steep;
- a steep hopper shall be any hopper that satisfies the following criterion (see Figures 6.1 and 6.2);

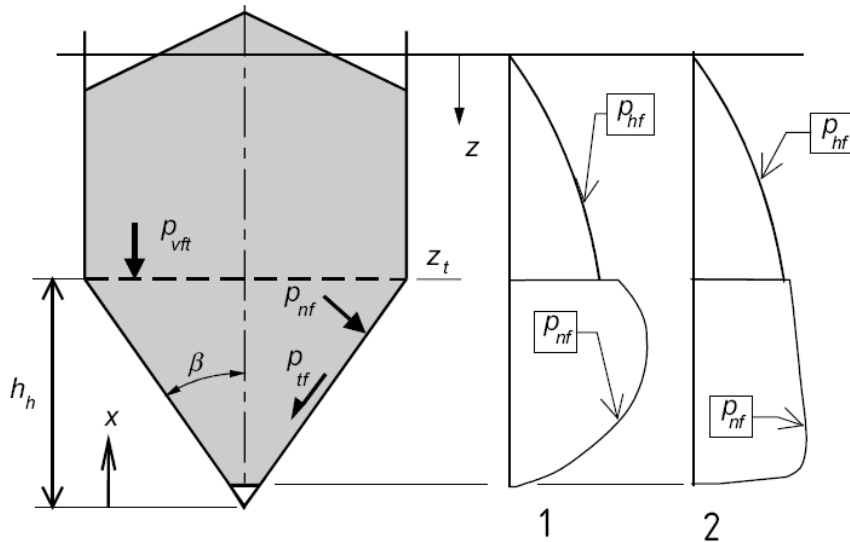
where:

- K is the lower characteristic value of the lateral pressure ratio on the vertical walls;
- β is the hopper apex half angle;
- μ_h is the lower characteristic value of wall friction coefficient in the hopper.

NOTE: A sleep hopper is one in which the solid slides down the inclined hopper wall when the silo is filled and the solid above the hopper causes it to be consolidated. The wall frictional shear stress or traction is then related to the normal pressure on the hopper by the wall friction coefficient (fully mobilized wall friction). A shallow hopper is one in which the solid does not slide down the inclined hopper wall when the silo is filled (the slope is too low or the friction too high). The wall frictional shear stress or traction is then not related to the normal pressure on the hopper by the wall friction coefficient, but by a lower value, which depends on the hopper slope and the stress state in the solid (wall friction not fully mobilized). The compressibility of the solid also plays a role in this distinction, but it is less important. The boundary between steep and shallow hoppers is smooth, with the same pressures applied to a hopper that is at the boundary whether it is in either category (wall friction just fully mobilized).

6.1.2 General rules

(1) For the calculation of pressures on hopper walls two methods are given. The reference method is given in this clause (6.1.2), and the alternative method is given in Annex G.



Роз'яснення

- 1 крута воронка
- 2 полого воронка

Key

- 1 Steep
- 2 Shallow

Рисунок 6.2 – Розподіл тиску від заповнення в крутій і пологій воронці

Figure 6.2: Distributions of filling pressures in steep and shallow hoppers

(2) Середній вертикальний тиск в точці переходу між вертикальним стволом і воронкою або днищем бункера повинен визначатися за формулою

(2) The mean vertical pressure at the transition between the vertical walled segment and the hopper or on the silo bottom should be determined as:

$$p_{vft} = C_b p_{vf} \quad (6.2)$$

де

where:

p_{vft} вертикальний тиск від заповнення, що визначається за формулами (5.3) або (5.79) в залежності від гнучкості бункера, з координатою z , що дорівнює висоті вертикальної стінки h_c (тобто в точці переходу, див. рисунок 1.1, а), і з параметрами матеріалу, при яких виникають максимальні навантаження на воронку (див. таблицю 3.1);

p_{vf} is the filling value of the vertical pressure calculated using Expression (5.3) or (5.79) according to the slenderness of the silo, with the z coordinate equal to the height of the vertical wall h_c (i.e. at the transition: see Figure 1.1a) and using the values of solids properties that induce maximum hopper loading (see Table 3.1);

C_b коефіцієнт збільшення навантаження в основі для урахування того, що більш високі вертикальні навантаження від ствола бункера можуть передаватися на воронку або днище.

C_b is a bottom load magnifier to account for the possibility of larger loads being transferred to the hopper or bottom from the vertical walled segment.

(3) Для бункерів класів впливів 2 і 3 коефіцієнт збільшення навантаження на основу повинні прийматися як:

(3) For silos in Action Assessment Classes 2 and 3, the bottom load magnifier should be determined as:

$$C_b = 1,0 \quad (6.3)$$

(4) Для бункерів класу впливів 1, якщо середні значення параметрів матеріалу K і μ використовуються при розрахунку, коефіцієнт збільшення навантаження на днище повинен визначатися за формулою:

$$C_b = 1,3 \quad (6.4)$$

(5) Якщо існує висока ймовірність появи умов для динамічних навантажень від матеріалу що зберігається, то більш високі навантаження прикладаються до воронки чи днища. Ці умови виникають, якщо:

– бункер з гнучким вертикальним стволом використовується для зберігання матеріалів, які не можуть бути класифіковані як такі, що мають низьке зчеплення (див. 1.5.23),

– якщо зберігається матеріал схильний до механічного скріплення часток (наприклад, цементний клінкер).

Примітка. Визначення зчеплення сипкого матеріалу дається в С.9. Зчеплення класифікується як низьке, якщо після ущільнення сипкого матеріалу при рівні напруг σ_r , воно не перевищує значення $\frac{c}{\sigma_r} = 0,04$

(див. 1.5.23).

(6) Якщо виконуються умови (5), більш високі навантаження на воронку або днище бункера слід визначати з використанням коефіцієнта збільшення навантаження в основі, який приймається як:

– для класів впливів 2 і 3:

$$C_b = 1,2 \quad (6.5)$$

– для класу впливів 1:

$$C_b = 1,6 \quad (6.6)$$

(7) Для кожної умови навантаження, середній вертикальний тиск на висоті x над вершиною воронки (див. рисунок 6.2) слід визначати за формулою:

$$p_v = \left(\frac{\gamma h_h}{n-1} \right) \left\{ \left(\frac{x}{h_h} \right) - \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \right\} + P_{vft} \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \quad (6.7)$$

де

in which:

$$n = S(F\mu_{heff} \cot \beta + F) - 2 \quad (6.8)$$

для конічних і квадратних пірамідальних

for conical and square pyramidal hoppers

(4) For silos in Action Assessment Class 1 where the mean value of the material properties K and μ have been used for design, the bottom load magnifier should be determined as:

(5) Where there is a significant probability that the stored solid can develop dynamic loading conditions, higher loads are applied to the hopper or silo bottom. These conditions should be assumed to occur if either:

– a silo with a slender vertical walled section is used to store solids that cannot be classed as of low cohesion (see 1.5.23);

– the stored solid is identified as susceptible to mechanical interlocking (e.g. cement clinker).

NOTE: The evaluation of the cohesion c of a solid is given in C.9. The cohesion is classed as low if, following consolidation to a normal stress level the assessed cohesion c does not exceed dot – 0,04 (see 1.5.23).

(6) Where conditions of (5) are met, the higher loads on the hopper or silo bottom should be determined using the bottom load magnifier C_b , which should be taken as:

for Action Assessment Classes 2 and 3

for Action Assessment Class 1

(7) For each condition in a hopper, the mean vertical stress in the solid at height x above the apex of the hopper (see Figure 6.2) should be determined as:

воронок;

$$S = 2 \quad (6.9)$$

для клиноподібних воронок;

for wedge hoppers

$$S = 1 \quad (6.10)$$

для прямокутних воронок;

for hoppers of rectangular planform

$$S = (1 + b/a) \quad (6.11)$$

де

where:

γ верхнє характеристичне значення питомої ваги матеріалу;

γ is the upper characteristic value of the solid unit weight;

h_h вертикальна відстань між вершиною воронки і точкою переходу (див. рисунок 6.2);

h_h is the vertical height between the hopper apex and the transition (see Figure 6.2);

x вертикальна координата вгору від вершини воронки (див. рисунок 6.2);

x is the vertical coordinate upwards from hopper apex (see Figure 6.2);

μ_{heff} ефективний або реалізований характеристичний коефіцієнт тертя об стінки воронки (формула (6.16) або (6.26));

μ_{heff} is the effective or mobilized characteristic wall friction coefficient for the hopper (Expressions (6.16) and (6.26) as appropriate);

S коефіцієнт форми воронки;

S is a hopper shape coefficient;

F характеристичне значення відношення тиску в воронці (формула (6.17), (6.21) або (6.27));

F is the characteristic value of the hopper pressure ratio (Expressions (6.17), (6.21) or (6.27) as appropriate);

β половина кута в вершині воронки ($= 90^\circ - \alpha$) або найбільш кутий нахил квадратної або прямокутної пірамідальної воронки

β is the hopper apex half angle ($= 90^\circ - \alpha$), or the steepest slope on a square or rectangular pyramidal hopper;

p_{vft} середній вертикальний тиск в матеріалі в точці переходу після заповнення (формула (6.2)).

p_{vft} is the mean vertical stress in the solid at the transition after filling (Expression (6.2));

a довжина прямокутного поперечного перерізу (див. рисунок 1.1, d);

a is the length of a rectangular planform (see Figure 1.1d);

b ширина прямокутного поперечного перерізу (див. рисунок 1.1, d);

b is the width of a rectangular planform (see Figure 1.1d).

(8) При визначенні відношення тиску в воронці F слід враховувати, чи є воронка крутою або пологою, а також вид обчислюваних навантажень – від заповнення або при вивантаженні. Відповідні значення F повинні визначатися за 6.3 і 6.4.

(8) The determination of the value of the hopper pressure ratio F should take account of whether the hopper is steep or shallow and whether filling or discharge loads are being evaluated. Appropriate values of F should be taken from 6.3 and 6.4.

(9) При визначенні значення ефективного або реалізованого коефіцієнтів тертя об стінку воронки μ_{heff} слід враховувати, чи є воронка крутою або пологою. Відповідні

(9) The determination of the value of the effective or mobilized hopper wall friction coefficient should take account of whether the hopper is steep or shallow. Appropriate values should be taken from 6.3 and 6.4.

значення повинні визначатися за 6.3 і 6.4.

6.2 Плоскі днища

6.2.1 Вертикальні тиски на плоскі днища в гнучких бункерах

(1) Вертикальний тиск на плоске днище (нахил $\alpha < 5^\circ$) допускається приймати рівномірним, за винятком бункерів малої або проміжної гнучкості. У цих випадках слід використовувати 6.2.2.

(2) Вертикальний тиск p_v на плоске днище слід визначати за формулою:

$$p_v = p_{vft} \quad (6.12)$$

де

p_{vft} – розраховується за формулою (6.2).

(3) Вертикальний тиск на плоске днище бункера при вивантаженні слід приймати таким же, як і вертикальний тиск після закінчення заповнення.

6.2.2 Вертикальні тиски на плоскі днища в бункерах малої або проміжної гнучкості

(1) Слід враховувати можливість того, що тиск, більш високий, ніж визначено по 6.1 (див. формула (6.2), може діяти локально на днище бункерів малої або проміжної гнучкості.

(2) Вертикальний тиск p_{vsq} на плоске днище бункерів малої або проміжної гнучкості допускається визначати за формулою:

$$p_{vsq} = p_{vb} + \Delta p_{sq} \left(\frac{2,0 - h_c/d_c}{2,0 - h_p/d_c} \right) \quad (6.13)$$

де

in which:

$$\Delta p_{sq} = p_{vtp} - p_{vho} \quad (6.14)$$

$$p_{vtp} = \gamma h_p \quad (6.15)$$

де

p_{vb} – рівномірна складова вертикального тиску, що визначається за формулою

6.2 Flat bottoms

6.2.1 Vertical pressures on flat bottoms in slender silos

(1) The vertical pressure acting on a flat bottom (inclination $\alpha < 5^\circ$) may be taken as uniform, except when the silo is squat or of intermediate slenderness. For these cases, 6.2.2 should be used.

(2) The vertical pressure acting on a flat bottom should be determined as:

where:

p_{vft} is obtained from Expression (6.2).

(3) The vertical pressure acting on a flat bottom during discharge should be taken as identical to the vertical pressure at the end of filling.

6.2.2 Vertical pressures on flat bottoms in squat and intermediate silos

(1) The potential that pressures higher than those defined in 6.1 (see Expression (6.2) may occur locally on the flat bottom of a squat or intermediate slenderness silo should be considered.

(2) The vertical pressure p_{vsq} acting on the flat bottom of a squat or intermediate slenderness silo may be taken as:

where:

p_{vb} is the uniform component of vertical pressure, obtained from Expression (6.2)

(6.2) при $z = h_c$ і з використанням характеристичних значень параметрів матеріалу, які викликають максимальні навантаження на воронку (див. таблицю 3.1);

with $z = h_c$ and adopting characteristic values for the solid's properties that induce maximum hopper loading (see Table 3.1);

p_{vho} вертикальний тиск по Янссену в основі насипного конуса за формулою (5.79) при $z = h_0$

p_{vho} is the Janssen vertical pressure at the base of the top pile, obtained from Expression (5.79) with $z = h_0$;

h_0 відстань між еквівалентною поверхнею матеріалу і основою насипного конуса, тобто найнижчою точкою стінки, яка не контактує з матеріалом що зберігається (див. рисунок 6.3);

h_0 is the depth below the equivalent surface of the base of the top pile, defined as the lowest point on the wall that is not in contact with the stored solid (see Figure 6.3);

h_{tp} загальна висота насипного конуса, що визначається як вертикальна відстань між вершиною матеріалу що зберігається і найнижчою точкою стінки, яка не контактує з матеріалом що зберігається (див. рисунок 6.3);

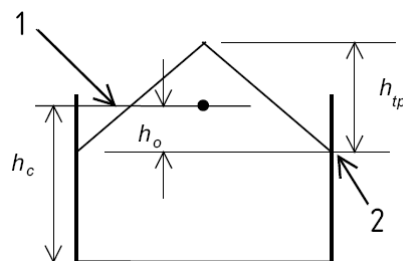
h_{tp} is the total height of the top pile, defined as the vertical distance from lowest point on the wall that is not in contact with the stored solid to the highest stored particle (see Figure 6.3);

h_c відстань від еквівалентної поверхні сипкого матеріалу до днища бункера.

h_c is the depth of the silo base below the equivalent surface.

Примітка. Наведене вище правило забезпечує лінійний перехід від тиску на основу по рівнянню Янсена для гнучкого бункера ($h_c / d_c = 2,0$) до тиску $\gamma_z(z = h_0)$ для умови, коли весь матеріал має форму купи ($h_c = h_0$), і не контактує з вертикальною стінкою. Останнє має більше значення, ніж максимальний тиск під купою сипкого матеріалу, але цей результат дає просту консервативну оцінку.

NOTE: The above rule provides a linear transition between the base pressure defined by the Janssen equation for a silo that is just slender, $h_c / d_c = 2,0$, and the pressure $\gamma_z(z = h_0)$ for the condition where the solids in the silo are only in the form of a heap ($h_c = h_0$) with no contact with the vertical wall. The latter is greater than the true maximum pressure beneath a pile of particulate solid, but the result gives a simple conservative estimate.



Роз'яснення

Key

1 Еквівалентна поверхня

1 Equivalent surface

2 Найнижча точка стінки без контакту з матеріалом

2 Lowest point without solid contact

Рисунок 6.3 – Навантаження на днище в бункерах малої або проміжної гнучкості

Figure 6.3: Pressures on the bottom of a squat or intermediate silo

(3) Вертикальний тиск p_{vsq} за формулою (6.13) допускається приймати діючим як після заповнення, так і в процесі вивантаження.

(4) Значення p_{vsq} за формулою (6.13) відповідає вертикальному тиску біля центру днища бункера. Якщо обпирання днища є нерівномірним, необхідно використовувати раціональні методи розрахунку для визначення варіацій тиску.

6.3 Круті воронки

6.3.1 Реалізоване тертя

(1) Для умов заповнення і вивантаження ефективне або реалізоване тертя о стінки в формулі (6.8) повинні визначатися за формулою

$$\mu_{heff} = \mu_h \quad (6.16)$$

де

μ_h – нижнє характеристичне значення кута тертя об стінки воронки.

(3) The vertical pressure p_{vsq} given in Expression (6.13) may be taken to act both after filling and during discharge.

(4) The value of p_{vsq} given by Expression (6.13) represents the vertical pressure near the centre of the silo floor. Where support of the floor slab is not uniform, a rational analysis should be used to determine the floor pressure variation.

6.3 Steep hoppers

6.3.1 Mobilized friction

(1) For both filling and discharge conditions, the effective or mobilized wall friction coefficient in Expression (6.8) should be taken as

where:

μ_h is the lower characteristic value of wall friction coefficient in the hopper.

6.3.2 Навантаження від заповнення

(1) В умовах заповнення середній вертикальний тиск p_v на будь-якому рівні x крутої воронки слід визначати за формулами (6.7) і (6.8) з параметром $F = F_f$, який визначається за формулою:

$$F_f = 1 - \frac{b}{\left(1 + \frac{\tan \beta}{\mu_h}\right)} \quad (6.17)$$

Параметр n у формулі (6.8) розраховується за формулою

$$n = S(1 - b)\mu_h \cot \beta \quad (6.18)$$

де

b – емпіричний коефіцієнт, $b = 0,2$.

Інші параметри визначаються за 6.1.2 (6).

(2) Нормальний тиск p_{nf} , і дотичний тиск тертя p_{tf} в будь-якій точці стінки крутої воронки після заповнення (див. рису-

6.3.2 Filling loads

(1) Under tilling conditions, the mean vertical stress p_v in the stored solid at any level in a steep hopper should be determined using Expressions (6.7) and (6.8), with the value of the parameter F given by $F = F_f$ with F_f as:

The parameter n (see Expression (6.8)) is then given by:

where:

b is an empirical coefficient: $b = 0,2$.

The other parameters are defined in 6.1.2 (6).

(2) The normal pressure p_{nf} and frictional traction p_{tf} at any point on the wall of a steep hopper after filling (see Figure 6.2) should be de-

нок 6.2) слід визначати за формулами:

$$p_{nf} = F_f P_v \quad (6.19)$$

$$p_{ff} = \mu_h F_f P_v \quad (6.20)$$

де F_f – визначається за формулою (6.17).

termed as:

where F_f is given by Expression (6.17).

6.3.3 Навантаження при вивантаженні

(1) В умовах вивантаження середній вертикальний тиск в матеріалі на будь-якому рівні x крутої воронки слід визначати за формулами (6.7) і (6.8) з параметром $F = F_e$.

(2) Значення F_e допускається розраховувати з використанням основного методу за формулою (6.21) або альтернативним методом по G.10:

$$F_e = \frac{1 + \sin \varphi_i \cos \varepsilon}{1 - \sin \varphi_i \cos(2\beta + \varepsilon)} \quad (6.21)$$

де

in which:

$$\varepsilon = \varphi_{wf} + \sin^{-1} \left\{ \frac{\sin \varphi_{wh}}{\sin \varphi_i} \right\} \quad (6.22)$$

$$\varphi_{wf} = \tan^{-1} \mu_h \quad (6.23)$$

де

where:

μ_h нижнє характеристичне значення коефіцієнта тертя об стінки воронки;

μ_h is the lower characteristic value of wall friction coefficient in the hopper;

φ_i кут внутрішнього тертя матеріалу що зберігається.

φ_i is the angle of internal friction of the stored solid.

Примітка 1. Слід зазначити, що завжди $\varphi_{wh} \leq \varphi_i$, так як матеріал буде розриватися усередині, якщо ковзання матеріалу при контакті зі стінкою потребує більше напруження зсуву, ніж може забезпечити внутрішнє тертя.

NOTE 1: It should be noted that $\varphi_{wh} \leq \varphi_i$ always, since the material will rupture internally if slip at the wall contact demands a greater shear stress than the internal friction can sustain.

Примітка 2. Наведена вище формула (6.21) для F_e ґрунтується на простій теорії Валькера для тисків при вивантаженнях. Також можна використовувати альтернативну формулу Енстада для F_e , наведену в G.10.

NOTE 2: The above Expression (6.21) for F_e is based on the simple theory of Walker for discharge pressures. The alternative expression of Enstad for F_e set out in G.10, may alternatively be used.

(3) Нормальний тиск p_{ne} , і дотичний тиск тертя p_{te} в кожній точці стінки крутої воронки при розвантаженні слід визначати за формулами:

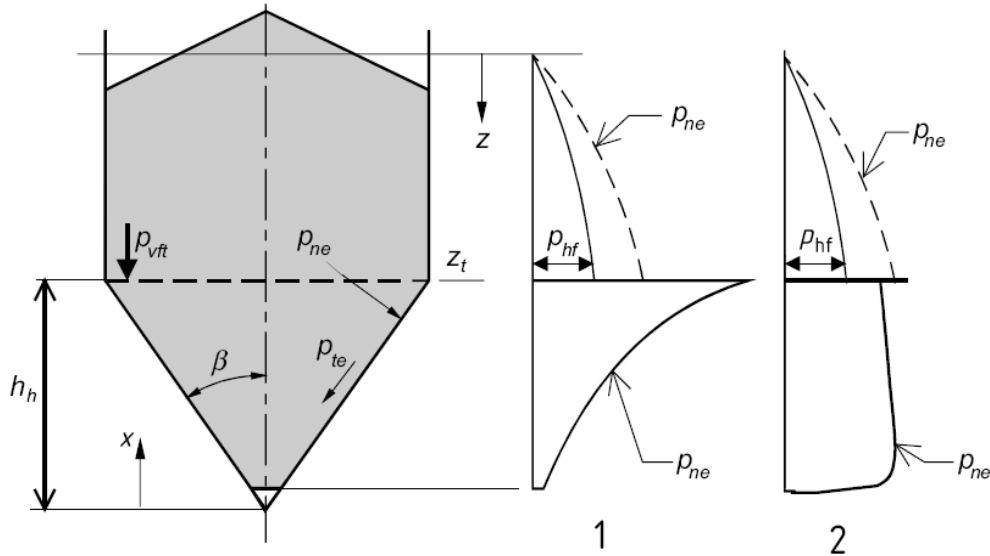
(3) The normal pressure p_{ne} and frictional traction p_{te} (see Figure 6.4) at any point on the wall of a steep hopper during discharge should be determined as:

$$p_{ne} = F_e p_v \tag{6.24}$$

$$p_{te} = \mu_h F_e p_v \tag{6.25}$$

при цьому F_e визначається по (2).

where F_e is obtained as defined in (2).



Роз'яснення

1 Крута воронка

2 Полога воронка

Key

1 Steep

2 Shallow

Рисунок 6.4 – Розподіл тисків при вивантаженні в крутій і пологій воронках

Figure 6.4: Discharge pressures in steep and shallow hoppers

6.4 Пологі воронки

6.4.1 Мобілізоване тертя

(1) В пологій воронці тертя об стінки реалізується не повністю. Реалізований або ефективний коефіцієнт тертя об стінки визначається за формулою:

$$\mu_{heff} = \frac{(1 - K)}{2 \tan \beta} \tag{6.26}$$

де

K нижнє характеристичне значення коефіцієнта бокового тиску для вертикального ствола (див. таблицю 3.1);

β половина кута вершини воронки (див. рисунок 6.2).

6.4 Shallow hoppers

6.4.1 Mobilized friction

(1) In a shallow hopper, the wall friction is not fully mobilized. The mobilized or effective wall friction coefficient should be determined as:

where:

K is the lower characteristic value of lateral pressure ratio for the vertical section (see table 3.1);

β is the half angle of the hopper (see Figure 6.2).

6.4.2 Навантаження від заповнення

(1) В умовах заповнення середній вертикальний тиск в матеріалі що зберігається на будь-якому рівні пологої воронки слід визначати за формулами (6.7) і (6.8) з параметром $F = F_f$, який визначається як:

$$F_f = 1 - \left\{ b / (1 + \tan \beta / \mu_{heff}) \right\} \quad (6.27)$$

Параметр n у формулі (6.8) розраховується за формулою

$$n = S(1 - b)\mu_h \cot \beta \quad (6.28)$$

де

μ_{heff} реалізований чи ефективний коефіцієнт тертя об стінки пологої воронки за формулою (6.26);

b емпіричний коефіцієнт, $b = 0,2$.

Інші параметри визначаються за 6.1.2 (6).

(2) Нормальний тиск p_{ne} , і дотичний тиск тертя p_{te} в кожній точці стінки пологої воронки після заповнення слід визначати за формулами:

$$p_{ne} = F_e p_v \quad (6.29)$$

$$p_{te} = \mu_h F_e p_v \quad (6.30)$$

де

F_f – визначається за формулою (6.27).

6.4.3 Навантаження при вивантаженні

(1) У пологих воронках в умовах вивантаження (див. рисунок 6.4) нормальний тиск і дотичний тиск тертя допускається приймати такими ж, як і від заповнення (див. 6.4.2).

6.5 Воронки в бункерах, що містять матеріал зі змішаним повітрям

(1) Р воронки в яких знаходиться матеріал в цілому або частково в псевдозрідженому стані внаслідок змішування з повітрям, необхідно розраховувати на додатковий тиск, що виникає від псевдозрідження і тиску повітря.

6.4.2 Filling loads

(1) Under filling conditions, the mean vertical stress in the stored solid at any level of a shallow hopper should be determined using Expressions (6.7) and (6.8), with the value of the parameter F given by:

$$F_f = 1 - \left\{ b / (1 + \tan \beta / \mu_{heff}) \right\} \quad (6.27)$$

The parameter n (see Expression (6.8)) is then given by:

$$n = S(1 - b)\mu_h \cot \beta \quad (6.28)$$

where:

μ_{heff} is the mobilized or effective wall friction coefficient in the shallow hopper (see Expression (6.26));

b is an empirical coefficient: $b = 0,2$.

The other parameters are defined in 6.1.2 (6).

(2) The normal pressure p_{ne} and frictional traction p_{te} at any point on the wall of a shallow hopper after filling (see Figure 6.2) should be determined as:

$$p_{ne} = F_e p_v \quad (6.29)$$

$$p_{te} = \mu_h F_e p_v \quad (6.30)$$

where:

F_f is given by Expression (6.27).

6.4.3 Discharge loads

(1) In shallow hoppers under discharge conditions (see Figure 6.4), the normal pressure and frictional traction may be taken as identical to the values on filling (see 6.4.2).

6.5 Hoppers in silos containing solids with entrained air

(1) P Hoppers in which it is possible for the stored solid to be fully or partially fluidized as a consequence of the entrainment of air shall be designed for the additional pressures that may arise due to fluidization and air pressure.

(2) Розрахункові тиски повинні визначатися за 5.5.2 без тиску тертя об стінки воронки.

(2) The design pressures should be evaluated as defined in 5.5.2 with no frictional traction on the hopper wall.

7 Навантаження на резервуари від рідин

7.1 Загальні положення

(1) Р Для визначення характеристичних значень тисків від рідин, що зберігаються в резервуарах, необхідно використовувати нижченаведені правила.

Примітка 1. Ці правила дійсні для статичних умов у всіх видах резервуарів. Резервуари, в яких відбуваються динамічні явища, не включені в цей стандарт.

Примітка 2. Перелік основних впливів, часткових коефіцієнтів і комбінацій впливів на резервуари допускається приймати за додатком В.

7.2 Навантаження від рідин, що зберігаються

(1) Навантаження від рідин повинні розраховуватися з урахуванням:

- призначених типів рідин, які повинні зберігатися в резервуарі;
- геометрії резервуара;
- максимальної можливої висоти рідини в резервуарі.

(2) Характеристичне значення тиску p повинне визначатися за формулою

$$p(z) = \gamma z \quad (7.1)$$

де

z глибина від поверхні рідини;

γ питома вага рідини.

7.3 Характеристики рідин

(1) Слід використовувати значення щільності, зазначені в ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1, додаток А.

7.4 Розрідження внаслідок недостатньої вентиляції

(1)Р Якщо вентиляційна система резервуара схильна до блокування або затримки повітря, то необхідно застосовувати відповідний метод розрахунку для визначення тиску вакууму при вивантаженні резервуару на максимальній швидкості. Розрахунок повинен враховувати можливі адіабатичні властивості цього процесу.

Section 7 Loads on tanks from liquids

7.1 General

(1)P The following rules shall be used to determine the characteristic values of pressure loads from the liquid stored in tanks.

NOTE 1: These rules are valid for static conditions in all types of tanks, but tanks in which dynamic phenomena may occur are not included.

NOTE 2: A list of relevant actions, partial factors and combinations of actions on tanks may be found in Annex B.

7.2 Loads due to stored liquids

(1) Loads due to liquids should be calculated after considering:

- a defined range of liquids to be stored in the tank;
- the geometry of the tank;
- the maximum possible depth of liquid in the tank.

(2) The characteristic value of pressure p should be determined as:

where:

z is the depth below the liquid surface;

γ is the unit weight of the liquid.

7.3 Liquid properties

(1) The densities given in EN 1991-1-1, Annex A should be used.

7.4 Suction due to inadequate venting

(1)P Where the venting system to a tank may be susceptible to blockage or impediment, a rational analysis shall be used to determine die suction pressures arising during tank discharge at the peak rate. This analysis shall consider the possible adiabatic nature of the process.

ДОДАТОК А (довідковий)

ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ – ПОЛОЖЕННЯ НА ДОДАТОК ДО ДСТУ-Н Б EN 1990 ДЛЯ БУНКЕРІВ І РЕЗЕРВУАРІВ

Редакційна примітка. Цей додаток є інформативним і буде перенесено в ДСТУ-Н Б EN 1990 після офіційного затвердження

A.1 Загальні положення

(1) Для методів розрахунку обов'язково використовується формат, заданий в ДСТУ-Н Б EN 1990. Однак бункери та резервуари істотно відрізняються від багатьох інших конструкцій, оскільки більшу частину свого терміну служби піддаються повним навантаженням від сипких матеріалів і рідин.

(2) Цей додаток дає додаткові положення для бункерів і резервуарів щодо часткових коефіцієнтів до впливів (коефіцієнти γ_F) і комбінацій впливів з відповідними коефіцієнтами ψ .

(3) Температурні впливи включають кліматичні дії та впливи від гарячого сипкого матеріалу. Повинні враховуватися наступні розрахункові ситуації:

- гарячий сипучий матеріал або рідина, що завантажуються в частково заповнений бункер або резервуар. При цьому повинне враховуватися вплив гарячого повітря над матеріалом;
- опір сипкого матеріалу стисненню стінок бункера при охолодженні.

(4) Визначення впливу нерівномірного осідання для батареї бункерів або резервуарів повинно ґрунтуватися на найбільш несприятливій комбінації заповнених і порожніх частин.

A.2 Абсолютний граничний стан

A.2.1 Часткові коефіцієнти γ

(1) Значення зазначені у А.1 ДСТУ-Н Б EN 1990, допускається використовувати для розрахунку бункерів і резервуарів.

ANNEX A (Informative)

BASIS OF DESIGN – SUPPLEMENTARY PARAGRAPHS TO EN 1990 FOR SILOS AND TANKS

EDITORIAL NOTE: This annex is for information only and will be transferred to EN 1990 after Formal Vote.

A.1 General

(1) In principle the general format given in EN 1990 for design procedures is applicable. However silos and tanks are different to many other structures because they may be subjected to the full loads from particulate solids or liquids for most of their life.

(2) This annex provides supplementary guidance applicable to silos or tanks regarding partial factors on actions γ_F factors) and on combinations on silos and tanks with other actions; and the relevant ψ factors.

(3) Thermal actions include climatic effects and the effects of hot solids. Design situations that should be considered include:

- hot solid or liquid filled into a partly filled silo or tank. The effects of heated air above the stored material should be considered;
- resistance of the stored solid to silo wall contraction during cooling.

(4) Determination of the effect of differential settlements of batteries of silo or tank cells should be based on the worst combination of full and empty cells.

A.2 Ultimate limit state

A.2.1 Partial factors γ

(1) The values given in EN 1990, A. 1 may be used for the design of silos and tanks.

(2) Якщо точно відома максимальна висота заповнення і питома вага найбільш важкої рідини що зберігається, то частий коефіцієнт γ_F допускається знижувати з 1,50 до 1,35.

A.2.2 Комбінаційні коефіцієнти ψ

Комбінаційні коефіцієнти ψ для навантажень на бункери та резервуари і комбінаційні коефіцієнти для інших впливів наведені в А.4.

A.3 Впливи для комбінацій

(1) При розрахунку бункера по абсолютним граничним станам повинні враховуватися наступні впливи:

- заповнення і зберігання сипких матеріалів (називаються навантаженнями від заповнення в ДСТУ-Н Б EN 1991-4);
- вивантаження сипких матеріалів (називається навантаженнями при вивантаженні в ДСТУ-Н Б EN 1991-4);
- тимчасові навантаження (див. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1);
- снігові навантаження (див. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-3);
- вітрові навантаження для випадків заповненого і порожнього бункера (див. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4);
- температурні впливи (див. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-5);
- вимушені деформації: осідання основи (див. ДСТУ-Н Б EN 1997);
- сейсмічні навантаження (див. ДСТУ-Н Б EN 1998);
- навантаження від вибуху пилу.

A.4 Розрахункові ситуації і комбінації впливів для класів впливів 2 і 3

(1) Домінуючий вплив і постійний вплив мають входити в кожен випадок нагрюження зі своїми повними значеннями, а супутні

(2) If the maximum depth of liquid and the unit weight of the heaviest stored liquid are defined, the value of the partial factor γ_F may be reduced from 1,50 to 1,35.

A.2.2 Combination factors ψ

(1) For the combination factors ψ for silo loads and tank loads and combination factors with other actions, see A.4.

A.3 Actions for combination

(1) The following actions should be considered in the ultimate limit state design of the silo:

- filling and storage of particulate solids (referred to as filling loads in EN 1991-4);
- discharge of particulate solids (referred to as discharge loads in EN 1991-4);
- imposed loads (see EN 1991-1-1);
- snow loads (see EN 1991-1-3);
- -wind action when the silo is either full or empty (see EN 1991-1-4);
- thermal loads (see EN 1991-1-5);
- imposed deformations: foundation settlement (see EN 1997);
- seismic loads (see EN 1998);
- dust explosion loads.

A.4 Design situations and action combinations for Action Assessment Classes 2 and 3

(1) The dominant action and the permanent action should be taken at their full value in each load case, but the accompanying actions may

впливи допускається зменшувати на комбінаційний коефіцієнт ψ , для врахування зниженої ймовірності одночасної появи у відповідності з ДСТУ-Н Б EN 1990. Комбінації повинні обиратися відповідно до правил ДСТУ-Н Б EN 1990.

(2) В усіх наведених комбінаціях навантажень повинні прийматися комбінаційний коефіцієнт $\psi_{0,1} = 1,0$ і понижуючий коефіцієнт $\zeta_I = 0,9$.

(3) Якщо домінуючий вплив є сейсмічним або аварійним, допускається приймати супутні навантаження від матеріалу з використанням тільки середніх значень коефіцієнта тертя по стінці μ_m , коефіцієнта бокового тиску K_m і коефіцієнта тиску в воронці F_m для збереженого сипкого матеріалу що зберігається, за умови застосування відповідних методик по 5.2, 5.3 та 6.1

Примітка. Значення ψ можуть бути встановлені в національному додатку. Значення і комбінації, зазначені в таблицях А.1, А.2, А.3, А.4, А.5, є рекомендованими значеннями разом із супутніми впливами 2 і 3, зменшеними за рахунок відповідного їм комбінаційного коефіцієнта ψ .

be reduced by the combination factor ψ to account for the reduced probability of simultaneous occurrence in accordance with EN 1990. Combinations should be chosen in accordance with the rules of EN 1990.

(2) The combination factor $\psi_{0,1}$ should be taken as 1.0 and $\zeta_I = 0,9$ in all the above load combinations.

(3) Where the dominant action is seismic or accidental, the accompanying solids loading may be obtained using the single value of the mean wall friction coefficient μ_m , the mean lateral pressure ratio K_m and the mean hopper pressure ratio F_m for the stored particulate solid provided the appropriate procedures in 5.2, 5.3 and 6.1 are adopted.

NOTE: The values of ψ may be set by the National Annex. The values and combinations given in Tables A.1, A.2, A.3, A.4 and A.5 are recommended values, with Accompanying Actions 2 and 3 reduced by their appropriate combination factors ψ .

Таблиця А.1 – Розрахункові ситуації, що розглядаються, і комбінації впливів
Table A.1 – Design situations and action combinations to be considered

Короткі позначки	Розрахункова ситуація / домінуючий вплив 1	Постійні впливи	Супутній вплив 2	$\psi_{0,2}$	Супутній вплив 3	$\psi_{0,3}$
Short title	Design situation/ Dominant action 1	Permanent actions	Accompanying Action 2	$\psi_{0,2}$	Accompanying Action 3	$\psi_{0,3}$
1	2	3	4	5	6	7
D	Вивантаження матеріалу	Власна вага	Осідання фундаменту	1,0	Сніг або вітер або температурні навантаження	0,6
	Solids discharge	Self weight	Foundation settlement		Snow or wind or thermal	
					Тимчасові навантаження або деформації	0,7
					Imposed loads or deformation	

Кінець таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7
I	Корисне навантаження або деформації	Власна вага	Заповнення матеріалом	1,0	Сніг або вітер або температурні навантаження	0,6
	Imposed loads or deformation	Self weight	Solids filling		Snow or wind or thermal	
S	Сніг	Власна вага	Заповнення матеріалом	1,0		
	Snow	Self weight	Solids filling			
WF	Вітер і заповнений бункер	Власна вага	Заповнення матеріалом	1,0		
	Wind and full silo	Self weight	Solids filling			
WE	Вітер і порожній бункер	Власна вага	Матеріал, порожній бункер	0,0		
	Wind and empty silo	Self weight	Solids empty			
T	Температурні навантаження	Власна вага	Заповнення матеріалом	1,0		
	Thermal	Self weight	Solids filling			
F	Осідання фундаменту	Власна вага	Вивантаження матеріалу	1,0	Сніг або вітер або температурні навантаження	0,6
	Foundation settlement	Self weight	Solids discharge		Snow or wind or thermal	
				$\psi_{2,2}$		$\psi_{2,3}$
E	Вибух	Власна вага	Заповнення матеріалом	0,9	Тимчасові навантаження або деформації	0,3
	Explosion	Self weight	Solids filling		Imposed loads or deformation	
V	Удар транспортного засобу	Власна вага	Навантаження від заповнення матеріалом	0,8	Тимчасові навантаження або деформації	0,3
	Vehicle impact	Self weight	Solids filling		Imposed loads or deformation	

Примітка 1. Ця таблиця посилається на терміни в правилах комбінації навантажень з розділу 6 ДСТУ-Н Б EN 1990.

NOTE 1: This table refers to terms in the load combination rules of Section 6 in EN 1990.

Примітка 2. Нижні індекси ψ вживаються у такому значенні: перший індекс означає тип розрахункової ситуації: 0 - характеристична комбінація; 1 – часткова комбінація; 2 – квазіпостійна комбінація. Другий індекс відноситься до номера навантаження в комбінації.

NOTE 2: The subscripts of ψ have the following significance: first subscript is for the type of design situation: normal combination values are 0; frequent values are 1; quasi-permanent values are 2, The second subscript refers to the load number in the combination.

Таблица А.2 – «Звичайні» граничні стани за несучою здатністю - розрахункові ситуації і комбінації впливів, що розглядаються
 Table А.2 – «Ordinary» ultimate limit state ("Ordinary" ULS) - design situations and action combinations to be considered

Короткі позначки	Розрахункова ситуація/ домінуючий змінний вплив	Постійні впливи		Провідний змінний вплив		Супутній змінний вплив 1 (основний)		Супутній змінний вплив 2		Супутній змінний вплив 3, 4 і т. і	
		Short title	Design situation / Leading variable action	Permanent actions	Leading variable action	Accompanying variable action 1 (main)	Accompanying variable action 2	Accompanying variable action 3,4. etc.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D	Вивантаження матеріалу	Власна вага	0,9	(див. Наступний стовпчик, «основне») (See next column, "main")	Вивантаження матеріалу	1,0	Осідання фундаменту	0,7	Сніг, вітер, температурні навантаження	0,6	
	Solids discharge	Self weight									Solids discharge
									Тимчасові навантаження, тимчасові деформації	0,7	
I	Тимчасові деформації	Власна вага	0,9		Заповнення матеріалом	1,0	Тимчасові деформації	0,7	Сніг, вітер, температурні навантаження	0,6	
	Imposed deformation	Self weight									Solids filling
									Тимчасові навантаження	0,7	
S	Сніг	Власна вага	0,9		Заповнення матеріалом	1,0	Сніг	0,6	Тимчасові навантаження	0,7	
	Snow	Self weight									Solids filling

Кінець таблиці А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
WF	Вітер і заповнений бункер	Власна вага	0,9			Заповнення матеріалом, заповнений бункер	1,0	Вітер	0,6	Тимчасові навантаження	0,7
	Wind and Hi 11 silo							Self weight			
WE	Вітер і порожній бункер	Власна вага	0,9			Матеріал, порожній бункер	0,0	Вітер	0,6	Тимчасові навантаження	0,7
	Wind and empty silo							Self weight			
T	Температурні навантаження	Власна вага	0,9			Заповнення матеріалом	1,0	Температурні навантаження	0,6	Тимчасові навантаження	0,7
	Thermal							Self weight			

Примітка. Дана таблиця повинна використовуватися для формул (6.10a) і (6.10b) 6.4.3.2 ДСТУ-Н Б EN 1990.

NOTE: Table A.2 should be used with Expressions (6.10a) and (6.10b) in EN 1990,6.4.3.2.

Таблиця А.3 – Аварійні граничні стани за несучою здатністю – розрахункові ситуації і комбінації впливів, що розглядаються

Table A.3 – «Accidental» ultimate limit state ("Accidental" ULS) - design situations and action combinations to be considered

Короткі позначки	Розрахункова ситуація/домінуючий змінний вплив	Постійні впливи		Домінуючий змінний вплив		Супутній змінний вплив 1 (основний)		Супутній змінний вплив 2		Супутній змінний вплив 3, 4 і т. і	
		Опис		Опис		Опис	$\psi_{1,1}$ або $\psi_{2,1}$	Опис	$\psi_{2,2}$	Опис	$\psi_{2,3}$ $\psi_{2,4}$ і т. і.
Short title	Design situation / Leading variable action	Permanent actions		Leading accidental action		Accompanying variable action 1 (main)		Accompanying variable action 2		Accompanying variable action 3, 4, etc.	
		Description		Description		Description	$\psi_{1,1}$ or $\psi_{2,1}$	Description	$\psi_{2,2}$	Description	$\psi_{2,3}$ $\psi_{2,4}$ etc
E	Вибух	Власна вага		Тиск вибуху		Заповнення матеріалом	0,9 або 0,8	Тимчасові деформації	0,3	Тимчасові навантаження	0,3
	Explosion	Self weight		Blast pressure		Solids filling		Imposed deformation		Imposed loads	
V	Удар транспортного засобу	Власна вага		Удар транспортного засобу		Заповнення матеріалом	0,9 або 0,8	Тимчасові деформації	0,3	Тимчасові навантаження	0,3
	Vehicle impact	Self weight		Vehicle impact		Solids filling		Imposed deformation		Imposed loads	

Примітка. Дана таблиця повинна застосовуватися з використанням формули (6.11b) 6.4.3.3 ДСТУ-Н Б EN 1990.

NOTE: Table A.3 should be used with Expression (6.11b) in EN 1990,6.4.3.3.

Таблиця А.4 – «Сейсмічні» граничні стани за несучою здатністю - розрахункові ситуації і комбінації впливів що розглядаються
 Table A.4 – «Seismic» ultimate limit state ("Seismic" ULS) - design situations and action combinations to be considered

Короткі позначки	Розрахункова ситуація/домінуючий змінний вплив	Постійні впливи		домінуючий змінний вплив		Супутній змінний вплив 1 (основний)		Супутній змінний вплив 2		Супутній змінний вплив 3, 4 і т. і	
		Опис		Опис		Опис	$\psi_{2,1}$	Опис	$\psi_{2,2}$	Опис	$\psi_{2,3}$ $\psi_{2,4}$ і т.і
Short title	Design situation / Leading variable action	Permanent actions		Leading accidental action		Accompanying variable action 1 (main)		Accompanying variable action 2		Accompanying variable action 3, 4, etc.	
		Description		Description		Description	$\psi_{2,1}$	Description	$\psi_{2,2}$	Description	$\psi_{2,3}$ $\psi_{2,4}$ etc
SF	Сейсмічний вплив і заповнений бункер	Власна вага		Сейсмічний вплив (землетрус)		Заповнення матеріалом, заповнений бункер	0,8	Тимчасові деформації	0,3	Тимчасові навантаження	0,3
	Seismic action and full silo	Self weight		Seismic action (earthquake)		Solids filling, full silo		Imposed deformation		Imposed loads	
SE	Сейсмічний вплив і порожній бункер	Власна вага		Сейсмічний вплив (землетрус)		Матеріал, порожній бункер	0,8	Тимчасові деформації	0,3	Тимчасові навантаження	0,3
	Seismic action and empty silo	Self weight		Seismic action (earthquake)		Solids, empty silo		Imposed deformation		Imposed loads	

Примітка. Дана таблиця повинна застосовуватися з використанням формули (6.12b) 6.4.3.4 ДСТУ-Н Б EN 1990 і відповідних формул з ДСТУ-Н Б EN 1998-1 і ДСТУ-Н Б EN 1998-4.
 NOTE: Table A.4 should be used with Expression (6.12b) in EN 1990, 6.4.3.4 and those of EN 1998-1 and EN 1998-4

A.5 Комбінації впливів для класу впливів 1

(1) Для бункерів класу впливів 1 допускається приймати наступні спрощені розрахункові ситуації:

- заповнення;
- вивантаження;
- вітер при порожньому бункері;
- вітер при заповненому бункері;
- сніг (для даху);

(2) Для вітрового навантаження дозволено застосування спрощених правил з ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4.

A.5 Action combinations for Action Assessment Class 1

(1) The following simplified design situations may be considered for silos in Action Assessment Class 1:

- filling;
- discharge;
- wind when empty;
- filling with wind;
- snow (for the roof).

A simplified treatment of wind loading is permitted according to rules of EN 1991-1-4.

Таблиця А.5 – Граничний стан експлуатаційної придатності – розрахункові ситуації і комбінації впливів, що розглядаються

Table A.5 – Serviceability limit state (SLS) - design situations and action combinations to be considered

Короткі позначки	Розрахункова ситуація/домінуючий змінний вплив	Постійні впливи		Домінуючий змінний вплив		Супутній змінний вплив 1 (основний)		Супутній змінний вплив 2		Супутній змінний вплив 3, 4 тощо	
		Опис		(див. наступний стовпчик, «основне»)		Опис	$\psi_{1,1}$ або $\psi_{2,1}$	Опис	$\psi_{0,2}$ або $\psi_{2,2}$	Опис	$\psi_{0,3}$ $\psi_{0,4}$ або $\psi_{2,3}$ $\psi_{2,4}$ і т.і.
Short title	Design situation / Leading variable action	Permanent actions		Leading variable action		Accompanying variable action 1 (main)		Accompanying variable action 2		Accompanying variable action 3,4. etc.	
		Description		(See next column, "main")		Description	$\psi_{1,1}$ or $\psi_{2,1}$	Description	$\psi_{0,2}$ or $\psi_{2,2}$	Description	$\psi_{0,3}$ $\psi_{0,4}$ etc $\psi_{2,3}$ $\psi_{2,4}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D	Вивантаження матеріалу	Власна вага				Вивантаження матеріалу	0,9 or 0,8	Осідання фундаменту	0,7 01 0,3	Сніг, вітер, температурні навантаження	0,6 or 0,0
	Solids discharge	Self weight				Solids discharge		Foundation settlement		Snow, wind, thermal	
										Тимчасові навантаження, тимчасові деформації	0,7 01 0,3
										Imposed loads, imposed deformation	
I	Тимчасові деформації	Власна вага				Заповнення матеріалом	0,9 or 0,8	Тимчасові деформації	0,7 or 0,3	Сніг, вітер, температурні навантаження	0,6 01 0,0
	Imposed deformation	Self weight				Solids filling		Imposed deformation		Snow, wind, thermal	
										Тимчасові навантаження	0,7 or 0,3
										Imposed loads	

Кінець таблиці А.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S	Сніг	Власна вага				Заповнення матеріалом	0,9 or 0,8	Сніг	0,6 or 0,0	Тимчасові навантаження	0,7 or 0,3
	Snow	Self weight				Solids filling		Snow		Imposed loads	
WF	Вітер і повний бункер	Власна вага				Заповнення матеріалом, повний бункер	0,9 or 0,8	Вітер	0,6 or 0,0	Тимчасові навантаження	0,7 or 0,3
	Wind and full silo	Self weight				Solids filling, full silo		Wind		Imposed loads	
WE	Вітер і порожній бункер	Власна вага				Матеріал, порожній бункер	0,0	Вітер	0,6 or 0,0	Тимчасові навантаження	0,7 or 0,3
	Wind and empty silo	Self weight				Solids, empty silo		Wind		Imposed loads	
	Температурні навантаження	Власна вага				Заповнення матеріалом		Температурні навантаження		Тимчасові навантаження	
T	Thermal	Self weight				Solids filling	0,9 or 0,8	Thermal	0,6 or 0,0	Imposed loads	0,7 or 0,3

Примітка. Дана таблиця повинна використовуватися з формулами (6.14b), (6.15b) і (6.16b) 6.5.3 ДСТУ-Н Б EN 1990, наступним чином:

NOTE: Table A.5 should be used with Expressions (6,14b), (6,15b) and (6,16b) in EN 1990, 6,5,3 as follows:

характеристичні комбінації, формула (6.14b):

характеристичні комбінації зазвичай використовуються для незворотних граничних станів;

Characteristic combination, Expression (6.14b):

The characteristic combination is normally used for irreversible limit states.

часті комбінації, формула (6.15b):

часті комбінації звичайно використовуються для оборотних граничних станів;

Frequent combination, Expression (6.15b):

The frequent combination is normally used for reversible limit states.

квазіпостійні комбінації, формула (6.16b):

квазіпостійні комбінації зазвичай застосовуються для тривалих впливів і зовнішнього виду конструкцій.

Quasi-permanent combination. Expression (6.16b):

The quasi-permanent combination is normally used for long-term effects and the appearance of the structure.

ДОДАТОК В (довідковий)

ВПЛИВИ, ЧАСТКОВІ КОЕФІЦІЄНТИ І КОМБІНАЦІЇ ДЛЯ РЕЗЕРВУАРІВ

Редакційна примітка. Цей додаток є інформативним і буде перенесено в ДСТУ-Н Б EN 1990 після офіційного затвердження

В.1 Загальні положення

(1)P При розрахунку необхідно враховувати характеристичні значення впливів, наведених в В.2.1–В.2.14.

(2) Для цих характеристичних значень слід застосовувати часткові коефіцієнти до впливів згідно В.3 і правила для комбінацій впливів згідно В.4.

В.2 Впливи

В.2.1 Навантаження від рідин

(1)P При роботі в якості навантаження від заповнення необхідно приймати вагу продукту що зберігається, від максимального розрахункового рівня рідини до порожнього стану.

(2)P При випробуваннях в якості навантаження від заповнення необхідно приймати вагу рідини, що використовується при випробуваннях, від максимального рівня рідини при випробуваннях до порожнього стану.

В.2.2 Навантаження від внутрішнього тиску

(1)P При роботі в якості навантажень від внутрішнього тиску необхідно приймати навантаження від призначеного мінімального та максимального внутрішнього тиску.

(2)P При випробуваннях в якості навантажень від внутрішнього тиску необхідно приймати навантаження від призначеного мінімального та максимального внутрішнього тиску при випробуваннях.

В.2.3 Температурні навантаження

(1) Напруження від обмеження температур-

ANNEX B (Informative)

ACTIONS, PARTIAL FACTORS AND COMBINATIONS OF ACTIONS ON TANKS

EDITORIAL NOTE: This annex is for information only and will be transferred to EN 1990 after Formal Vote.

B.1 General

(1)P The design shall take account of the characteristic values of the actions listed in B.2.1 to B.2.14.

(2) The partial factors on actions according to B.3 and the action combination rules according to B.4 should be applied to these characteristic values.

B.2 Actions

B.2.1 Liquid induced loads

(1)P During operation, the load due to the contents shall be the weight of the product to be stored from maximum design liquid level to empty.

(2)P During test, the load due to the contents shall be the weight of the test medium from maximum test liquid level to empty.

B.2.2 Internal pressure loads

(1)P During operation, the internal pressure load shall be the load due to the specified minimum and maximum values of the internal pressure.

(2)P During test, the internal pressure load shall be the load due to the specified minimum and maximum values of the test internal pressure.

B.2.3 Thermally induced loads

(1) Stresses resulting from restraint of thermal

ного розширення припускається не враховувати, якщо число циклів температурного розширення таке, що відсутній ризик багаточиклових або малоциклових втомних пошкоджень.

В.2.4 Навантаження від власної ваги

(1) Р Навантаження від власної ваги резервуара повинне враховувати вагу всіх складових частин резервуара і всіх елементів, прикріплених до нього постійно.

(2) Числові значення слід приймати за ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1, додаток А.

В.2.5 Навантаження від ізоляції

(1)Р В якості навантаження від ізоляції необхідно приймати власну вагу ізоляції.

(2) Числові значення слід приймати за ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1, додаток А.

В.2.6 Розподілені тимчасові навантаження

(1) Розподілені тимчасові навантаження слід приймати за ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1, якщо вони не призначаються замовником.

В.2.7 Зосереджені тимчасові навантаження

(1) Зосереджені тимчасові навантаження слід приймати за ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1, якщо вони не призначаються замовником.

В.2.8 Сніг

(1) Снігові навантаження слід приймати за ДСТУ-Н Б EN 1991-1-3.

В.2.9 Вітер

(1) Вітрові навантаження слід приймати за ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4.

(2) Додатково допускається приймати наступні коефіцієнти тиску для круглих циліндричних резервуарів (див. рисунок В.1):

а) внутрішній тиск для відкритих зверху резервуарів і відкритих зверху прийма-

expansion may be ignored if the number of load cycles due to thermal expansion is such that there is no risk of fatigue failure or cyclic plastic failure.

В.2.4 Self-weight loads

(1)P The self-weight loads on the tank shall be considered as those resulting from the weight of all component parts of the tank and all components permanently attached to the tank.

(2) Numerical values should be taken from EN 1991-1-1, Annex A.

В.2.5 Insulation

(1)P The insulation loads shall be those resulting from the self-weight of the insulation.

(2) Numerical values should be taken from EN 1991-1-1, Annex A.

В.2.6 Distributed imposed load

(1) The distributed imposed load should be taken from EN 1991-1-1 unless specified by the client.

В.2.7 Concentrated imposed load

(1) The concentrated imposed load should be taken from EN 1991-1-1 unless specified by the client.

В.2.8 Snow

(1) The loads should be taken from EN 1991-1-3.

В.2.9 Wind

(1) The loads should be taken from EN 1991-1-4.

(2) In addition, the following pressure coefficients may be used for circular cylindrical tanks, see figure B.1;

a) internal pressure of open top tanks and open top catch basin: $c_p = -0,6$.

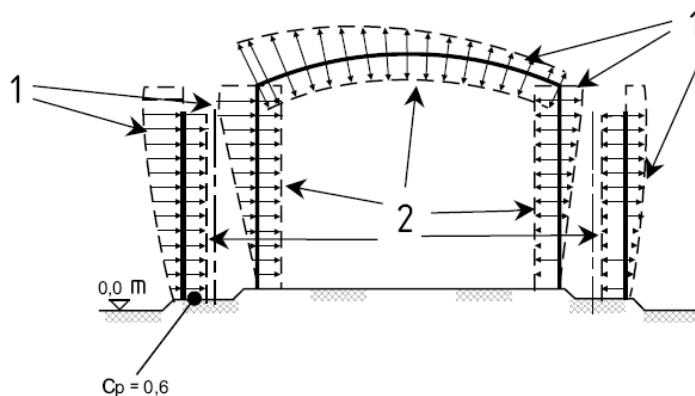
льних басейнів: $c_p = -0,6$;

b) внутрішній тиск для вентильованих резервуарів з малими отворами: $c_p = -0,4$;

c) якщо є приймальний басейн, то зовнішній тиск на оболонку резервуара припускається приймати таким, що зменшується лінійно по висоті.

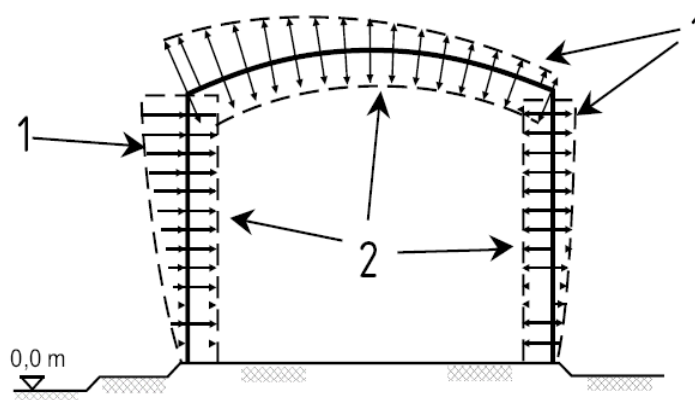
b) internal pressure of vented tanks with small openings: $c_p = -0,4$.

c) where there is a catch basin, the external pressure on the tank shell may be assumed to reduce linearly with height.



a - резервуар з приймальним басейном

a) Tank with catch basin



b - резервуар без приймального басейну

b) Tank without catch basin

Роз'яснення

1 C_p по ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4

2 $C_p = 0,4$ тільки для резервуара з вентиляцією

Key

1 C_p according to EN 1991-1-4

2 $C_p = 0,4$ vented tank only

Рисунок В.1 – Коефіцієнти тиску вітрових навантажень на круглий циліндричний резервуар для рідин

Figure B.1: Pressure coefficients for wind loading on a circular cylindrical tank

(3) Внаслідок тимчасового характеру, для стадії монтажу допускається використовувати знижені вітрові навантаження відповідно до ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4 і ДСТУ-Н Б EN 1991-1-6.

В.2.10 Тиск вакууму внаслідок недостатньої вентиляції

(1) Навантаження від слід приймати за розділом 7.

В.2.11 Сейсмічні навантаження

(1)P Сейсмічні навантаження необхідно приймати по ДСТУ-Н Б EN 1998-4, який також встановлює вимоги до сейсмічного розрахунку.

В.2.12 Навантаження від приєднаних елементів

(1)P Необхідно враховувати навантаження від трубопроводів, засувок і інших елементів, приєднаних до резервуару, і навантаження внаслідок осідання незалежних опор цих елементів відносно фундаменту резервуара. Системи трубопроводів необхідно розробляти таким чином, щоб на резервуар діяли мінімальні навантаження.

В.2.13 Навантаження через нерівномірне осідання

(1) P Навантаження від осідання необхідно враховувати, якщо протягом строку служби резервуара можна очікувати появи нерівномірних осідань.

В.2.14 Аварійні впливи

(1) Ці навантаження повинні враховувати наслідки таких подій, як зовнішня ударна хвиля, удари, зовнішній вогонь, вибух, витіки з внутрішнього резервуара, перекидання і переповнення внутрішнього резервуара.

Примітка. Ці навантаження можуть бути призначені в національному додатку, або замовником для індивідуального проекту.

В.3 Часткові коефіцієнти для впливів

(1)P Для впливів В.2.2 - В.2.14 необхідно використовувати часткові коефіцієнти по ДСТУ-Н Б EN 1990.

(3) Due to their temporary character, reduced wind loads may be used for erection situations according to EN 1991-14 and EN 1991-1-6.

B. 2.10 Suction due to inadequate venting

(1) The loads should be taken from section 7 of this standard.

B. 2.11 Seismic loadings

(1)P The loads shall be taken from EN 1998-4, which also sets out the requirements for seismic design.

B. 2.12 Loads resulting from connections

(1)P Loads resulting from pipes, valves and other items connected to the tank and loads resulting from settlement of independent item supports relative to the tank foundation shall be taken into account. Pipework shall be designed to minimize loadings applied to the tank.

B.2.13 Loads resulting from uneven settlement

(1)P Settlement loads shall be taken into account where uneven settlement can be expected during the lifetime of the tank.

B.2.14 Accidental actions

(1) The loads should include the consequences of events such as external blast, impact, adjacent external fire, explosion, leakage from the inner tank, roll over and overfilling of the inner tank.

NOTE: These loads may be specified in the National Annex, or by the client for the individual project.

B.3 Partial factors for actions

(1)P The partial factors according to EN 1990 shall be applied to the actions B.2.2 to B.2.14.

(2) Рекомендоване значення часткового коефіцієнта для навантажень від рідини при роботі становить (B.2.1 (1) $\gamma_F = 1,20$.

(3) Рекомендоване значення часткового коефіцієнта для навантажень від рідини при випробуваннях становить (B.2.1(2) $\gamma_F = 1,00$.

(4) Для аварійних розрахункових ситуацій рекомендоване значення часткового коефіцієнта для змінних впливів становить $\gamma_F = 1,00$.

В.4 Комбінації впливів

(1)P Необхідно слідувати загальним вимогам ДСТУ-Н Б EN 1990, розділ 6.

(2) Корисні навантаження і снігові навантаження рекомендується не приймати діючими одночасно.

(3) Рекомендується не враховувати сейсмічні навантаження в умовах випробувань.

(4) Рекомендується не враховувати аварійні впливи при випробуваннях, при цьому слід використовувати правила комбінування для аварійних навантажень відповідно до ДСТУ-Н Б EN 1990.

(2) The recommended value of the partial factor for the liquid induced loads during operation (see B.2.1(1) is $\gamma_F = 1,20$.

(3) The recommended value of the partial factor for the liquid induced loads during test (see B.2.1 (2) is $\gamma_F = 1,00$.

(4) For accidental design situations, the recommended value of the partial factor for the variable actions is $\gamma_F = 1,00$.

B.4 Combination of actions

(1)P The general requirements of EN 1990, Section 6 shall be followed.

(2) It is recommended that imposed loads and snow loads need not be considered to act simultaneously

(3) It is recommended that seismic actions need not be considered to act during test conditions.

(4) It is recommended that accidental actions need not be considered to act during test conditions, but that the combination rules for accidental actions given in EN 1990 are applied.

ДОДАТОК С (обов'язковий)

ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИПКОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА БУНКЕР

С.1 Загальні положення

(1) У цьому додатку наводяться методи визначення параметрів матеріалу що зберігається, які вводять в цьому стандарті виключно для розрахунку навантажень на бункер. Ці методи не мають на меті розрахунків і проектування бункера для забезпечення надійного вивантаження матеріалу. Якщо властивості необхідні для оцінки навантажень, то важливими є наступні аспекти: відповідний рівень тисків набагато вище, ніж для оцінки витікання; підготовка зразків повинна відповідати умовам в зонах матеріалу з найбільшими тисками після заповнення; історія навантаження матеріалу, як правило, відрізняється такою, пов'язаною з зупинкою витікання. З цього випливає, що підготовка зразків в деяких ключових моментах відрізняється від підготовки для вимірювання характеристик витікання.

Розподіл упакованих частинок, необхідний для цих випробувань, повинен забезпечувати високі щільності матеріалу що зберігається. Всі параметри, які впливають на тиск в бункері, повинні визначатися в цих умовах, оскільки такий стан для матеріалу є основним станом, що дає верхні характеристичні значення впливів на конструкції бункера.

С.2 Сфера застосування

(1) Методи випробувань, наведені в цьому додатку, призначені для бункерів класу впливів 3 або для матеріалів, відсутніх в таблиці E.1, або як альтернатива спрощеним значенням в таблиці E.1. Стандартні напруження при випробуваннях є вертикальними або горизонтальними, і вони повинні представляти тиск в матеріалі що зберігається в точці переходу, коли бункер знаходиться в повністю заповненому стані.

ANNEX C (Normative)

MEASUREMENT OF PROPERTIES OF SOLIDS FOR SILO LOAD EVALUATION

C.1 Object

(1) This annex describes test methods for the determination of the stored solids parameters introduced in EN 1991-4 for the purposes of silo load evaluation only. These methods are not intended for use in design for reliable discharge. Where the properties are required for load assessment, the following aspects are important: the relevant stress level is much larger than that for flow assessment, the sample preparation must reflect conditions in highly stressed parts of the stored solid after filling, and the stress history of the material is generally different from that associated with flow stoppages. As a result, the sample preparation differs in some key ways from that appropriate to the measurement of flow properties.

The particle packing arrangements sought in these tests should achieve high densities for the stored solid. All the parameters that affect silo pressures should be evaluated under these conditions because this condition for the solid is the reference state for the upper characteristic values of the actions on the silo structure.

C.2 Field of application

(1) The test methods defined here are for use on silos in Action Assessment Class 3. or for a stored solid that is not listed in Table E.1, or as an alternative to the simplified values given in Table E.1. The reference stresses in the tests are either vertical or horizontal and they should be representative of the stresses in the stored solid at the silo transition when the silo is in the full condition.

(2) Методи випробувань можуть бути використані для вимірювання характеристик матеріалу, які мають загальне відношення до розрахунку бункера. Випробування з визначення значень таких характеристик необхідно виконувати, якщо це можна застосувати, з використанням наступних еталонних рівнів тисків:

- a) для представлення вертикальних тисків (див. С.6, С.8 і С.9): стандартне напруження $\sigma_r = 100 \text{ кПа}$;
- b) для представлення горизонтальних тисків (див. С.7.2): стандартне напруження $\sigma_r = 50 \text{ кПа}$.

С.3 Символи

В даному додатку застосовуються наступні символи:

- a поправковий коефіцієнт для характеристики;
- c зчеплення (див. рисунок С.4);
- D внутрішній діаметр коробки;
- F_r залишкова сила зрізу в кінці випробувань для визначення тертя об стінки;
- K_{mo} середнє значення коефіцієнта бокового тиску для гладких стін;
- Δ зміщення верхньої частини зрізної коробки під час випробувань;
- ϕ_i кут внутрішнього тертя, виміряний при навантаженні зразка;
- ϕ_c кут внутрішнього тертя, виміряний при зниженому нормальному тиску;
- μ коефіцієнт тертя між зразком матеріалу і зразком стінки;
- σ_r стандартне напруження;
- τ_a максимальні напруження зрізу, виміряні у випробуваннях на зріз після підвищення нормального тиску (див. рисунок С.4);
- τ_b максимальні напруження зрізу, виміряні у випробуваннях на зріз після зниження нормального напруження (див. рисунок С.4);

(2) The test methods may also be used for the measurement of values of solids properties of general relevance to silo design. Tests to determine such generally relevant values should be carried out, where applicable, using the following reference stress levels:

- a) to represent the vertical pressure (see C.6, C.8 and C.9): reference stress $\sigma_r = 100 \text{ kPa}$
- b) to represent the horizontal pressure (see C.7.2); reference stress $\sigma_r = 50 \text{ kPa}$.

C.3 Notation

For the purpose of this annex the following notation applies:

- a property modification coefficient
- c cohesion (see Figure C.4)
- D cell internal diameter
- F_r residual shear force at end of wall friction test (see Figure C.2b)
- K_{mo} mean lateral pressure ratio for smooth wall conditions
- Δ displacement of top part of shear cell during test
- ϕ_i angle of internal friction measured during loading
- ϕ_c angle of internal friction measured under decreasing normal stresses
- μ coefficient of friction between the sample of solid and the sample of wall
- σ_r reference stress
- τ_a final shear stress measured in a shear test after increasing the normal stress (see Figure C.4)
- τ_b peak shear stress measured in a shear test after decreasing the normal stress (see Figure C.4)

τ напруги зрізу, вимірювані у випробуваннях на зріз.

τ shear stress measured in a shear test.

C.4 Визначення

В даному додатку застосовуються такі визначення:

C.4 Definitions

For the purpose of this annex the following definitions apply.

C.4.1

вторинний параметр:

Будь який параметр, який може вплинути на характеристики матеріалу що зберігається, але не вводиться як основний через мінливість. Вторинними параметрами є: склад, гранулометричний склад, вміст вологи, температура, вік, електричний заряд від переміщення і методи виробництва. Варіації стандартних напружень, зазначених в C.2, повинні розглядатися як вторинні параметри.

C.4.1

secondary parameter

any parameter that may influence stored material properties but is not listed as a primary cause of parameter variation. Secondary parameters include composition, grading, moisture content, temperature, age, electrical charge due to handling, and production method. Variations in the reference stresses mentioned in C.2 should each be considered as a secondary parameter

C.4.2

відбір зразків:

Вибір представницьких зразків матеріалу що зберігається або матеріалу стінки бункера з урахуванням мінливості в часі.

C.4.2

sampling

the selection of representative samples of stored solids or silo wall material, including variations with time

C.4.3

стандартне напруження:

Напружений стан, при якому вимірюються характеристики матеріалу. Стандартне напруження зазвичай вибирається таким чином, щоб відповідати рівню тисків після заповнення бункера. Іноді необхідно визначити стандартне напруження з більш ніж одним головним напруженням.

C.4.3

reference stress

the reference stress is the stress state at which the measurements of stored solid properties are carried out. The reference stress is normally selected to correspond to the stress level in the silo after filling. Sometimes it may be necessary to define the reference stress with more than one principal stress

C.5 Відбір зразків та їх підготовка

(1) Випробування повинні проводитися на представницьких зразках сипучих матеріалів.

(2) Вибір зразка повинен здійснюватися з урахуванням відповідного розгляду варіацій, можливих протягом терміну служби бункера, змін внаслідок варіацій умов навколишнього середовища, впливу способу роботи бункера і впливу розшарування ма-

C.5 Sampling and preparation of samples

(1) Testing should be carried out on representative samples of the particulate solid.

(2) The choice of sample should be made with appropriate consideration of the variations that may occur during the lifetime of the structure, the changes that may be caused by variations in ambient conditions, the effects of methods of silo operation, and the effects of segregation of

теріалу в бункері.

(3) Середнє значення кожної характеристики матеріалу має визначатися з урахуванням мінливості вторинних параметрів.

(4) Стандартне напруження σ_r для кожного випробування повинне визначатися по відношенню до напруженого стану в матеріалі що зберігається, після заповнення. Немає необхідності в точному визначенні значення стандартного напруження.

Примітка. Точне визначення стандартного напруження вимагало б знання результатів випробувань до їх проведення. Точне значення стандартного напруження не є критичним для випробувань, але випробування повинні проводитися при рівні напружень який підходить для досягнення потрібної мети.

(5) Зазначений нижче метод підготовки зразків слід використовувати для випробувань по C.6, C.7.2, C.8.1 і C.9.

(6) Зразок повинен бути засипаний у випробувальний контейнер без вібрацій або інших ущільнюючих сил і завантажений стандартним тиском σ_r . Для того щоб ущільнити зразок, кришку слід повернути за годинниковою стрілкою і проти годинникової стрілки кілька разів на кут близько 10° навколо своєї вертикальної осі.

Примітка 1. Щодо цієї процедури можна послатися на стандарт ASTM D6128.

Примітка 2. Кількість необхідних обертань залежить від матеріалу що тестується.

(7) Середні значення з випробувань мають бути скореговані з використанням поправочних коефіцієнтів для отримання екстремальних значень. Поправочні коефіцієнти повинні вибиратися з урахуванням впливу вторинних параметрів, мінливості характеристик сипкого матеріалу протягом терміну служби бункера і неточностей при відборі зразків.

(8) Поправковий коефіцієнт a для характеристик матеріалу повинен бути скорегований, якщо вплив вторинного параметра складає більше 75 % поправки, яку вносить поправковий коефіцієнт.

solids within the silo.

(3) The mean value for each solids property should be determined making proper allowance secondary parameters.

(4) The reference stress σ_r for each test should be identified in relation to the stress state in the stored solid after filling. The value of the reference stress need not be accurately defined.

NOTE: A precise evaluation of the reference stress would require the outcome of the test to be known before the test is performed. The precise value of the reference stress is not critical to the tests, but these tests should be performed at stress levels that are appropriate to the purpose to which they will be put.

(5) The following method of sample preparation should be used for the tests described in C.6, C.7.2, C.8.1 and C.9.

(6) The sample should be poured into the test cell, without vibration or other compacting forces and the reference stress σ_r applied. A top plate should be rotated clockwise and anti-clockwise about the vertical axis several times through an angle of at least 10 degrees to consolidate the sample.

NOTE 1: Reference may be made to the ASTM Standard D6128 concerning this procedure

NOTE 2: The number of twists that is required depends on the solid being tested.

(7) The mean test values should be adjusted by conversion factors to derive extreme values. The conversion factors should be selected to allow for the influence of secondary parameters, the variability of the solids properties over the silo life, and for sampling inaccuracies.

(8) The conversion factors a for the properties of a solid should be adjusted if the effect of one secondary parameter accounts for more than 75% of the margin introduced for the solids property by the conversion factor.

С.6 Визначення питомої ваги γ

С.6.1 Принцип випробування

(1) Питому вагу сипкого матеріалу γ слід визначати на ущільненому зразку сипкого матеріалу.

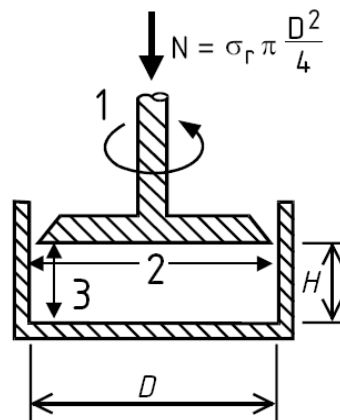
Примітка. Метою випробування є отримання достовірної оцінки максимальної щільності, можливої в бункері. Ця мета досягається за рахунок визначення максимально досяжної щільності при рівні тиску, які можливі в бункері. Для досягнення цього необхідно упакувати матеріал в випробувальний пристрій з відповідним щільним розміщенням упакованих часток до додавання ущільнюючого тиску. Цього можна досягти вільною засипкою або шляхом повертання кришки до досягнення щільності, яка представляє умови, відповідні для обчислення тиску в бункері. З цієї причини обирається шорстка кришка, обертання якої дозволяє досягти необхідного перерозподілу часток. Ця процедура відрізняється від методу, зазначеного в ASTM D6683-01 «Стандартний метод випробувань для визначення насипної щільності порошкоподібних і інших сипких матеріалів», оскільки останній відноситься до порошкоподібних матеріалів, де метою є досягнення щільності в умовах рихлого стану.

С.6 Bulk unit weight γ

С.6.1 Principle of the test

(1) The bulk unit weight γ should be determined using a consolidated sample of the particulate solid.

NOTE: The aim of this test is to obtain a good estimate of the maximum density likely to occur in the silo. This aim is achieved by identifying the maximum achievable bulk density at the stress level likely to arise in the silo. To achieve this, it is necessary to pack the solid into the test apparatus with an appropriately densely packed arrangement of the particles before the consolidating stress is applied. This can be achieved either by rain filling of the solid, or by twisting of the lid to achieve a density that is representative of the conditions relevant to silo pressure evaluation. For this reason, a rough lid is chosen, with rotation of the lid to achieve appropriate particle rearrangement. This procedure differs from the ASTM method given in ASTM D6683-01 "Standard test method for measuring bulk density values of powders and other bulk solids" because the latter is chiefly concerned with powders, where the aim is to achieve a loose density.



Роз'яснення

- 1 стандартне обертання
- 2 гладка поверхня
- 3 шорстка поверхня

Key

- 1 Standardised twisting
- 2 Smooth
- 3 Rough

Рисунок С.1 – Пристрій для визначення γ

Figure C.1: Device for the determination of γ

С.6.2 Випробувальний пристрій

(1) Для визначення ваги і об'єму зразка матеріалу слід застосовувати коробку по ри-

С.6.2 Apparatus

(1) The cell shown in Figure C.1 should be used to measure the weight and volume of the solid

сунку С.1. Діаметр коробки D повинен бути не менше ніж в 5 разів більше максимального розміру часток і не менше ніж в 10 разів більше середнього розміру часток. Висота H зразка після ущільнення повинна знаходитися між $0,3D$ і $0,4D$.

Примітка. Ці обмеження за розміром часток обрані з наступних причин: Максимальний розмір часток обмежується для того, щоб обмеження на розміщення часток, викликані фіксованими лініями стінок, не мали суттєвого впливу на вимірювання щільності. Крім того, відомо, що цей вплив більше для випадку, коли всі частки приблизно однакового розміру, ніж у випадку, коли малі частки можуть займати проміжки між великими частками. Таким чином, при однакових розмірах часток визначальним є обмеження у вигляді 10-кратного середнього розміру часток, а при великому розкиді розмірів частинок - обмеження у вигляді 5-кратного максимального розміру часток.

С.6.3 Методика

(1) Стандартне напруження σ_r повинно дорівнювати вертикальному тиску p_v в матеріалі, що зберігається в бункері.

(2) Підготовка зразків повинна здійснюватися згідно з вказівками С.5. Насипна питома вага зразка визначається шляхом ділення виміряної ваги ущільненого зразка на об'єм в сипучому стані. Висоту H слід визначати як середнє значення з трьох вимірювань з однаковим радіусом і кутами 120° по колу коробки.

Примітка. Якщо щільність вимірюється по ASTM D6683, то може бути отримана більш низька щільність. Відхилення для порошкоподібного сипкого матеріалу, як правило, невелике але може бути значним для матеріалу з крупними зернами.

С.7 Тертя об стінки

С.7.1 Загальні положення

(1) Необхідно розрізняти наступні параметри:

- коефіцієнт тертя об стінки μ_m для визначення тиску;
- кут тертя об стінки ϕ_{wh} для оцінки витікання.

(2) Для матеріалів з розкидом розмірів часток, які в процесі заповнення можуть роз-

sample. The diameter D of the cell should be at least 5 times the maximum particle size and not less than 10 times the mean particle size. The compacted height H of the sample should be between $0,3D$ and $0,4D$.

NOTE: The restrictions on particle sizes are chosen for the following reasons. The maximum particle size is limited to ensure that the restrictions on particle arrangements caused by the fixed lines of the walls do not have an inordinate influence on the measured density. In addition, it is recognized that this influence is greater where the particles are all of about the same size than where smaller particles can occupy the interstitial spaces between the larger particles. Thus, for monosized materials the above restriction is at 10 times the particle size, but for solids with a wide particle size distribution, the restriction falls to 5 times the largest particle size.

С.6.3 Procedure

(1) The reference stress σ_r should be equal to the vertical stress in the stored solid in the silo p_v .

(2) Sample preparation should be carried out according to the guidelines given in C.5. The bulk unit weight is determined by dividing the weight of a consolidated sample of the particulate solid by the bulk volume. The height H should be taken as the mean of three measurements at the same radius and at 120° separations around the cell.

NOTE: If the density is measured instead using ASTM Standard D6683, a lower density may be found. The difference is generally small for powders, but it may be significant for coarse grained solids.

С.7 Wall friction

С.7.1 General

(1) A distinction should be made between the two parameters:

- coefficient of wall friction μ_m for the determination of pressures;
- angle of wall friction ϕ_{wh} for the evaluation of flow.

(2) For solids containing a range of particle sizes that may segregate during the filling process,

шаруватися, вибір зразків матеріалу для визначення коефіцієнтів тертя об стінки μ_m повинен здійснюватися з урахуванням впливу розшарування.

(3) Випробування з визначення тертя об стінки слід виконувати із зразками, вирізаними з стінки, які є представницькими для матеріалів поверхні стінки, які будуть використовуватися при будівництві.

Примітка. Хоча випробувальні лабораторії можуть мати зразки великої кількості конструкційних і облицювальних матеріалів, індивідуальні зразки можуть мати обробку поверхні, яка відрізняється від якості поверхні в момент будівництва бункера. Вирізані зразки стінки з номінально ідентичним позначенням можуть давати кути тертя об стінки, які відрізняються один від одного на кілька градусів. Якщо це можливо, зразки стінки повинні бути отримані від передбачуваного постачальника конструкційних матеріалів (наприклад, прокатний стан або виготовлювач посудів). Пофарбовані сталеві поверхні повинні бути покриті фарбою того ж типу. Для більшості проектів рекомендується зберігати зразки стінки для подальшого порівняння з фактично використаними матеріалами. В даний час неможливо дати опис поверхні зразка стінки таким чином, щоб надійно передбачити його поведінку при терті о стінку.

(4) Якщо стінка бункера може згодом піддаватися корозії або стиранню, то випробування для визначення тертя об стінки повинні виконуватися з новими і використаними зразками.

Примітка. Стан поверхні стінки в бункерах звичайно змінюється з часом. Корозія може збільшити шорсткість поверхні, тоді як абразивний знос може відполірувати або зробити поверхню більш шорсткою. Поверхні, такі як поліетилен, можуть продавлюватися, пофарбовані поверхні можуть бути подряпані. Стіни бункера можуть так само згладжуватися внаслідок накопичення дрібних часток збережених матеріалів в невеликих порожнинах (мастило, дрібні зерна тощо). Ці зміни можуть призвести до появи конічного потоку в бункері, розрахованому на масовий потік, або масовий потік виникне в бункері для конічного потоку. Тиски від заповнення можуть збільшуватися в бункерах з полірованими стінками, дотичний тиск тертя може збільшуватися в бункері з шорсткими стінками.

C.7.2 Коефіцієнт тертя об стінки μ_m для визначення навантажень

C.7.2.1 Принцип випробувань

(1) Зразок сипкого матеріалу повинен бути

the sample used for the determination of the wall friction coefficient μ_m should be chosen with appropriate consideration of the effects of segregation.

(3) Wall friction tests should be conducted with wall sample coupons that are representative of the wall surface materials that will be used in construction.

NOTE: Although testing laboratories may have sample coupons of a wide range of construction and lining materials, an individual coupon may have a different finish from that which is available at the time of construction. Coupons of nominally identical description may produce wall friction angles that differ by several degrees. Where possible, wall coupons should be obtained from the anticipated source of the construction material (such as a steel mill or vessel fabricator). Painted steel surfaces should be painted with the same type of paint. For major projects, it is recommended that test coupons are retained for later comparison with the construction materials that are actually used. It is not currently possible to characterize a wall coupon surface in a way that reliably predicts its wall friction behaviour.

(4) Wherever the silo wall may later be subject to either corrosion or abrasion, wall friction tests should be conducted on both fresh and used coupons.

NOTE: Wall surface finishes in silos usually change over time. Corrosion may roughen a surface, while abrasive wear may either polish or roughen the surface. Surfaces such as polyethylene may be gouged, and painted surfaces may be scratched. Silo walls may also become smoother due to an accumulation of fine products from the stored solids in small voids (grease, fines etc.). These changes may cause a funnel flow pattern to occur in a silo intended for mass flow, or for mass flow to occur in a silo intended for funnel flow. The filling pressures may increase in a silo with polished walls and the filling wall frictional traction may increase in a silo with a roughened wall.

C.7.2 Coefficient of wall friction μ_m for the determination of pressures

C.7.2.1 Principle of the test

(1) A sample of the particulate solid should be

зрушений уздовж поверхні, що представляє стінку бункера (зразок з гофрами у разі бункера з гофрованих листів), при цьому вимірюється сила тертя по поверхні зсуву.

Примітка. Інтерпретація результатів випробувань на зсув повинна виконуватися з ретельним урахуванням того, чи визначаються навантаження або параметри витікання.

C.7.2.2 Пристрій

(1) Випробувальний пристрій представлено на рисунку C.2. Діаметр коробки повинен в 20 разів перевищувати максимальний розмір часток і не менше ніж у 40 разів - середній розмір часток. Висота ущільненого зразка H повинна знаходитися між $0,15D$ і $0,20D$. У разі зразків стінок з нерегулярним, як наприклад, гофрована стінка, розмір коробки повинен вибиратися відповідно.

Примітка. Ці обмеження за розміром часток обрані з наступних причин. Максимальний розмір часток обмежується для того, щоб обмеження на розміщення часток, викликані фіксованими лініями стінок, не мали суттєвого впливу на властивість яка вимірюється. Крім того, відомо, що цей вплив більше для випадку, коли всі частинки приблизно однакового розміру, ніж у випадку, коли малі частинки можуть займати проміжки між великими частками. Таким чином, при однакових розмірах часток визначальним є обмеження у вигляді 40-разового середнього розміру часток, а при великому розкиді розмірів часток - обмеження у вигляді 20-разового максимального розміру часток.

C.7.2.3 Методика

(1) В якості стандартного напруження σ_r повинен прийматися найбільший горизонтальний тиск в бункері p_h .

(2) Підготовка зразків повинна здійснюватися згідно з вказівками C.5.

(3) Після заповнення коробки і перед зрушенням коробка повинна бути повернена і злегка піднята над поверхнею, що піддається випробуванням, так щоб вимірювалося тільки тертя між частками і поверхнею.

(4) Зсув зразка повинен виконуватися при постійній швидкості близько 0,04 мм/с.

(5) Залишкову силу F_r (див. рисунок C.2),

sheared along a surface representing the silo wall (a sample with corrugation in the case of corrugated steel silos) and the friction force at the sheared surface should be measured.

NOTE: Care should be used to ensure that the wall shear data is interpreted appropriately according to whether loading or flow calculations are being performed.

C.7.2.2 Apparatus

(1) The test apparatus is shown in Figure C.2. The diameter of the cell should be at least 20 times the maximum particle size and not less than 40 times the mean particle size. The compacted height H of the sample should be between $0,15D$ and $0,20D$. In the case of wall samples with irregularities such as corrugations the cell size should be selected accordingly.

NOTE: The restrictions on particle sizes are chosen for the following reasons. The maximum particle size is limited to ensure that the restrictions on particle arrangements caused by the fixed lines of the walls do not have an inordinate influence on the measured property. In addition, it is recognized that this influence is greater where the particles are all of about the same size than where smaller particles can occupy the interstitial spaces between the larger particles. Thus, for monosized materials the above restriction is at 40 times the particle size, but for solids with a wide particle size distribution, the restriction falls to 20 times the largest particle size.

C.7.2.3 Procedure

(1) The reference stress σ_r should be taken as the largest horizontal silo pressure p_h .

(2) Sample preparation should be carried out according to the guidelines given in C.5.

(3) After filling the cell and before shearing, the cell should be rotated and lifted slightly off the test surface, so that only friction between the particles and surface is measured.

(4) Shearing of the sample should be carried out at a constant rate of approximately 0,04 mm/s.

(5) The residual friction force F_r (see Figure

яка виникає при великих деформаціях, слід використовувати для визначення коефіцієнта тертя об стінки μ в розрахунках впливів.

(6) Значення коефіцієнта тертя об стінки зразка μ в розрахунках впливів слід визначати за формулою

$$\mu = \frac{F_r}{N} \tag{C.1}$$

де

F_r кінцеве або залишкове значення сили зсуву (див. рисунок С.2, б);

N вертикальна сила, прикладена до кришки коробки.

С.7.3 Кут тертя об стінки ϕ_{wh} для розрахунків витікання

(1) Якщо необхідно отримати кут внутрішнього тертя об стінки ϕ_{wh} для розрахунку витікання, можна звернутися до стандарту ASTM D6128.

(2) Кут тертя об стінки для оцінки потоку слід визначати при більш низьких рівнях тиску.

(3) Інтерпретація результатів випробувань на зсув повинна виконуватися з ретельним урахуванням того чи визначаються навантаження або параметри витікання.

C.2), attained at large deformations, should be used in the calculation of the coefficient of wall friction μ for action calculations.

(6) The sample value of the coefficient of wall friction μ for action calculations should be determined as:

where:

F_r is the final or residual value of the shear force (see Figure C.2b);

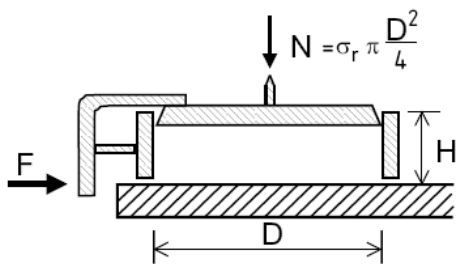
N is the applied vertical load on the cell.

С.7.3 Angle of wall friction ϕ_{wh} for the evaluation of flow

(1) Where it is necessary to obtain the angle of wall friction ϕ_{wh} for the evaluation of flow, reference may be made to the ASTM Standard D6128.

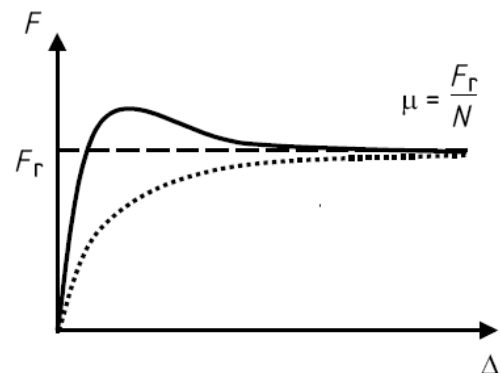
(2) The wall friction value needed for flow assessment should be obtained at low stress levels.

(3) Care should be used to ensure that the wall shear data is interpreted appropriately according to whether loading or flow calculations are being performed.



а - коробка для вимірювання тертя об стінки

a) Cell for measuring wall friction



б - типові залежності сила зсуву - переміщення

b) Typical shear-displacement curves

Рисунок С.2 – Метод випробувань для визначення коефіцієнта тертя об стінки

Figure C.2: Test method for determination of wall friction coefficient

C.8 Коефіцієнт бокового тиску K

C.8.1 Пряме вимірювання

C.8.1.1 Принцип випробування

(1) Вертикальне напруження σ_1 слід прикласти до зразка, закріпленого від горизонтальних деформацій. Слід виміряти горизонтальний напруження що виникає σ_2 і визначити дотичне значення коефіцієнта бокового тиску K_0 .

Примітка 1. Величина коефіцієнта K_0 залежить від напрямку головних напружень у зразку. Горизонтальні і вертикальні напруження приблизно є головними напруженнями в зразку, але можуть не бути такими в бункері.

Примітка 2. Коли зразок називається закріпленим від горизонтальних деформацій, то це означає, що горизонтальні відносні деформації в матеріалі є настільки малими, що їх вплив на напруження у зразку сипкого матеріалу мінімальне. Однак, ці відносні деформації досить великі, щоб викликати вимірювані явища в тонкій стінці установки або в спеціальних частинах стінки, розрахованих на концентрацію подовжень. Середня відносна деформація по окружності близько 100 мікродеформацій, як правило, відповідає цьому критерію обмеженої відносної деформації в матеріалі з вимірюваними значеннями в установці.

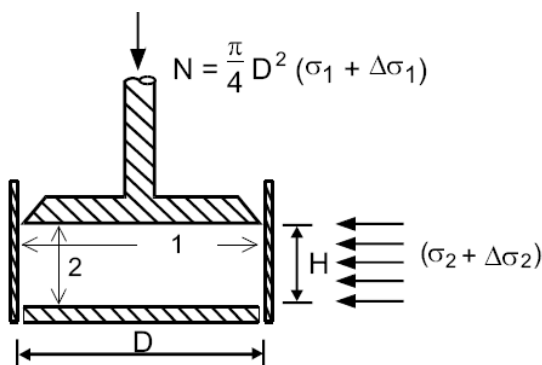


Рисунок С.3 – Метод випробування для визначення K_0

Figure C .3: Test method for determining K_0

C.8.1.2 Випробувальний пристрій

(1) Схема випробувального пристрою представлена на рисунку С.3. Горизонтальний тиск виводиться з відносних деформацій зовнішньої поверхні вертикальної частини, для цього стінка повинна бути тонкою та її конструкція повинна забезпечувати коректну інтерпретацію напруженого стану.

C.8 Lateral pressure ratio K

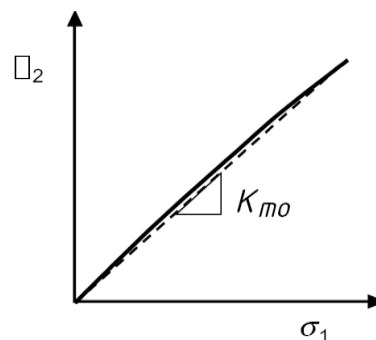
C.8.1 Direct measurement

C.8.1.1 Principle of the test

(1) A vertical stress σ_1 should be applied to a sample constrained against horizontal deformation. The induced horizontal stress σ_2 should be measured and the secant value of the lateral pressure ratio K_0 determined.

NOTE 1: The magnitude of the coefficient K_0 is influenced by the direction of the principal stresses in the test sample. The horizontal and vertical stresses are approximately principal stresses in the test sample whereas they may not be in the silo.

NOTE 2: Where the sample is said to be constrained against horizontal deformation, this means that the horizontal strains in the solid are kept so small that their effect on the stress in the particulate solid sample is minor. Nevertheless these strains are large enough to produce measurable observations in the thin wall of the apparatus, or in special parts of the wall that have been designed to concentrate strains. A mean circumferential strain of the order of 100 microstrains generally meets these criteria of limited strain in the solid with measurable values in the apparatus.



C.8.1.2 Apparatus

(1) The geometry of the test apparatus is shown in Figure C.3. The horizontal stress should be deduced from strains measured on the outer surface of the vertical section, but the wall must be thin, and the design must ensure that the stress state in the wall is correctly interpreted.

Примітка. Як правило, для цього потрібні наступні особливості установки:

- a) окрема плита основи, незалежна від стінок;
- b) вимір і горизонтальних і вертикальних деформацій циліндричних стінок;
- c) розташування пристроїв вимірювання деформацій на достатньому віддаленні від країв зразка;
- d) перевірка того, що вимірювані деформації співвідносяться з внутрішніми горизонтальними тисками відповідно прийнятого коефіцієнта (вертикальний вигин циліндричної стінки може впливати на це співвідношення).

C.8.1.3 Методика

- (1) В якості стандартне напруження σ_1 слід приймати найбільший вертикальний тиск в матеріалі, що зберігається в бункері.
- (2) Підготовка зразків повинна виконуватися відповідно до вказівок C.5.
- (3) Слід розглядати горизонтальне напруження σ_2 у зразку, що виникає від вертикального напруження σ_1 , рівного еталонному напруженню σ_r . Значення K_0 слід визначати по цим тискам (див. рисунок C.3) за формулою

$$K_0 = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \quad (C.2)$$

- (4) Значення K слід приймати як

$$K = 1,1K_0 \quad (C.3)$$

Примітка. Коефіцієнт 1,1 у формулі (C.3) приблизно враховує відмінність між коефіцієнтом бокового тиску ($= K_0$), вимірюваним при практично повній відсутності тертя об стінки, та значенням K , вимірюваним при наявності тертя об стінки (див. також 4.2. 2 (5)).

C.8.2 Непряме вимірювання

- (1) Наближене значення K можна вивести з кута внутрішнього тертя ϕ_1 , який може бути визначений за методом, вказаним у C.9, або шляхом випробувань відносно трьох осей. Наближене співвідношення за формулою (4.7) слід використовувати для

NOTE: The following features are generally necessary in this apparatus:

- a) a separate bottom plate that is independent of the walls;
- b) measurement of both horizontal and vertical strains on the cylindrical walls;
- c) locating the strain measurement devices distant from the specimen ends; and
- d) verification that the measured strains are related to the internal horizontal stress by the assumed factor (vertical bending of the cylindrical wall may affect this relationship).

C.8.1.3 Procedure

- (1) The reference stress σ_1 should be taken as the highest vertical stress in the stored solid in the silo.
- (2) Sample preparation should be carried out according to the guidelines given in C.5.
- (3) The horizontal stress σ_2 in the sample that results from application of a vertical stress σ_1 equal to the reference stress σ_r should be observed. The value of K_0 should be calculated from these stresses (see Figure C.3) as:

- (4) The value of K should be taken as:

NOTE: The factor 1,1 in Expression (C.3) is used to give an approximate representation of the difference between the lateral pressure ratio ($= K_0$) measured under conditions of almost zero wall friction and the value of K measured when wall friction is present (see also 4.2.2(5)).

C.8.2 Indirect measurement

- (1) An approximate value for K may be deduced from the loading angle of internal friction ϕ_1 , which may be determined either from the method described in C.9 or from a triaxial test. The approximate relationship given in Expression (4.7) should be used to deduce K from ϕ_1 .

визначення K з ϕ_1 .

С.9 Параметри міцності: зчеплення c і кут внутрішнього тертя ϕ_1

С.9.1 Пряме вимірювання

С.9.1.1 Принцип випробування

(1) Міцність зразка матеріалу може бути визначена з випробувань методом зрізної коробки. Два параметри c і ϕ_1 слід використовувати для визначення впливу міцності матеріалу що зберігається на тиск в бункері після заповнення.

(2) Можна звернутися до ASTM D6128, проте слід зазначити, що параметри, які визначаються шляхом випробувань за цим документом, не ідентичні параметрам по даному стандарту.

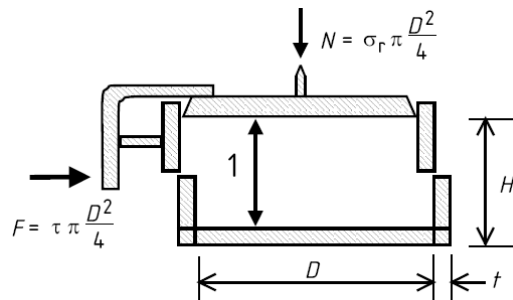
C.9 Strength parameters: cohesion c and internal friction angle ϕ_1

C.9.1 Direct measurement

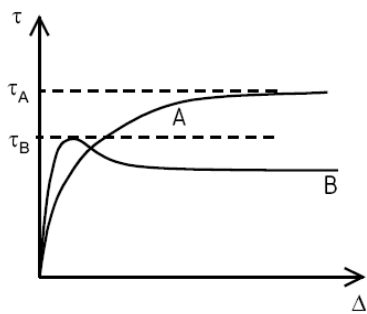
C.9.1.1 Principle of the test

(1) The strength of a stored solid sample may be determined from shear cell tests. Two parameters c and ϕ_1 should be used to define the effects of a stored solid's strength on silo pressures after the silo has been filled.

(2) Reference may be made to the ASTM D6128, but it should be noted that the parameters derived from the test in that standard are not identical to those defined here.

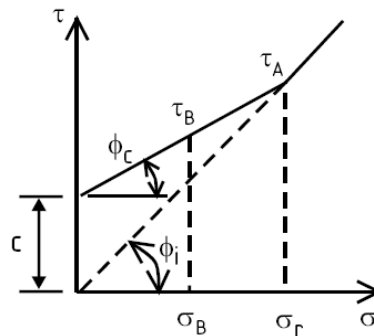


а - зрізна коробка
a) Shear cell



б – типові криві залежності зсув-переміщення

b) Typical shear- displacement curves



с – типове співвідношення між напруженнями зсуву і нормальним тиском для виміряних напружень зсуву

c) typical shear stress – normal stress relations for measured shear stresses

Рисунок С.4 – Метод випробування для визначення кутів внутрішнього тертя ϕ_i і ϕ_c і зчеплення c , на підставі тиску попереднього ущільнення σ_r ,

Figure C.4: Test method for determining the angles of internal friction ϕ_i and ϕ_c and the cohesion c based on the preconsolidation stress σ_r

С.9.1.2 Пристрій

(1) Випробувальний пристрій має складатися з циліндричної зрізної коробки, як показано на рисунку С.4. Діаметр зрізної коробки D повинен в 20 разів перевищувати максимальний розмір часток і не менше ніж у 40 разів - середній розмір часток. Висота H повинна знаходитися між $0,3D$ і $0,4D$.

Примітка. Ці обмеження за розміром часток обрані з наступних причин. Максимальний розмір часток обмежується для того, щоб обмеження на розміщення часток, викликані фіксованими лініями стінок, не мали суттєвого впливу на властивість яка вимірюється. Крім того, відомо, що цей вплив більше для випадку, коли всі частки приблизно однакового розміру, ніж у випадку, коли малі частинки можуть займати проміжки між великими частками. Таким чином, при однакових розмірах часток визначальним є обмеження у вигляді 40-разового середнього розміру часток, а при великому розкиді розмірів часток - обмеження у вигляді 20-разового максимального розміру часток.

С.9.1.3 Методика

(1) Стандартне напруження σ_r повинно приблизно дорівнювати вертикальному тиску в матеріалі що зберігається в бункері, визначеному в С.2. Підготовка зразків повинна виконуватися згідно вказівок С.5.

(2) Зсув зразка повинен виконуватися з постійною швидкістю близько $0,04$ мм/с.

(3) Напруги зсуву τ , що виникають при (або перед) горизонтальному переміщенні $\Delta = 0,06D$, слід використовувати для обчислення параметрів міцності матеріалу, де D – внутрішній діаметр коробки (див. рисунок С.4).

(4) Необхідно проводити не менше двох випробувань (див. таблицю С.1 і рисунок С.4), зазначених нижче в (5) і (6).

(5) Перший зразок повинен бути зрізаний при нормальному навантаженні, що викликає стандартне напруження σ_r , для визначення напружень зсуву τ_a .

(6) Другий зразок слід спочатку завантажити нормальним навантаженням, що викликає стандартне напруження σ_r , і довести до зрізу, як і перший зразок. Зсування слід

С.9.1.2 Apparatus

(1) The test apparatus should consist of a cylindrical shear cell, as shown in Figure C.4. The shear cell diameter D should be at least 20 times the maximum particle size and not less than 40 times the mean particle size. The height H should be between $0,3D$ and $0,4D$.

NOTE: The restrictions on particle sizes are chosen for the following reasons. The maximum particle size is limited to ensure that the restrictions on particle arrangements caused by the fixed lines of the walls do not have an inordinate influence on the measured property. In addition, it is recognized that this influence is greater where the particles are all of about the same size than where smaller particles can occupy the interstitial spaces between the larger particles. Thus, for monosized materials the above restriction is at 40 times the particle size, but for solids with a wide particle size distribution, the restriction falls to 20 times the largest particle size.

С.9.1.3 Procedure

(1) The reference stress σ_r should be approximately equal to the vertical stress in the stored solid in the silo defined in C.2. Sample preparation should be carried out according to the guidelines given in C.5.

(2) Shearing of the sample should be carried out at a constant rate of approximately $0,04$ mm/s.

(3) The shear stress τ developed at or before a horizontal displacement of $\Delta = 0,06D$ should be used to calculate the strength parameters for the solid, where D is the internal diameter of the cell (see Figure C.4).

(4) At least two tests should be carried out (see Table C.1 and Figure C.4) as defined in (5) and (6) below.

(5) The first sample should be sheared under a normal load causing the reference stress σ_r to obtain the failure shear stress τ_a .

(6) The second sample should first be preloaded under a normal load causing the reference stress σ_r and just brought to shear failure as for the first sample. Shearing should be

зупинити і прикладену зсувну силу знизити до нуля. Після цього нормальне навантаження на другий зразок знижується приблизно до значення, що викликає половину стандартного тиску ($(\sigma_B \approx \sigma_r / 2)$), і зсув виконується знову до отримання напруг зрізу τ_B (див. рисунок С.4, b). Напруги, визначені в результаті цих двох випробувань, наведені в таблиці С.1.

stopped and the applied shear load reduced to zero. The normal load on this second sample should then be reduced to a value causing approximately half the reference stress ($\sigma_B \approx \sigma_r / 2$) and sheared again to obtain the failure shear stress τ_B . Stresses determined from the two tests are named in Table C.1).

Таблиця С.1 – Рекомендовані випробування
Table C.1: – Recommended tests

Випробування	Значення попереднього нормального напруження	Випробувальне значення нормального напруження	Максимальні вимірювані напруження зсуву
Test	Pre-load value of normal stress	Test load value of normal stress	Maximum measured shear stress
No. 1	σ_r	σ_r	τ_A
No. 2	σ_r	$\sigma_B \approx \sigma_r / 2$	τ_B

С.9.1.4 Інтерпретація

(1) Кут внутрішнього тертя при навантаженні ϕ_1 матеріалу що зберігається визначається за формулою

$$\phi_1 = \arctan(\tau_A / \sigma_r) \quad (C.4)$$

(2) Зчеплення c , що виникає в матеріалі що зберігається, при стандартному тиску σ_r , визначається за формулою

$$c = \tau_A - \sigma_r \tan \phi_c \quad (C.5)$$

де

in which:

$$\phi_c = \arctan\left(\frac{\tau_A - \tau_B}{\sigma_r - \sigma_B}\right) \quad (C.6)$$

де

where:

ϕ_c – кут внутрішнього тертя в ненавантаженому стані для переущільненого матеріалу.

ϕ_c is the unloading internal friction angle for an overconsolidated material

Примітка. Значення зчеплення c з сильно залежить від напруження ущільнення σ_r , тому не може розглядатися в якості фіксованої характеристики матеріалу.

NOTE: The value of cohesion c depends strongly on the consolidation stress σ_r , so this cannot be regarded as a fixed property of the solid.

(3) Для сипкого матеріалу без зчеплення (тобто $c = 0$) опір тертю має описуватися тільки кутом внутрішнього тертя при наван-

(3) For a cohesionless solid (where $c = 0$), the frictional strength should be described only by the loading angle of internal friction ϕ_1 (which

таженні ϕ_1 , який тоді дорівнює ϕ_c .

Примітка. В якості альтернативи описаному вище випробуванню допускається використовувати стандартне трьохвісьове випробування.

is then equal to ϕ_c).

NOTE: A standard triaxial test may be used as an alternative to the test described above.

С.9.2 Непряме вимірювання

C.9.2 Indirect measurement

С.9.2.1 Принцип випробування

C. 9.2.1 Principle of the test

(1) Якщо випробування з використанням зрізної коробки виконуються методом зрізної коробки Дженіке (ASTM D6128), то зчеплення матеріалу що зберігається, альтернативно може бути наближено визначено за результатами цих випробувань.

(1) Where shear cell tests using a Jenike Shear Cell (ASTM Standard D6128) have been undertaken, the cohesion of a stored solid may alternatively be approximately deduced from these results.

(2) Зчеплення слід визначати при максимальних середніх вертикальних тисках після заповнення σ_{vft} , як визначено в С.2.

(2) The cohesion should be found in relation to the maximum mean vertical stress in the silo after filling σ_{vft} which is defined in C.2.

(3) «Найбільший головний ущільнюючий тиск» σ_c слід приймати рівним максимальному середньому тиску в бункері після заповнення σ_{vft} .

(3) The "major principal consolidating stress" σ_c should be taken as equal to the maximum mean vertical stress in the silo after filling σ_{vft} .

(4) Слід визначати вільне напруження текучості σ_c , що відповідає напруженню ущільнення. Ефективний кут внутрішнього тертя δ , визначений при відповідних тисках, повинен також визначатися.

(4) The unconfined yield stress σ_c corresponding to this consolidation stress should be determined. The effective angle of internal friction δ (determined under the corresponding stress conditions) should also be found.

(5) Наближене значення зчеплення слід визначати за формулою:

(5) An approximate value for the cohesion c should then be determined as:

$$c = \sigma_c \left(\frac{\sin \delta - \sin \phi_c}{\cos \phi_c (1 + \sin \delta)} \right) \quad (C.7)$$

де

in which:

$$\phi_c = \sin^{-1} \left(\frac{2 \sin \delta - k}{2 - k} \right) \quad (C.8)$$

$$k = \left(\frac{\sigma_u}{\sigma_c} \right) (1 + \sin \delta) \quad (C.9)$$

де

where:

σ_c найбільше головне ущільнююче напруження, що визначається у випробуванні зі зрізної коробкою Дженіке;

σ_c is the major principal consolidating stress found in a Jenike shear cell test;

σ_u вільна межа текучості, обумовлена у випробуванні зі зрізною коробкою Дженіке;

σ_u is the unconfined yield strength found in a Jenike shear cell test;

δ ефективний кут внутрішнього тертя

δ is the effective angle of internal friction

по випробуванню з елементом зрізу Дженіке;

ϕ_c кут внутрішнього тертя в ненавантаженому стані (див. рисунок С.4, с).

Примітка 1. Слід зазначити, що значення зчеплення сильно залежить від напруження ущільнення σ_r , тому не може розглядатися як фіксована властивість матеріалу.

Примітка 2. Слід зазначити, що найбільше головне ущільнююче напруження σ_c , зазвичай позначається як σ_1 в літературі з механіки сипких середовищ.

(6) Наближене значення кута внутрішнього тертя в навантаженому стані ϕ_1 може визначатися з випробувань за формулою

$$\phi_1 = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \delta \cos \phi_c}{1 - \sin \phi_c \sin \delta} \right) \quad (\text{C.10})$$

Примітка. Слід зазначити, що обидва параметри c і ϕ_1 використовуються в цьому стандарті тільки для оцінки впливу міцності матеріалу що зберігається, на тиски в бункері.

С.10 Ефективний модуль пружності E_s

С.10.1 Прямий вимір

С.10.1.1 Принцип випробування

(1) Вертикальне напруження σ_1 слід прикладати до зразка, закріпленого від горизонтальних деформацій. При збільшенні вертикального напруження на $\Delta\sigma_1$ слід вимірювати викликану ним зміну горизонтального напруження $\Delta\sigma_2$ і зміну вертикального переміщення Δv_1 . За цими вимірами визначається ефективний модуль пружності при навантаженні E_{sL} . Потім вертикальний тиск знижується на $\Delta\sigma_1$, і вимірюється викликана цим зміна горизонтального тиску $\Delta\sigma_2$ і зміна вертикального переміщення Δv_1 . Цими вимірами визначається ефективний модуль пружності при знятті навантаження E_{sL} .

Примітка 1. Значення коефіцієнта K_0 залежить від напрямку головних напружень у зразку. Горизонтальні і вертикальні напруження приблизно є головними напруженнями в зразку для випробувань.

found in a Jenike shear cell test;

ϕ_c is the unloading angle of internal friction (see Figure C.4c).

NOTE 1: It should be noted that the value of cohesion c depends strongly on the consolidation stress σ_r , so this cannot be regarded as a fixed property of the solid.

NOTE 2: It should be noted that the major principal consolidating stress σ_c is usually referred to as σ_1 in the bulk solids handling literature.

(6) An approximate value for the loading angle of internal friction ϕ_1 may be found from this test as:

NOTE: It should be noted that the two parameters c and ϕ_1 are used in this standard only to define the effects of a stored solid's strength on silo pressures.

C.10 Effective elastic modulus E_s

C.10.1 Direct measurement

C.10.1.1 Principle of the test

(1) A vertical stress σ_1 , should be applied to a sample constrained against horizontal deformation. As the vertical stress increases by $\Delta\sigma_1$, the change in induced horizontal stress $\Delta\sigma_2$ and the change in vertical displacement Δv_1 should be measured. The loading effective elastic modulus E_{sL} should be deduced from these measurements. The vertical stress should then be decreased by $\Delta\sigma_1$, the change in induced horizontal stress $\Delta\sigma_2$ and the change in vertical displacement Δv_1 should be measured. The unloading effective elastic modulus E_{sL} should be deduced from these measurements.

NOTE 1: The magnitude of the coefficient K_0 is influenced by the direction of the principal stresses in the test sample. The horizontal and vertical stresses are approximately principal stresses in the test sample.

Примітка 2. Якщо зразок називається закріпленим від горизонтальних деформацій, то це означає, що горизонтальні відносні деформації в матеріалі залишаються такими малими, що їх вплив на напруження у зразку сипучого матеріалу мінімальний, проте, ці відносні деформації досить великі, щоб викликати вимірювані явища в тонкій стінці установки. Відносна деформація порядку 100 мікродеформацій відповідає цьому критерию.

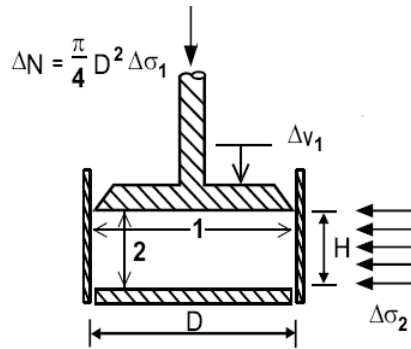
NOTE 2: Where the sample is said to be constrained against horizontal deformation, this means that the horizontal strains are kept so small that their effect on the stress in the particulate solid sample is minor, but the strains are large enough to produce measurable observations in the thin wall of the apparatus. Strains of the order of 100 micro strain meet these criteria.

С.10.1.2 Пристрій

(1) Схема випробувального пристрою, який повинен використовуватися, показана на рисунку С.5. і подібна пристрою, описаному в С.8 для вимірювання коефіцієнта бокового тиску K .

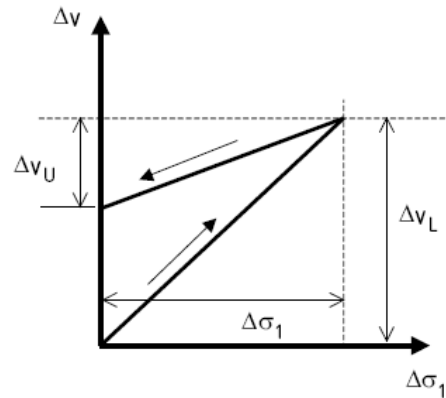
С.10.1.2 Apparatus

(1) The geometry of the test apparatus that should be used is shown in Figure C.5 and is similar to the apparatus described in C.8 for the measurement of lateral pressure ratio K .



а - випробувальний пристрій

(a) Test apparatus



б - типові вертикальні переміщення при збільшенні вертикального тиску $\Delta\sigma_1$

(b) Typical vertical displacements for increments of vertical stress $\Delta\sigma_1$

Роз'яснення

- 1 Гладка поверхня;
- 2 Шорстка поверхня

Key

- 1 Smooth
- 2 Rough

Рисунок С.5 – Метод випробування для визначення модуля пружності при навантаженні і при знятті навантаження

Figure C.5: Test method for determining the loading and unloading elastic moduli

(2) Горизонтальне напруження має визначатися з відносних деформацій зовнішньої поверхні вертикальної частини. Стінка коробки повинна бути тонкою і її конструкція повинна забезпечувати коректну інтерпретацію напружено-деформованого стану стінки (як правило, необхідна окрема плита основи, вимірювання горизонтальних і вертикальних деформацій і розміщення вимірювальних приладів на відстані від краю зразка).

(2) The horizontal stress should be deduced from strains measured on the outer surface of the vertical section. The wall of the cell should be thin, and the design should ensure that the stress state in the wall is correctly interpreted (it is generally necessary to have a separate bottom plate, to make both horizontal and vertical strain measurements, and to site the strain measurement devices distant from the specimen ends).

(3) Р Необхідно використовувати точні засоби вимірювання для визначення малих збільшень вертикальних переміщень зразка.

(3)P An accurate means of measuring small increments in the vertical displacement of the sample shall be provided.

C.10.1.3 Методика

C.10.1.3 Procedure

(1) В якості стандартного напруження σ_r слід приймати найбільший вертикальний тиск в матеріалі що зберігається в бункері.

(1) The reference stress σ_r should be taken as the highest vertical stress in the stored solid in the silo.

(2) Підготовка зразків повинна виконуватися відповідно до вказівок C.5.

(2) Sample preparation should be carried out according to the guidelines given in C.5.

(3) Після прикладання вертикального напруження σ_1 , що дорівнює стандартному напруженню σ_r , необхідно рахувати показання вимірювальної системи по горизонтальному тиску і вертикальному переміщенні. Висота стиснутого зразка матеріалу H повинна також ретельно вимірюватися.

(3) After application of a vertical stress σ_1 equal to the reference stress σ_r , the measurement systems for observing horizontal stress and vertical displacement should be read. The height of the compressed sample H should also be accurately measured.

(4) Прикладають мале додаткове прирощення вертикального напруження $\Delta\sigma_1$ і знову вимірюють горизонтальне напруження і вертикальні деформації. Прирощення вертикального напруження $\Delta\sigma_1$ повинно приблизно складати близько 10 % стандартного напруження σ_1 .

(4) A small additional increment of vertical stress $\Delta\sigma_1$ should be applied, and the horizontal stress and vertical displacement should be measured again. The increment of vertical stress $\Delta\sigma_1$ should be approximately 10 % of the reference stress σ_1 .

(5) Зміна горизонтального напруження (внаслідок збільшення вертикального напруження $\Delta\sigma_1$) приймається в якості $\Delta\sigma_2$, і зміна вертикальних переміщень приймається як $\Delta\nu$. Значення K , відповідне збільшенню навантаження, тоді визначається як K_L за формулою

(5) The change in horizontal stress (caused by the vertical stress increment $\Delta\sigma_1$) should be determined as $\Delta\sigma_2$ and the change in vertical displacement should be determined as $\Delta\nu$. The loading incremental value of K should then be determined as K_L :

$$K_L = \frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_1} \quad (C.11)$$

(6) Ефективний модуль пружності E_{sl} при навантаженні слід визначати за формулою:

(6) The loading effective elastic modulus E_{sl} should then be determined as:

$$E_{sl} = H \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\nu} \left(1 - \frac{2K_L^2}{1 + K_L} \right) \quad (C.12)$$

(7) На закінчення здійснюють покрокове зниження вертикального тиску $\Delta\sigma_1$ (повинно розглядатися як величина з від'ємним попереднім знаком) і вимірюють горизонтальні напруження і вертикальні деформації. Крок вертикального напруження $\Delta\sigma_1$ по-

(7) A small incremental reduction of vertical stress $\Delta\sigma_1$ should then be applied (treated as negative quantity), and the horizontal stress and vertical displacement should be measured again. The increment of vertical stress $\Delta\sigma_1$ should again be approximately 10% of the ref-

винне приблизно складати близько 10 % стандартного напруження σ_1 .

(8) Зміна горизонтального напруження внаслідок зміни вертикального слід прийняти як $\Delta\sigma_2$ і визначити вертикальні переміщення Δv (обидва значення від'ємні). Значення K при розвантаженні відповідає кроку напружень. Тоді визначається K_U за формулою

$$K_U = \frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_1} \quad (C.13)$$

(9) Ефективний модуль пружності E_{sU} при розвантаженні визначається за наступною формулою:

$$E_{sU} = H \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta v} \left(1 - \frac{2K_U^2}{1 + K_U} \right) \quad (C.14)$$

Примітка. Ефективний модуль пружності при знятті навантаження зазвичай набагато більший модуля при навантаженні. В оцінках, коли високий модуль пружності шкідливий для конструкцій (наприклад, при змінах температури) повинен використовуватися модуль пружності при знятті навантаження. Якщо модуль пружності матеріалу сприятливий для конструкцій (наприклад, в тонкостінних прямокутних бункерах), повинен застосовуватися модуль пружності при навантаженні.

C.10.2 Непряма оцінка

(1) В якості допомоги для перевірки правильності випробувань у конкретному випадку, наближене значення E_{sU} можна оцінити за формулою:

$$E_{sU} = \chi p_{vft} \quad (C.15)$$

де

p_{vft} вертикальний тиск в основі вертикального стовбура (формула (5.3) або (5.79));

χ коефіцієнт модуля суміжності.

Примітка. Ефективний модуль пружності при знятті навантаження E_{sU} і вертикальний тиск p_{vft} мають у формулі (C.15) однакові одиниці виміру.

(2) За відсутності експериментальних даних, отриманих з випробувань по C.10.1, коефіцієнт модуля суміжності χ можна оцінити

erence stress σ_1 .

(8) The change in horizontal stress (caused by the vertical stress increment $\Delta\sigma_1$) should be determined as $\Delta\sigma_2$ and the change in vertical displacement should be measured as Δv (both negative). The unloading incremental value of K should then be determined as K_U :

(9) The unloading effective elastic modulus E_{sU} should then be deduced as:

NOTE: The unloading effective elastic modulus is usually much higher than the loading modulus. In assessments where a high elastic modulus may be deleterious to the structure (e.g. thermal differentials), the unloading modulus should be used. Where the elastic modulus of the solid is beneficial to the structure (e.g. in thin-walled rectangular silos) the loading modulus should be used.

C.10.2 Indirect assessment

(1) As an aid to determine whether testing is justified in a particular case, an approximate value for E_{sU} may be estimated from

where:

p_{vft} is the vertical stress at the base of the vertical walled section (Expression (5.3) or (5.79));

χ is the modulus contiguity coefficient.

NOTE: The unloading effective elastic modulus E_{sU} and the vertical stress p_{vft} are expressed in the same units in Expression (C.15).

(2) In the absence of experimental data from tests according to C.10.1, the modulus contiguity coefficient χ may be estimated as

за формулою:

$$\chi = 7\gamma^{3/2} \quad (\text{C.16})$$

де

γ – питома вага матеріалу що зберігається, кН/м³.

(3) Значення χ може альтернативно прийматися рівним 70 для сухої сільськогосподарської зернової продукції, 100 – для дрібнозернистих мінеральних часток, 150 – а для крупнозернистих мінеральних частинок.

C.11 Оцінка верхнього та нижнього характеристичного значення параметрів і визначення поправочного коефіцієнта a

C.11.1 Принципи

(1) Р Бункер необхідно розраховувати на найбільш несприятливі умови навантаження, які можуть діяти протягом його розрахункового терміну служби. Цей розділ присвячений оцінці мінливості характеристик, яка може проявитися в зразках, представлених для випробувань під час проектування.

Примітка. Ймовірно, що характеристики матеріалу що зберігається будуть змінюватися протягом терміну служби, але це важко піддається оцінці.

(2)Р Екстремальні значення навантажень для розрахунку повинні бути представлені своїми характеристичними значеннями, які є значеннями із заданою ймовірністю неперевикнення (зазвичай, 5 % квантиль і 95 % квантиль) протягом призначеного терміну служби контейнера або незмінності розрахунку.

(3)Р Екстремальні значення характеристик, що вимагаються для досягнення цих екстремальних рівнів навантажень, слід називати характеристичними значеннями характеристик матеріалу.

(4)Р Верхні і нижні характеристичні значення відповідних властивостей необхідно використовувати для одержання необхідних умов навантаження.

(5) Повинен застосовуватися зазначений тут спрощений метод, в якому характеристичне значення приймається як 1,28 стандартного відхилення від середнього.

where:

γ is the unit weight of the stored solid in kN/m^3 .

(3) The value of χ may alternatively be taken as 70 for dry agricultural grains, 100 for small mineral particles and 150 for large hard mineral particles.

C.11 Assessment of the upper and lower characteristic values of a property and determination of the conversion factor a

C.11.1 Principle

(1)P The silo shall be designed for the most adverse loading condition which may occur during its design life. This section deals with the assessment of the variability of properties which may occur in samples presented for testing at the time of design.

NOTE: It is likely that the properties of the stored solid will change during the life of the structure, but these are no easy to assess.

(2)P The extreme values of loads for design shall be represented by their characteristic values, which are values with accepted prescribed probabilities of not being exceeded (5 percentile and 95 percentile values normally) during the intended life of the container or the permanency of the design.

(3)P The extreme values of properties needed to achieve these extreme load levels shall be termed characteristic values of the properties.

(4)P Both upper and lower characteristic values of the relevant properties shall be used to obtain the relevant loading conditions.

(5) The simplified treatment defined here should be used, in which the characteristic value is taken as 1,28 standard deviations from the mean.

Примітка 1. Значення характеристик, необхідне для досягнення фіксованої ймовірності перевищення рівня навантаження, залежить від геометрії і абсолютного розміру контейнера, розглянутого випадку навантаження, чи діють навантаження на вертикальну стінку або на стінку воронки. Додатково на ці значення впливають вміст вологи, температура, можливість розшарування і вік.

Примітка 2. Слід зазначити, що ДСТУ-Н Б EN 1990, додаток D рекомендує значення, що відрізняється від 1,28. Як зазначено в наведеному вище пункті, оскільки більшість незалежних одна від одної характеристик вносять вклад у значення характеристичного навантаження, 10 або 90-відсотковий квантиль кожної властивості прийнятий розумною оцінкою значення, необхідного, щоб дати відповідну ймовірність для остаточного навантаження. Використання більш високого значення, ніж це, ймовірно призведе до проєктів, значно більш консервативного, ніж сучасна практика.

(6) Якщо є адекватні експериментальні дані, то характеристичні значення слід визначати статистичними методами.

Примітка 1. Дані випробувань, будучи корисними як основа для оцінки характеристичних значень, мають свої обмеження (обмежений розмір зразків, обмежені методи вибірки тощо). Ці обмеження можуть призвести до того, що дані виявляються недостатніми для всього діапазону характеристик, який може мати місце в процесі терміну служби конструкцій.

Примітка 2. Значення у таблиці E.1, представляють суміш оцінок, заснованих на досвіді, і наявних експериментальних даних.

(7) Якщо замовник або проєктувальник мають адекватні дані або досвід для конкретної проєктної ситуації, то замовник може вибрати характеристичні значення для представлення діапазону значень характеристик, який може мати місце в процесі терміну служби конструкцій.

C.11.2 Метод оцінки

(1) Для визначення характеристичних значень будь-якого параметра допускається використовувати наступні методики. Далі, змінна χ використовується для представлення будь-якого параметра.

(2) Середнє значення параметра $\bar{\chi}$ визначається з експериментальних даних.

(3) Там, де це можливо, результатам випробувань слід визначати коефіцієнт варіації δ .

(4) Якщо отриманих при випробуванні ре-

NOTE 1: The values of properties required to achieve a fixed probability of exceedence of the load levels depend on the geometry and absolute size of the container, the load case being considered, and whether the loads are on vertical or hopper walls. In addition, the moisture content, temperature, potential for segregation and age all affect these values.

NOTE 2: It may be noted that EN 1990, Annex D "Design assisted by testing", recommends a different value from 1,28. As stated in the above paragraph, because several uncorrelated properties contribute to the characteristic load value, a 10 percentile or 90 percentile value of each property is judged to be a reasonable estimate of the value required to give an appropriate probability for the final load. The use of a higher value than this is likely to lead to designs that are considerably more conservative than current practice.

(6) If adequate experimental data is available, the characteristic values should be determined using statistical techniques.

NOTE 1: Test data, although useful as the basis for the assessment of characteristic values, have their limitations (limited sample size, limited sampling technique, etc.). These limitations may cause the data to be unrepresentative of the full range of properties that may occur in the design life of the structure.

NOTE 2: The values given in Table E.1 represent a mixture of judgement based on experience and available experimental data.

(7) If the client or designer has adequate data or experience for a particular design situation, then the client may select characteristic values to represent the range of values of properties that may occur during the design life of the container.

C.11.2 Method of estimation

(1) The following procedure may be used to obtain the characteristic values of any property. In the following, the variable χ is used to represent any property.

(2) The mean value of the property $\bar{\chi}$, should be determined from test data.

(3) Where possible, the coefficient of variation δ should be determined from the test data.

(4) Where the test data is insufficient to provide

зультатів не достатньо для отримання оцінки коефіцієнта варіації з потрібною точністю, відповідне значення для матеріалу повинно бути отримано шляхом оцінки. Таблиця С.2 може використовуватися як керівництво для цього.

(5) Верхнє характеристичне значення параметра ($\chi_u = \chi_{0,90}$) визначається за формулою

$$\chi_{0,90} = \bar{\chi}(1 + 1.28\delta) \quad (C.17)$$

(6) Нижнє характеристичне значення параметра ($\chi_l = \chi_{0,10}$) визначається за формулою

$$\chi_{0,10} = \bar{\chi}(1 - 1.28\delta) \quad (C.18)$$

(7) Поправковий коефіцієнт a_χ для параметра визначається за формулою:

$$a_\chi = \sqrt{\frac{1 + 1.28\delta}{1 - 1.28\delta}} \approx 1 + 1.28\delta + \delta^2 \quad (C.19)$$

Примітка. Формула (C.19) представляє найпростіший метод для визначення окремого значення a_χ , який дає достатньо точну апроксимацію як для $\chi_{0,90}$, так і для $\chi_{0,10}$. Однак слід зазначити, що оскільки формули (C.17) і (C.18) є адитивними, а використання a_χ мультиплікативним, завжди існує невелике розходження між значеннями, визначеними за формулами (C.17) і (C.18), і значеннями по більш простому методу даного стандарту, заснованому на формулі (C.19) і формулах (4.1) - (4.6).

(8) Якщо значення повинні бути отримані шляхом оцінки, коефіцієнт варіацій δ для питомої ваги повинен бути прийнятий рівним 0,10. Для інших характеристик значення можуть бути отримані з оцінок для аналогічних сипких матеріалів з використанням таблиці С.2.

a good estimate of the coefficient of variation, an appropriate value should be estimated for the solid. Table C.2 may be used as a guide.

(5) The upper characteristic value for the property ($\chi_u = \chi_{0,90}$) should be determined as:

$$\chi_{0,90} = \bar{\chi}(1 + 1.28\delta) \quad (C.17)$$

(6) The lower characteristic value for the property ($\chi_l = \chi_{0,10}$) should be determined as:

$$\chi_{0,10} = \bar{\chi}(1 - 1.28\delta) \quad (C.18)$$

(7) The conversion factor a_χ for the property should be determined as:

$$a_\chi = \sqrt{\frac{1 + 1.28\delta}{1 - 1.28\delta}} \approx 1 + 1.28\delta + \delta^2 \quad (C.19)$$

NOTE: Expression (C. 19) is the simplest method of determining a single value for a_χ that gives a close approximation for both $\chi_{0,90}$ $\chi_{0,10}$. However, it should be noted that because Expressions (C.17) and (C.18) are additive expressions, but the use of a_χ is multiplicative, there will always be a small discrepancy between the characteristic values determined from Expressions (C.17) and (C.18) and those found using the simpler method of this standard based on Expression (C.19) and Expressions (4,1) to (4.6).

(8) Where the values must be estimated, the coefficient of variation δ for unit weight should be taken as 0,10. For other properties, the values may be estimated from those for similar particulate solids using Table C.2.

Таблиця С.2 – Типові значення коефіцієнта варіації характеристик сипкого матеріалу
 Table C.2 – Typical values of the coefficient of variation of particulate solids properties

Сипучий матеріал Bulk solid	Коефіцієнт варіації δ Coefficient of variation δ				
	Коефіцієнт бокового тиску (K) Lateral pressure ratio (K)	Кут внутрішнього тертя (ϕ_1), ° Angle of inter- nal friction (ϕ_1) (degrees)	Коефіцієнт тертя об стінки (μ) Wall friction coefficient (μ)		
			Категорії тертя о стінки Wall friction category		
			D1 Type D1	D2 Type D2	D3 Type D3
1	2	3	4	5	6
Заповнювач Aggregate	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09
Глинозем Alumina	0,14	0,16	0,05	0,05	0,05
Суміш комбікор- мів Animal feed mix- ture	0,08	0,06	0,19	0,19	0,19
Гранульований комбікорм Animal feed pellets	0,05	0,05	0,14	0,14	0,14
Ячмінь Barley	0,08	0,10	0,11	0,11	0,11
Цемент Cement	0,14	0,16	0,05	0,05	0,05
Цементний клін- кер Cement clinker	0,21	0,14	0,05	0,05	0,05
Вугілля Coal	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09
Вугільний пил Coal, powdered	0,14	0,18	0,05	0,05	0,05
Кокс Coke	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09
Дрібна зола Flyash	0,14	0,12	0,05	0,05	0,05
Борошно Flour	0,08	0,05	0,11	0,11	0,11
Окатиші залізної руди Iron ore pellets	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09
Гашене вапно Lime hydrated	0,14	0,18	0,05	0,05	0,05
Вапняковий по- рошок Limestone powder	0,14	0,16	0,05	0,05	0,05

Кінець таблиці С.2

1	2	3	4	5	6
Кукурудза	0,10	0,10	0,17	0,17	0,17
Maize					
Фосфати	0,11	0,13	0,09	0,09	0,09
Phosphate					
Картопля	0,08	0,09	0,11	0,11	0,11
Potatoes					
Пісок	0,08	0,07	0,11	0,11	0,11
Sand					
Шлаковий клінкер	0,08	0,07	0,11	0,11	0,11
Slag clinkers					
Соєві боби	0,08	0,12	0,11	0,11	0,11
Soya beans					
Цукор	0,14	0,14	0,05	0,05	0,05
Sugar					
Окатиші бурячно-го цукру	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09
Sugarbeet pellets					
Пшениця	0,08	0,09	0,11	0,11	0,11
Wheat					

**ДОДАТОК D
(обов'язковий)**

**ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК
МАТЕРІАЛУ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ
НАВАНТАЖЕНЬ НА БУНКЕР**

D.1 Мета

Цей додаток описує методи визначення параметрів, які потрібні в цьому стандарті для розрахунку навантажень на бункер і не можуть бути безпосередньо виміряні.

D.2 Визначення коефіцієнта тертя об стінки для гофрованої стінки

(1) Для категорії поверхні стінки D4 (гофровані або профільовані сталеві листи або стінки з горизонтальними ребрами) (див. рисунок D.1) ефективний коефіцієнт тертя об стінки слід визначати за формулою

$$\mu_{eff} = (1 - a_w) \tan \phi_1 + a_w \mu_w \quad (D.1)$$

де

- μ_{eff} ефективний коефіцієнт тертя об стінки;
- ϕ_1 кут внутрішнього тертя;
- μ_w коефіцієнт тертя о стінки (по рівній поверхні стінки);
- a_w коефіцієнт контакту зі стіною.

Примітка. Для категорії поверхні стінки D4 ефективне тертя о стінки залежить від кута внутрішнього тертя матеріалу що зберігається, коефіцієнтів тертя по рівній стінці і від профілю поверхні стінки.

(2) Параметр a_w у формулі (D.1), який представляє протяжність руху матеріалу по поверхні стінки, слід визначати з геометрії профілю листів стінки (див. рисунок D.1, а):

$$a_w = \frac{b_w}{b_w + b_1} \quad (D.2)$$

Примітка. Поверхня розділу між рухомими і нерухомими зонами частково знаходиться в контакті зі стінкою, а частково є поверхнею розриву всередині сипкого матеріалу. Частина поверхні розділу, яка

**ANNEX D
(Normative)**

**EVALUATION OF PROPERTIES OF
SOLIDS FOR SILO LOAD EVALUATION**

D.1 Object

This annex describes methods for the evaluation of parameters needed in EN 1991-4 for the purposes of silo load evaluation that cannot be measured directly.

D.2 Evaluation of the wall coefficient for a corrugated wall

(1) For Wall Surface Category D4 (corrugated or profile steel sheeting or walls with horizontal ribs) (see Figure D.1), the effective wall friction should be determined as:

where:

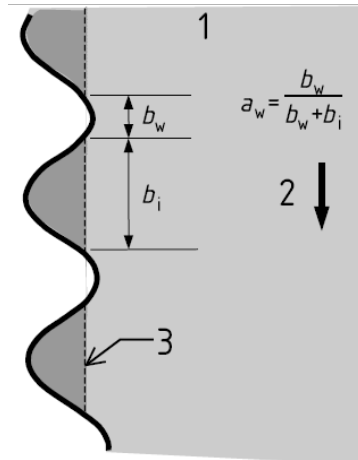
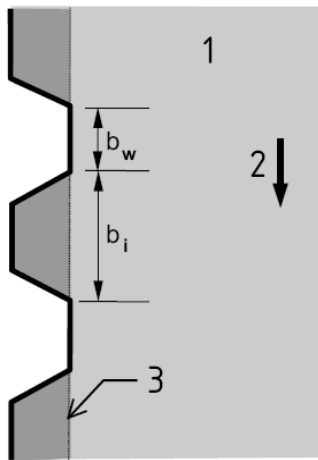
- μ_{eff} is the effective wall friction coefficient;
- ϕ_1 is the angle of internal friction;
- μ_w is the wall friction coefficient (against a flat wall surface);
- a_w is the wall contact factor.

NOTE: For Wall Surface Category D4, the effective wall friction depends on the stored solid's internal friction, the friction coefficient against a flat wall, and the profile of the sheeting.

(2) The parameter a_w in Expression (D.1), which represents the extent of solids movement against the wall surface, should be determined from the geometry of the wall sheeting profile (see Figure D.1a):

включає рух матеріалу по стінці, виражається коефіцієнтом a_w .

is given by a_w .



а - профіль з трапецієвидними гофрами

b - профіль з гофрами синусоїдальної форми

a) Trapezoidal corrugated profile

b) Sinusoidal corrugated profile

Роз'яснення

Key

- 1 сипучий матеріал
- 2 потік матеріалу
- 3 поверхня розриву

- 1 Filled solids
- 2 Solid How
- 3 Rupture surface

Рисунок D.1 – Розміри профільованого сталевго листа

Figure D.1: Dimensions of profile steel sheeting

(3) Якщо необхідно, слід виконувати відповідну оцінку режиму контакту матеріал/стінка (див. рисунок D.1, b).

(3) Where necessary, an appropriate estimate should be made of the solid/wall contact regime (see Figure D.1b).

Примітка. Для профілів стінки, подібних профілю на рисунку D.1, b), коефіцієнт a_w може бути прийнятий рівним 0,20.

NOTE: For wall sheeting profiles similar to that shown in Figure D.1b, the value of a_w may be taken as 0,20.

D.3 Внутрішнє тертя і тертя об стінки крупнозернистого матеріалу без дрібних складових

D.3 Internal and wall friction for coarse-grained solids without fines

(1) Коефіцієнт тертя об стінки μ і кут внутрішнього тертя ϕ_1 не можуть бути легко визначені для крупнозернистих сипких матеріалів без дрібних складових (наприклад, люпин, горох, боби або картопля), тому кут внутрішнього тертя ϕ_1 повинен прийматися рівним куту природного укосу ϕ_r рихлої насипаної купи матеріалу з приблизно рівною поверхнею.

(1) The wall friction coefficient μ and the angle of internal friction ϕ_1 cannot be easily determined for solids which consist of large particles without a fines content (e.g. lupins, peas, potatoes), so the angle of internal friction ϕ_1 should be taken as equal to the angle of repose ϕ_r of a loose poured heap of solid with an approximately planar surface.

ДОДАТОК Е
(обов'язковий)

ЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИПУЧОГО
МАТЕРІАЛУ

Е.1 Загальні положення

(1) У цьому додатку дані значення характеристик збережених матеріалів для використання в розрахунках.

Е.2 Запропоновані значення

(1) Значення, які слід використовувати в розрахунках, наводяться в таблиці Е.1.

ANNEX E
(Normative)

VALUES OF THE PROPERTIES OF
PARTICULATE SOLIDS

E.1 General

(1) This annex provides values of stored solid properties for design.

E.2 Defined values

(1) The values that should be used in design are given in Table E.1.

Таблиця Е.1 – Характеристики сипучих матеріалів
Table E.1 – Particulate solids properties

Вид сипкого матеріалу ^{d,e} Type of particulate solid ^{d,e}	Питома вага ^b Unit weight ^b γ		Кут природного укосу ϕ_r Angle of repose ϕ_r	Кут внутрішнього тертя ϕ_i Angle of internal friction ϕ_i	Коефіцієнт бокового тиску K Lateral pressure ratio K	Коефіцієнт тертя об стінки ^c Wall friction coefficient ^c μ ($\mu = \tan \phi_w$)						Коефіцієнт місцевого навантаження від матеріалу C_{op} Patch load solid reference factor C_{op}
	γ_l	γ_u				ϕ_r	ϕ_{im}	a_ϕ	K_m	a_K	Тип стіни D1 Wall type D1	
	Нижнє значення Lower	Верхнє значення Upper		Середнє значення Mean	Коефіцієнт Factor	Середнє значення Mean	Коефіцієнт Factor	Середнє значення Mean	Середнє значення Mean	Середнє значення Mean	Коефіцієнт Factor	
	кН/м ³	кН/м ³	град	град								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Матеріал взагалі ^a Default material ^a	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0
Заповнювач Aggregate	17,0	18,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,39	0,49	0,59	1,12	0,4
Глинозем Alumina	10,0	12,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Суміш комбікорму Animal feed mix	5,0	6,0	39	36	1,08	0,45	1,10	0,22	0,30	0,43	1,28	1,0
Гранульований комбікорм Animal feed pellets	6,5	8,0	37	35	1,06	0,47	1,07	0,23	0,28	0,37	1,20	0,7
Ячмінь ★ Barley ★	7,0	8,0	31	28	1,14	0,59	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,5
Цемент Cement	13,0	16,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Цементний клінкер # Cement clinker #	15,0	18,0	47	40	1,20	0,38	1,31	0,46	0,56	0,62	1,07	0,7
Вугілля ★ Coal ★	7,0	10,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,44	0,49	0,59	1,12	0,6
Вугільний пил ★ Coal, powdered ★	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5
Кокс Coke	6,5	8,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,6
Дрібна зола Flyash	8,0	15,0	41	35	1,16	0,46	1,20	0,51	0,62	0,72	1,07	0,5
Борошно ★ Flour ★	6,5	7,0	45	42	1,06	0,36	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,6
Окатиші залізної руди Iron ore pellets	19,0	22,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,5
Гашене вапно Lime, hydrated	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,36	0,41	0,51	1,07	0,6

Кінець таблиці Е.1

Вапняковий порошок Limestone powder	11,0	13,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5
Кукурудза ★ Maize ★	7,0	8,0	35	31	1,14	0,53	1,14	0,22	0,36	0,53	1,24	0,9
Фосфат Phosphate	16,0	22,0	34	29	1,18	0,56	1,15	0,39	0,49	0,54	1,12	0,5
Картопля Potatoes	6,0	8,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,33	0,38	0,48	1,16	0,5
Пісок Sand	14,0	16,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,38	0,48	0,57	1,16	0,4
Шлаковий клінкер Slag clinkers	10,5	12,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,48	0,57	0,67	1,16	0,6
Соєві боби Soya beans	7,0	8,0	29	25	1,16	0,63	1,11	0,24	0,38	0,48	1,16	0,5
Цукор ★ Sugar ★	8,0	9,5	38	32	1,19	0,50	1,20	0,46	0,51	0,56	1,07	0,4
Окатиші бурячного цукру Sugarbeet pellets	6,5	7,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,35	0,44	0,54	1,12	0,5
Пшениця ★ Wheat ★	7,5	9,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,24	0,38	0,57	1,16	0,5

Примітка. Якщо матеріал не міститься в таблиці, слід виконати випробування.

NOTE Where this table does not contain the material to be stored, testing should be undertaken.

^a Якщо витрати на випробування не виправдані, оскільки використання широкого діапазону характеристик для проектування має незначний вплив на загальні витрати, то можуть використовуватися значення для «невизначеного матеріалу». Ці значення можуть бути адекватні для невеликих установок. Однак для великих бункерів вони призводять до дуже неекономічних проектів, і потрібно завжди виконувати випробування.

For situations where it is difficult to justify the cost of testing, because the cost implications of using a wide property range for the design are minor, the properties of the “default material” may be used. For small installations, these properties may be adequate. However, they will lead to very uneconomic designs for large silos, and testing should always be preferred.

^b Питома вага матеріалу γ_u є верхнім характеристичним значенням, яке використовується для обчислення впливів. Нижнє характеристичне значення γ_l наводиться в таблиці Е.1 для оцінки необхідного обсягу бункера, що має певну ємність.

The unit weight of the solid γ_u is the upper characteristic value, to be used for all calculations of actions. The lower characteristic value γ_l is provided in Table E.1 to assist in estimating the required volume of a silo that will have a defined capacity.

^c Ефективний коефіцієнт тертя об стінки для типу стіни D4 (гофрована стінка) може бути визначений методом, зазначеним у додатку D, D.2.

Effective wall friction for wall Type D4 (corrugated wall) may be found using the method defined in Annex D.D.2.

^d Сипучі матеріали, які вважаються схильними до вибуху пилу, позначені символом ★.

Solids in this table that are known to be susceptible to dust explosion are identified by the symbol ★

^e Сипучі матеріали, які схильні до механічного зачіплювання, позначені символом #.

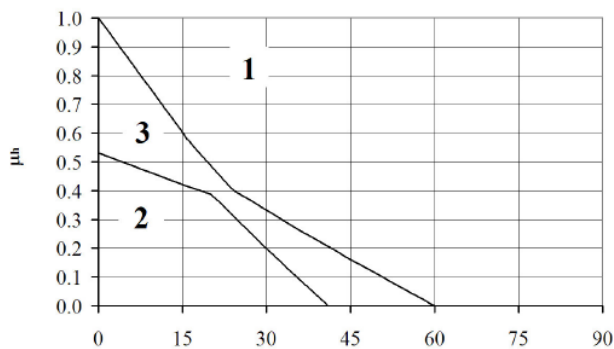
Solids that are susceptible to mechanical interlocking are identified by the symbol #

**ДОДАТОК F
(довідковий)**

ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ПОТОКУ

F.1 Масовий конічний потік

(1) Визначення форми потоку для технологічного проектування бункера знаходиться за межами області застосування даного стандарту. Тим не менше, інформація на рисунку F.1 дається для попередження проєктувальника про можливість появи масового потоку в бункері. Ця інформація також необхідна при використанні альтернативного методу розрахунку воронки за додатком G.



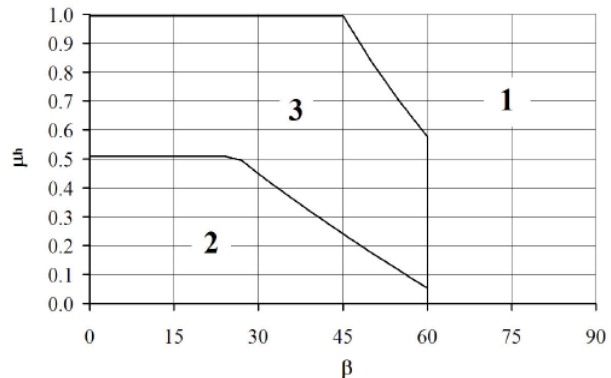
a - конічна воронка
a) Conical hoppers

**ANNEX F
(Informative)**

FLOW PATTERN DETERMINATION

F.1 Mass and funnel flow

(1) Determination of the flow pattern for the functional design of the silo is outside the scope of this standard. However, the information in Figure F.1 is given to alert the designer to the possibility that mass flow pressures may occur in the silo. This information is also needed when the alternative hopper design method of Annex G is used.



b - клиноподібна воронка
b) Wedge hoppers

Роз'яснення

- 1 конічний потік
- 2 масовий потік
- 3 між цими межами може відбуватися масовий потік або конічний потік
- β половина кута вершини воронки
- μ_h коефіцієнт тертя об стінки воронки

Примітка. У зоні між границями масового і конічного потоку, тип потоку залежить від параметрів, не включених у даний стандарт.

Key

- 1 Funnel flow
- 2 Mass flow
- 3 Mass flow or funnel flow may occur between these limits
- β Hopper apex half angle (degrees)
- μ_h Hopper wall friction coefficient

NOTE: In the zone between the limits of mass flow and funnel flow, the mode of flow depends on parameters not included in this standard.

Рисунок F.1 – Умови масового і конічного потоку, для конічних і клиноподібних воронок

Figure F.1: The conditions under which mass flow or funnel flow occur in conical and wedge-shaped hoppers

ДОДАТОК G
(обов'язковий)

АЛЬТЕРНАТИВНІ ПРАВИЛА ДЛЯ
ТИСКІВ У ВОРОНЦІ

G.1 Загальні положення

(1) Цей додаток дає два альтернативних методи оцінки тисків у воронці.

(2) Метод, зазначений у G.3 - G.9, може використовуватися для визначення тисків у воронці від заповнення і при вивантаженні. Тим не менш, слід зазначити, що сумарні тиски не відповідають вазі матеріалу, що зберігається, тому до цих формул слід ставитися обережно.

(3) Формули, зазначені у G.10, допускається альтернативно застосовувати спільно з формулами (6.3) для визначення тисків при вивантаженні для крутих воронкок.

G.2 Позначення

l_n відстань уздовж похилої поверхні між вершиною воронки і точкою переходу (див. рисунок G.1);

p_n тиск, нормальний похилій стінці воронки;

p_{ni} компоненти тиску, нормального похилій стінці воронки ($i = 1, 2$ і 3);

p_s ударний тиск в точці переходу.

G.3 Визначення

G.3.1

ударне навантаження

локальне навантаження, яке може виникати в точці переходу в бункері з масовим потоком в процесі вивантаження.

G.4 Розрахункові ситуації

(1) Воронка повинна бути розрахована для станів після заповнення і при вивантаженні.

(2) Очікувана форма потоку в воронці повинна визначатися по рисунку F.1.

ANNEX G
(Normative)

ALTERNATIVE RULES FOR PRESSURES
IN HOPPERS

G.1 General

(1) This annex gives two alternative methods of assessing the pressures in hoppers.

(2) The method defined in G.3 to G.9 may be used to define hopper pressures under both filling and discharge conditions. However, it should be noted that the integrated pressures do not correspond to the weight of the stored solid, so these expressions should be treated with caution.

(3) The expressions given in G. 10 may alternatively be used in conjunction with those of 6.3 to define the discharge pressures in steep hoppers.

G.2 Notation

l_n inclined distance from hopper apex to the transition (see Figure G. 1)

p_n pressure normal to inclined hopper wall

p_{ni} components of pressure normal to inclined hopper ($i = 1, 2$ and 3)

p_s kick pressure at transition.

G.3 Definitions

G.3.1

kick load

a local load that can occur at the transition during discharge from a mass flow silo.

G.4 Design situations

(1) hopper should be designed for filling and discharge conditions.

(2) The expected flow mode for the hopper should be determined using Figure F.1.

(3) Якщо в бункері може з'явитися конічний потік або масовий потік, то при розрахунку слід враховувати обидві можливі форми потоку.

G.5 Визначення коефіцієнта збільшення навантаження в основі C_b

(1) Для бункерів, що не відповідають зазначеним нижче в (2), коефіцієнт збільшення навантаження в основі слід визначати за формулою:

$$C_b = 1,3 \quad (G.1)$$

(2) Якщо існує вираженість виникнення динамічних навантажень від матеріалу (див. (3) більш високі навантаження діють на воронку і днище бункера, коефіцієнт збільшення навантаження в основі слід приймати як:

$$C_b = 1,6 \quad (G.2)$$

(3) Ситуації, в яких вважається можливим появи умов з (2), включають:

- якщо бункер з гнучким вертикальним стволом використовується для зберігання матеріалів, які не можуть бути класифіковані як такі, що мають низьке зчеплення (див. 1.5.23);
- якщо матеріал що зберігається схильний до механічного зачеплення (наприклад, цементний клінкер).

Примітка. Визначення зчеплення с матеріалу наводиться в С.9. Зчеплення с класифікується як низьке, якщо після ущільнення нормальним напруженням σ_r , співвідношення c / σ_r не перевищує значення 0,04 (див. 1.5.23).

G.6 Тиски від заповнення на плоскі або майже плоскі днища

(1) Вертикальні навантаження, що діють на плоскі або майже плоскі днища бункерів (нахил $\alpha \leq 20^\circ$) повинні розраховуватися за формулою

$$P_{vf} = C_b P_{vf} \quad (G.3)$$

де

P_{vf} обчислюється за формулою (5.3) або

(3) Where a silo may flow in either mass flow or funnel flow, the design should account for both possible flow modes.

G.5 Evaluation of the bottom load multiplier C_b

(1) For silos other than those identified in (2) below, the bottom load magnifier should be determined as:

(2) Where there is a significant probability that the stored solid can develop dynamic loading conditions (see (3), higher loads are applied to the hopper or silo bottom, the bottom load magnifier should be taken as:

(3) Situations under which the conditions of (2) may be deemed to occur include:

- where a silo with a slender vertical walled section is used to store solids that cannot be classed as of low cohesion (see 1.5.23);
- where the stored solid is identified as susceptible to mechanical interlocking (e.g. cement clinker).

NOTE: The evaluation of the cohesion c of a solid is given in C.9. The cohesion is classed as low if, following consolidation to a normal stress level σ_r , the assessed cohesion c does not exceed $c / \sigma_r = 0,04$ (see 1.5.23).

G.6 Filling pressures on flat and nearly-flat bottoms

(1) Vertical loads acting on flat or nearly-flat silo bottoms (inclinations $\alpha \leq 20^\circ$) should be calculated using:

where:

P_{vf} is calculated using Expression (5.3) or

(5.79) на відповідній глибині z нижче еквівалентної поверхні;

c_b коефіцієнт збільшення навантаження в основі.

(5.79) at the relevant depth z below the equivalent surface;

c_b is the bottom load magnifier.

G.7 Тиски від заповнення у воронці

(1) Якщо нахил стінки воронки відносно горизонтальної площини α перевищує 20° (див. рисунок 1.1, b), нормальний тиск на похилу стінку воронки p_n на будь якому рівні слід визначати за формулами:

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) \frac{x}{l_h} \quad (G.4)$$

де

in which:

$$p_{n1} = p_{vft} (C_b \sin^2 \beta + \cos^2 \beta) \quad (G.5)$$

$$p_{n2} = p_{vft} C_b \sin^2 \beta \quad (G.6)$$

$$p_{n3} = 3,0 \frac{A}{U} \frac{\gamma K}{\sqrt{\mu_h}} \cos^2 \beta \quad (G.7)$$

де

where:

β нахил стінки воронки відносно вертикальної осі (див. рисунок G.1);

β is the slope of the hopper to the vertical (see Figure G. 1);

x відстань між 0 і l_h (див. рисунок G.1);

x is a length between 0 and l_h (see Figure G.1);

p_{n1} і p_{n2} тиск у воронці внаслідок вертикального тиску матеріалу, що зберігається, в точці переходу;

p_{n1} and p_{n2} define the hopper pressures due to the stored material vertical pressure at the transition;

p_{n3} тиск у воронці від матеріалу в межах воронки;

p_{n3} is the hopper pressure due to solid within the hopper;

C_b коефіцієнт збільшення навантаження в основі;

C_b is the bottom load magnifier;

P_{vft} вертикальний тиск P_{vf} , діючий на рівні точки переходу після заповнення, визначається за формулою (5.3) або (5.79);

P_{vft} is the vertical pressure P_{vf} acting at the transition level after filling, calculated using Expression (5.3) or (5.79) as appropriate;

μ_h нижнє характеристичне значення коефіцієнта тертя об стінки воронки;

μ_h is the characteristic value of wall friction coefficient in the hopper (lower characteristic value);

K характеристичне значення коефіцієнта бокового тиску у вертикальному стволі;

K is the characteristic value of the lateral pressure ratio in the vertical walled segment;

A площа поперечного перерізу вертикального ствола;

U внутрішній периметр поперечного перерізу вертикального ствола.

(2) Значення тиску тертя об стінку p_t визначається за формулою

$$p_t = p_n \mu_h \quad (G.8)$$

де p_n розраховується за формулою (G.4).

(3) Якщо тиски визначаються за формулами (G.5), (G.6), (G.7), то повинно використовуватися те ж саме характеристичне значення K . Повинні розглядатися як нижнє, так і верхнє характеристичні значення.

Примітка. Так як нижнє характеристичне значення K дає максимальне значення P_{vft} (див. формулу G.3), а верхнє характеристичне значення K - максимальне значення p_{n3} , не можна зробити висновок про те, яке характеристичне значення викликає найбільш несприятливий випадок навантаження для воронки. Тому повинні бути визначені обидва характеристичні значення.

A plan cross-sectional area of vertical walled segment;

U internal perimeter of the plan cross-section of the vertical walled segment.

(2) The value of the wall frictional pressure p_t , is given by:

where: p_n is calculated from Expression (G.4).

(3) When evaluating the pressures according to Expressions G.5, G.6 and G.7, the same characteristic value of K should be used. Both the upper and lower characteristic values should be considered.

NOTE: Because the lower characteristic value of K produces the highest value of P_{vft} , but the upper characteristic value of K produces the highest value of p_{n3} , it is not possible to make general statements about which characteristic value will induce the worst loading case for the hopper. Both characteristic values should be examined.

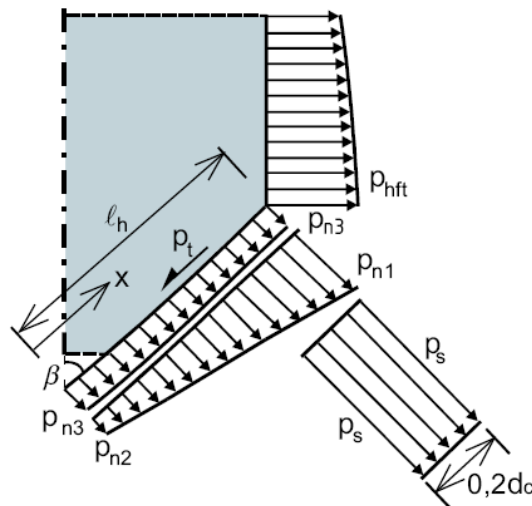


Рисунок G.1 – Альтернативне правило для навантажень на воронку
Figure G.1: Alternative rule for hopper loads

G.8 Тиски при вивантаженні на плоскі або майже плоскі днища

(1) Для плоских або майже плоских днищ бункерів (нахил $\alpha \leq 20^\circ$) навантаження при вивантаженні допускається визначати з використанням вказівок для навантажень від заповнення (див. G.6).

G.8 Discharge pressures on flat or nearly-flat bottoms

(1) For flat or nearly-flat silo bottoms (inclinations $\alpha \leq 20^\circ$), the discharge load may be calculated using the guidance for filling loads (sec G.6).

G.9 Тиски при вивантаженні на воронку

(1) Для бункерів з конічним потоком навантаження при вивантаженні допускається визначати з використанням вказівок для навантажень від заповнення (див. G.7).

(2) В бункерах з масовим потоком прикладається додатковий фіксований нормальний тиск - ударне навантаження p_s - на похилій довжині $0,2d_c$ вниз по воронці і по всьому периметру:

G.9 Discharge pressures on hoppers

(1) For funnel flow silos, the discharge loads on hoppers may be calculated using the guidance for filling loads (sec G.7).

(2) For mass flow silos, an additional fixed normal pressure, the kick load p_s (see Figure G.1) is applied, over an inclined distance of $0,2d_c$ down the hopper wall and all around the perimeter:

$$p_s = 2Kp_{vft} \tag{G.9}$$

де

p_{vft} вертикальний тиск, що діє в точці переходу після заповнення і обчислюється за формулою (5.3) або (5.79).

where:

p_{vft} is the vertical pressure acting at the transition after filling calculated using Expression (5.3) or (5.79) as appropriate.

G.10 Альтернативна формула для коефіцієнта тиску на воронку при вивантаженні F_e

(1) В умовах вивантаження середній вертикальний тиск в матеріалі що зберігається на будь-якому рівні крутої воронки допускається визначати за формулами (6.7) і (6.8) з використанням альтернативного значення параметра F_e , визначеного за формулою:

G.10 Alternative expression for the discharge hopper pressure ratio F_e

(1) Under discharge conditions, the mean vertical stress in the stored solid at any level in a steep hopper may be determined using Expressions (6.7) and (6.8), with the alternative value of the parameter F_e given by:

$$F_e = \left(\frac{1}{1 + \mu \cot \beta} \right) \left\{ 1 + 2 \left[1 + \left(\frac{\sin \phi_1}{1 + \sin \phi_1} \right) \left(\frac{\cos \varepsilon \sin(\varepsilon - \beta)}{\sin \beta} \right) \right] \right\} \tag{G.10}$$

де

in which:

$$\varepsilon = \beta + \frac{1}{2} \left(\phi_{wh} + \sin^{-1} \left\{ \frac{\sin \phi_{wh}}{\sin \phi_1} \right\} \right) \tag{G.11}$$

$$\phi_{wh} = \tan^{-1} \mu_h \tag{G.12}$$

де

where:

μ_h нижнє характеристичне значення кое-

μ_h the lower characteristic value of wall fric-

фіцієнта тертя об стінки у воронці;

ϕ_1 кут внутрішнього тертя матеріалу що зберігається.

Примітка. Якщо приймається дана теорія щодо тисків у воронці, формула (G.10) повинна застосовуватися замість формули (6.21). Ця формула для F_e ґрунтується на більш завершеної теорії Енштада для тисків при вивантаженні.

tion coefficient in the hopper;

ϕ_1 is the angle of internal friction of the stored solid.

NOTE: Where this theory of hopper pressures is adopted. Expression (G.10) should be used in place of Expression (6.21). This expression for F_e is based on the more complete theory of Enstad for discharge pressures.

ДОДАТОК Н (довідковий)

ВПЛИВИ ВНАСЛІДОК ВИБУХУ ПИЛУ

Н.1 Загальні положення

(1) Цей додаток містить рекомендації для розрахунку на впливи від вибуху пилу.

Н.2 Сфера застосування

(1) Цей додаток поширюється на всі бункери і подібні посудини, при роботі яких зберігається, виробляється, обробляється або вивантажується пожеженобезпечний і/або вибухонебезпечний нетоксичний пил у великих кількостях.

(2) Якщо можливість вибуху пилу може бути повністю виключена шляхом спеціальних заходів щодо запобігання, прийнятих при проектуванні даного підприємства, рекомендації даного додатка враховувати не слід.

(3) Цей додаток може бути використано при оцінці можливості вибуху пилу на існуючих підприємствах. У цьому випадку повинні враховуватися фактичні, а не розрахункові умови. У випадках виникнення сумнівів слід звернутися до експертів.

Н.3 Позначення

p_{\max}	максимальний надлишковий тиск;
p_{red}	знижений максимальний тиск вибуху;
p_a	початковий тиск кидання.

Н.4 Вибухонебезпечний пил і його характеристики

- (1) Багато різних видів матеріалів, що зберігаються, виділяють пил, який може бути вибухонебезпечним. Вибухи пилу можливі в органічному або неорганічному пилу, якщо частки досить дрібні, рівномірно розподілені в повітрі і можуть реагувати з киснем, викликаючи безперервну екзотермічну реакцію.
- (2)

ANNEX H (Informative)

ACTIONS DUE TO DUST EXPLOSIONS

H.1 General

(1) This annex gives advice on appropriate design for actions due to dust explosion

H.2 Scope

(1) This annex is valid for all silos and similar vessels, where combustible or/and explosive non-toxic dusts are stored, produced, handled or discharged in significant quantities.

(2) Where the possibility of dust explosions can be excluded with certainty as a result of special taken in the design of the plant, the provisions of this annex need not be considered.

(3) Where the possibility of dust explosions in existing plants is being assessed, this annex may also be used. In such cases, the actual conditions, rather than the design conditions, should be considered. Where doubt exists, experts should be consulted.

H.3 Notation

p_{\max}	maximum overpressure
p_{red}	reduced maximum explosion pressure
p_a	initial release pressure.

H.4 Explosive dusts and relevant properties

(1) Many different types of stored solids produce dust that can be explosive. Dust explosions are possible in both organic and inorganic dusts, when the particles are fine enough, distributed homogeneously in the air, and can react with oxygen to produce a continuous exothermic reaction.

(2) Під час вибуху сипучі матеріали що зберігаються в бункерах можуть виникати надлишкові тиски до 8-10 бар в замкнутих просторах без вентиляції.

(3) Основними розрахунковими параметрами для вибуху пилу є:

- параметр пилу K_{ST} ;
- максимальний надлишковий тиск p_{max} .

(4) Параметр пилу K_{ST} допускається визначати за швидкістю підвищення тиску (d_p / d_t).

(5) Розрахунок повинен виконуватися за методиками, зазначеними в EN 26184-1.

(6) Найважливішими видами вибухонебезпечного пилу є: целюлоза, добрива, горохове борошно, комбікорм, гума, зернові, дерево, тирса, буре вугілля, синтетичні матеріали, мелене зерно, кукурудзяний крохмаль, солод, житнє борошно, пшеничне борошно, молочний порошок, папір, барвники, соєве борошно, чистячі засоби і цукор.

Н.5 Джерела займання

(1) Зазвичай достатньо джерела з малою енергією для спалаху і вибуху вищевказаних типів пилу. Типовими джерелами займання в бункерах або в сусідніх приміщеннях і обладнанні є:

- гарячі поверхні, що виникають в результаті тертя пошкоджених частин обладнання;
- іскри від зварювання, зачищення або різання при ремонтних роботах;
- розжарені частки, що потрапили в бункер із сипучим матеріалом;
- іскри від сторонніх предметів;
- невідповідне або пошкоджене електричне обладнання (наприклад, освітлювальні прилади);
- виділення тепла в процесі сушіння;
- самозаймання від електростатичного розряду.

(2) During an explosion in the types of solids normally stored in silos, pressures of about 8 to 10 bar can be attained in a closed space without venting.

(3) The key design parameters for dust explosions are:

- the dust value K_{ST} ;
- the maximum overpressure p_{max} ;

(4) The dust value may be determined from the rate of pressure rise (d_p / d_t).

(5) The design should follow the procedures defined in EN 26184-1.

(6) The most important types of explosive dusts wood, wood dust, coal lignite, synthetic materials, ground com, maize starch, malt, rye flour, wheat flour, milk powder, paper, pigment, soya flour, cleaning products, sugar.

Н.5 Ignition sources

(1) Normally, a small energy source is sufficient to ignite an explosion in the above types of dust. Typical ignition sources in silos or neighbouring rooms and installations include:

- hot surfaces, generated through friction caused by a defect in machinery;
- sparks from welding, grinding and cutting during repair work;
- glowing cinders, carried into the silo with the bulk material;
- sparks from foreign bodies;
- unsuitable or defective electrical products (for example light fixtures);
- heat development during drying processes;
- self ignition by electrical static discharge.

Н.6 Заходи захисту

(1) Пошкодження внаслідок вибуху пилу мінімальні, якщо ізолювати вибух всередині простору, де він відбувається. Слід запобігти поширенню вибуху на інші частини технологічної установки. Надлишковий тиск вибуху слід також мінімізувати.

(2) Наслідки вибуху можуть бути обмежені шляхом відповідних профілактичних заходів на стадії планування при проектуванні (наприклад, за рахунок встановлення бар'єрів для вибуху, подібних брандмауеру).

(3) Окремі секції підприємства між бар'єрами повинні, в принципі, бути розраховані на одну з таких умов:

- якщо не використовується захисна вентиляція, здатні витримувати максимальний тиск вибуху p_{max} ;
- якщо використовується відповідна вентиляція, здатні витримувати знижений розрахунковий тиск p_{red} .

(4) Значення зниженого розрахункового тиску p_{red} залежить від виду пилу, розміру вентилязованого простору, первісного тиску скидання p_a і інертності вентиляційної системи.

(5) Розрахунок наслідків вибуху повинен враховувати вплив полум'я, що виривається з вентиляційного отвору. Це полум'я не повинне викликати пошкодження навколишніх елементів і не ініціювати вибух в прилеглих секціях.

(6) Проект повинен розглядати захист персоналу від осколків скла або інших конструктивних елементів. Де це можливо, вентиляційні отвори мають вести безпосередньо у відкритий простір через заплановані отвори для зменшення тиску вибуху. В окремо розташованих бункерах це може бути досягнуто за рахунок захисної вентиляції в даху. Для блоку бункерів, можуть бути використані сходові клітки або високо розташовані вікна.

(7) Захисна вентиляційна система повинна спрацьовувати при низькому тиску і мати низьку інерційність.

Н.6 Protecting precautions

(1) The damage due to an explosion is minimized by containing the explosion within the space where it originates. It should be prevented from spreading to other parts of the installation. The overpressure of the explosion should also be minimized.

(2) The consequences of the explosion can be limited by taking appropriate preventive measures during the planning stages of the project (e.g. incorporating explosion barriers in a manner similar to fire walls).

(3) The individual plant sections between barriers should, in principle, be designed for one of the following two conditions:

- where no venting is used, capable of resisting the maximum explosion pressure p_{max} , or
- where appropriate venting is used, capable of resisting a reduced design pressure p_{red} .

(4) The value of the reduced design pressure depends on the type of dust, the dimensions of the space to be vented, the venting area, the initial release pressure p_a and the inertia of the venting system.

(5) Design for the consequences of an explosion should consider the effects of the flash of fire leaving a venting outlet. This fire should neither cause any impairment of the surroundings nor initiate an explosion in an adjacent section.

(6) The design should consider limitation of the danger to persons from fragments of glass or other structural elements. Where possible, vent openings should lead directly into open spaces through planned venting outlets that reduce the explosion pressure. In single silos, this may be achieved by use of a vented roof. In the case of nested silos, stairwells or windows high above ground level may be used.

(7) The venting system should be initiated at a low pressure and should have a low inertia.

(8) Слід врахувати можливість того, що при швидкому спрацьовуванні захисної вентиляційної системи може виникнути велика кількість суміші пилу і повітря. У таких випадках слід розглянути системи з більшою інерційністю.

Н.7 Розрахунок конструктивних елементів

(1) Розрахунковий тиск від вибуху повинен вважатися аварійним впливом на всі конструктивні елементи.

Н.8 Розрахунковий тиск

(1) Усі несучі конструктивні елементи і всі елементи, які використовуються як бар'єр для вибуху, повинні бути розраховані так, щоб витримувати розрахунковий тиск вибуху пилу.

Н.9 Розрахунок на зниження тиску

(1) Інерційні сили, що виникають через швидкий викид газу з наступним охолодженням гарячого диму, слід враховувати в розрахунку. Ці ефекти пов'язані з вибухом і можуть призвести до зниження тиску, який слід враховувати в розрахунку.

Н.10 Проектування захисних вентиляційних пристроїв

(1) Всі важливі елементи захисних вентиляційних пристроїв повинні оберігатися від відриву внаслідок вибухової хвилі (наприклад, дверки вивільнення вибуху повинні бути закріплені у вузлах, кришки мають бути закріплені канатами або подібними елементами).

Примітка. Розрахунок повинен здійснюватися за методиками, наведеними в спеціальному звіті DIN Звіт 140 «Розрахунок бункерів на вибух пилу», опублікованому в січні 2005 р. видавництвом «Beuth-Verlag».

Н.11 Сили реакції від захисної вентиляції

(1) При використанні захисної вентиляції розрахунок опорної системи повинен враховувати сили реакції. Це особливо важливо для легких конструкцій з горизонтальними вентиляційними площадками і при будь-

(8) The possibility should be considered that a rapid initiation of the venting system under a low pressure may cause a larger amount of dust-air mixture to be released. Under such circumstances, consideration should be given to use of a system with greater inertia.

Н.7 Design of structural elements

(1) The design pressure of the explosion should be treated as an accidental load on all structural elements.

Н.8 Design pressure

(1) All load bearing structural elements and all elements used for the purpose of explosion barriers should be designed to withstand the dust explosion design pressure.

Н.9 Design for underpressure

(1) The inertia forces arising from a rapid discharge of gas, followed by cooling of the hot fumes should be considered in the design. These effects are associated with the explosion and can result in an underpressure that should be considered in the design.

Н.10 Design of venting devices

(1) All relevant parts of venting devices should be secured against detachment as a consequence of the explosion pressure waves (e.g. explosion relief doors should be fixed at joints; caps should be fastened by ropes or similar fixings).

NOTE: The design may follow the procedures described in DIN Report 140 "Design of silos for dust explosion" published in January 2005 by Beuth-Verlag.

Н.11 Reaction forces by venting

(1) When venting is used, the reaction forces must be considered in the design of support systems. These are especially important in lightweight structures with horizontal venting areas and in any venting arrangement that is

якому несиметричному розміщенні захисних вентиляційних систем в плані.

Примітка. Розрахунок може виконуватися за методиками, наведеними в спеціальному звіті DIN Звіт 140 «Розрахунок бункерів на дію вибуху пилу», опублікованому в січні 2005 р. видавництвом «Beuth-Verlag».

unsymmetrical in the silo cross section.

NOTE: The design may follow the procedures described in DIN Report 140 "Design of silos for dust explosion" published in January 2005 by Beuth-Verlag.

**ДОДАТОК НА
(довідковий)**

**ПЕРЕЛІК НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ (ДСТУ),
ІДЕНТИЧНИХ МІЖНАРОДНИМ СТАНДАРТАМ (МС), ПОСИЛАННЯ НА ЯКІ Є В
EN 1991-4:2006**

Позначення та назва європейського стандарту	Ступінь відповідності	Позначення та назва національного стандарту України (ДСТУ)
EN 1990 Basis of structural design	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1990:2008 «Єврокод. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDT).
EN 1991-1-1 Eurocode 1: Actions on structures: Part 1.1: Densities, self-weight and imposed loads	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-1. Загальні дії. Питома вага, власна вага, експлуатаційні навантаження для споруд (EN 1991-1-1:2002, IDT)»
EN 1991-1-2 Eurocode 1: Actions on structures: Part 1.2: Actions on structures exposed to fire	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі (EN 1991-1-2:2002, IDT)»
EN 1991-1-3 Eurocode 1: Actions on structures: Part 1.3: Snow loads	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-3:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-3. Загальні дії. Снігові навантаження (EN 1991-1-3:2003, IDT)»
EN 1991-1-4 Eurocode 1: Actions on structures: Part 1.4: Wind actions	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-4. Загальні дії. Вітрові навантаження (EN 1991-1-4:2005, IDT)»
EN 1991-1-5 Eurocode 1: Actions on structures: Part 1.5: Thermal actions	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-5:20XX «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-5. Загальні дії. Теплові дії (EN 1991-1-5:2003, IDT)»
EN 1991-1-6 Eurocode 1: Actions on structures: Part 1.6: General actions. Actions during execution	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-6:20XX «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-6. Загальні дії. Дії під час зведення (EN 1991-1-6:2005, IDT)»
EN 1991-1-7 Eurocode 1: Actions on structures: Part 1.7: Accidental actions	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-7:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-7. Загальні дії. Особливі динамічні впливи (EN 1991-1-7:2006, IDT)»

EN 1991-2 Eurocode 1: Actions on structures: Part 2: Traffic loads on bridges	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1991-2:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 2. Рухомі навантаження на мости (EN 1991-2:2003, IDT)»
EN 1991-3 Eurocode 1: Actions on structures: Part 3: Actions induced by cranes and machinery	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1991-3:20XX «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 3. Загальні дії. Дії, що викликані кранами та обладнанням (EN 1991-3:2006, IDT)»
EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1992 «Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій», всі частини
EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій», всі частини
EN 1993-1-6 Eurocode 3: Design of steel structures: General rules: Part 1.6: Supplementary rules for the strength and stability of shell structures	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-6:2011 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-6. Міцність та стійкість оболонок (EN 1993-1-6:2007, IDT)»
EN 1993-4-1 Eurocode 3: Design of steel structures: Part 4.1: Silos	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1:20XX «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 4-1. Силоси (EN 1993-4-1:2007, IDT)»
EN 1993-4-2 Eurocode 3: Design of steel structures: Part 4.2: Tanks	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993-4-2:20XX «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 4-2. Резервуари (EN 1993-4-2:2007, IDT)»
EN 1994 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1994 «Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій», всі частини
EN 1995 Eurocode 5: Design of timber structures	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1995 «Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій», всі частини
EN 1996 Eurocode 6: Design of masonry structures	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1996 «Єврокод 6. Проектування кам'яних конструкцій», всі частини
EN 1997 Eurocode 7: Geotechnical design	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1997 «Єврокод 7. Геотехнічне проектування», всі частини
EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1998 «Єврокод 8. Проектування сейсмостійких конструкцій», всі частини
EN 1999 Eurocode 9: Design of aluminium alloy structures	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1999 «Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій», всі частини

пр. ДСТУ-Н Б EN 1991-4:20XX

Код УКНД: 91.080.10

Ключові слова: Бункери, резервуари, воронки, навантаження, впливи, часткові коефіцієнти, форми воронки, гнучкість бункера, класи бункерів, методи випробування.

Ректор Донбаської національної академії
будівництва і архітектури, д.т.н., проф.
(науковий керівник)

Є. Горохов

Проректор з наукової роботи,
д.т.н., проф.

В. Муцанов

Відповідальний виконавець розробки,
к.т.н., доц.

В. Губанов

Виконавець розробки,
к.т.н., доц.

І. Роменський

Виконавець розробки,
к.т.н., доц.

С. Пчельніков