НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЄВРОКОД 3. ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Частина 1-7. Пластинчасті конструкції при навантаженні поза межами площини

(EN 1993-1-7:2007, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-7:20XX

(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.

2 НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від _____ № _____

3 Національний стандарт відповідає EN 1993-1-7:2007 Eurocode 3**:** Design of steel structures - Part 1-7: Plated structures subject to out of plane loading. (Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-7. Пластинчасті конструкції при навантаженні поза межами площини)

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**		VI
Основи програми Єврокоду		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
Національний додаток до EN 1999-1-4:2007		National annex for EN 1999-1-4:2007		5
1	**Загальні положення**	**1**	**General**	6
1.1	Галузь застосування	1.1	Scope	6
1.2	Нормативні посилання	1.2	Normative references	7
1.3	Терміни та визначення	1.3	Terms and definitions	8
1.4	Позначення	1.4	Symbols	10
2	**Основи проектування**	**2**	**Basis of design**	14
2.1	Вимоги	2.1	Requirements	14
2.2	Принципи розрахунку за граничними станами	2.2	Principles of limit state design	14
2.3	Впливи	2.3	Actions	15
2.4	Розрахунок на підставі випробувань	2.4	Design assisted by testing	15
3	**Властивості матеріалів**	**3**	**Material properties**	16
4	**Довговічність**	**4.**	**Durability**	16
5	**Статичний розрахунок**	**5**	**Structural analysis**	17
5.1	Загальні положення	5.1	General	17
5.2	Напружений стан в пластині	5.2	Stress resultants in the plate	17
6	**Граничні стани першої групи**	**6**	**Ultimate limit states**	26
6.1	Загальні положення	6.1	General	26
6.2	Обмеження пластичних деформацій	6.2	Plastic limit	26
6.3	Малоциклова втома	6.3	Cyclic plasticity	28
6.4	Втрата стійкості	6.4	Buckling resistance	29
7	**Втома**	**7**	**Fatigue**	31
8	**Граничні стани другої групи**	**8**	**Serviceability limit state**	32
8.1	Загальні положення	8.1	General	32
8.2	Прогини з площини	8.2	Out of plane deflection	32
8.3	Хиткість (надмірні коливання)	8.3	Excessive vibrations	32
Додаток А		**Annex A**		
Типи розрахунків пластин		**Types of analysis for the design of plated structures**		33
A.1	Загальні положення	A.1	General	33
A.2	Лінійний пружний розрахунок пластини (LA)	A.2	Linear elastic plate analysis (LA)	33
A.3	Геометрично нелінійний розрахунок (GNA)	A.3	Geometrically nonlinear analysis (GNA)	34
A.4	Розрахунок з урахуванням фізичної нелінійності (MNA)	A.4	Materially nonlinear analysis (MNA)	34
A.5	Розрахунок з урахуванням геометричної і фізичної нелінійності (GMNA)	A.5	Geometrically and materially non linear analysis (GMNA)	34
A.6	Геометрично нелінійний пружний розрахунок з урахуванням початкових недосконалостей (GNIA)	A.6	Geometrically nonlinear analysis elastic with imperfections included (GNIA)	35
A.7	Геометрично і фізично нелінійний розрахунок з урахуванням початкових недосконалостей (GMNIA)	A.7	Geometrically and materially non linear analysis with imperfections included (GMNIA)	35
Додаток В		**Annex B**		
Напружений стан вільно підпертих прямокутних пластин за теорією малих переміщень		**Internal stresses of unstiffened rectangular plates from small deflection theory**		36
B.1	Загальні положення	B.1	General	36
B.2	Позначення	B.2	Symbols	36
B.3	Рівномірно розподілене навантаження	B.3	Uniformly distributed loading	37
B.4	Навантаження на центральній ділянці пластини	B.4	Central patch loading	40

Додаток С
Напружений стан непідкріплених прямокутних пластин за теорією великих прогинів 43
С.1 Загальні положення 43
С.2 Позначення 43
С.3 Рівномірно розподілене навантаження по всій поверхні пластини 44
С.4 Розподілене навантаження на центральній ділянці пластини 51

Annex C
Internal stresses of unstiffened rectangular plates from large deflection theory 43
C.1 General 43
C.2 Symbols 43
C.3 Uniformly distributed loading on the total surface of the plate 44
C.4 Central patch loading 51

Додаток НА
Перелік національних стандартів України (ДСТУ), ідентичних МС, посилання на які є в EN 1993-1-7:2007 59

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей стандарт є тотожним перекладом EN 1993-1-7:2007 Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-7: Plated structures subject to out of plane loading . (Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-7. Пластинчасті конструкції при навантаженні поза межами площини).

EN 1993-1-7:2007 підготовлено Технічним Комітетом CEN/TC250 «Конструкційні Єврокоди», Секретаріат якого утримує Британський інститут стандартів.

До національного стандарту долучено англомовний текст.

На території України як національний стандарт діє ліва колонка тексту ДСТУ-Н Б EN 1993-1-7:2007 Eurocode 3 − Design of steel structures − Part 1-7: Plated structures subject to out of plane loading . (Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій - Частина 1-7. Пластинчасті конструкції при навантаженні поза межами площини), 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.2.6 «Конструкції будинків і споруд».

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:

- слова «цей міжнародний стандарт» замінено на «цей стандарт»;
- структурні елементи стандарту: «Обкладинку», «Передмову», «Національний вступ» та «Визначення понять» оформлено згідно з вимогами національної стандартизації України;
- з «Передмови до EN 1993-1-7:2007» 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 EN 1993-1-7:2007, наведено в додатку НА.

Копії МС, не прийнятих як національні стандарти, на які є посилання в EN 1993-1-7:2007, можна отримати в Головному фонді нормативних документів ДП «УкрНДНЦ».

Вступ

Цей Європейський Стандарт EN 1-7, Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій: Частина 1-7. Пластинчасті конструкції при навантаженні поза межами площини, був підготовлений Технічним Комітетом CEN/TC250 «Конструкційні Єврокоди», Секретаріат якого тримає БІС. CEN/TC250 відповідальний за всі Конструкційні Єврокоди.

Цей Європейський Стандарт повинен отримати статус Держстандарту або публікацію ідентичного тексту, або підтвердженням не пізніше, як у жовтні 2007, і конфліктуючі Держстандарти мають бути скасовані не пізніше березня 2010.р.

Цей Єврокод замінює ENV 1993-1-7.

Згідно до Внутрішніх Правил CEN-CENELEC, Організації Національних Стандартів наступних країн зв'язані для реалізації цього Європейського Стандарту: Австрія, Бельгія, Болгарія, Кіпр, Чеська Республіка, Данія, Естонія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Греція, Угорщина, Ісландія, Ірландія, Італія, Латвія, Литва, Люксембург, Мальта, Нідерланди, Норвегія, Польща, Португалія, Румунія, Словаччина, Словенія, Іспанія, Швеція, Швейцарія і Об'єднане Королівство.

Національний додаток до EN 1993-1-7.

Цей стандарт надає альтернативні процедури, значення і рекомендації з примітками які вказують, де, можливо, потрібна розробка національних альтернатив. Національний стандарт, який реалізує EN 1993-1-7, повинен мати Національний Додаток, що містить всі Національно визначені параметри, які мають використовуватися для проектування сталевих конструкцій, що конструюють в доречній країні. Національний вибір дозволяється в EN 1-7 через: − 6.3.2(4).

Foreword

This European Standard EN 1993-1-7, Eurocode 3: Design of steel structures: Part 1-7 Plated structures subject to out of plane loading, has been prepared by Technical Committee CEN/TC250 « Structural Eurocodes », the Secretariat of which is held by BSI. CEN/TC250 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 2007, and conflicting National Standards shall be withdrawn at latest by March 2010.

This Eurocode supersedes ENV 1993-1-7.

According to the CEN-CENELEC Internal Regulations, the National Standard Organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Bulgaria 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 United Kingdom.

National annex for EN 1993-1-7

This standard gives alternative procedures, values and recommendations with notes indicating where national choices may have to be made. The National Standard implementing EN 1993-1-7 should have a National Annex containing all Nationally Determined Parameters to be used for the design of steel structures to be constructed in the relevant country.

National choice is allowed in EN 1993-1-7 through: − 6.3.2(4)

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЄВРОКОД 3. ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЧАСТИНА 1-7. ПЛАСТИНЧАСТІ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ НАВАНТАЖЕННІ ПОЗА МЕЖАМИ ПЛОЩИНИ

ЕВРОКОД 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ЧАСТЬ 1-7. ПЛАСТИНЧАТЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИ НАГРУЗКЕ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОСКОСТИ

EUROCODE 3: DESIGN OF STEEL STRUCTURES
PART 1-7: PLATED STRUCTURES SUBJRCT TO OUT OF PLANE LOADING

Чинний від _____

Основи програми Єврокоду

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 слугувати 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 комплекту першого покоління Європейських кодів у 80-х роках.

У 1989 році Комісія та держави-члени EU

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.

In 1989, the Commission and the Member

(Європейської Спільноти) та EFTA (Європейської Асоціації Вільної Торгівлі) на основі угоди[1] між Комісією та CEN (Європейським комітетом зі стандартизації) вирішили передати підготовку та публікацію Єврокодів CEN 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/EEC щодо будівельних виробів – CPD – та Директив Ради 93/37/EEC, 92/50/EEC та 89/440/EEC відносно суспільних робіт та послуг і еквівалентних директив EFTA, започаткованих з метою допомогти заснуванню внутрішнього ринку).

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).

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.

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

EN 1990 Eurocode 0: 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

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.

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.

[1]Угода між Комісією Європейської Спільноти та Європейським комітетом зі стандартизації (CEN) 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).

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/EEC, зокрема основній вимозі № 1 – Механічна міцність та стійкість – 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 документами[2] розділу 12 CPD, незважаючи та те, що вони мають різну природу з гармонізованими стандартами на вироби[3]. Таким чином, технічні аспекти, які випливають 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.

[2]Відповідно до ст. 3.3 документа CPD основні вимоги (ER) отримають конкретну форму у тлумачних документах для створення необхідних зв'язків між основними вимогами та мандатами для гармонізованих ENs та 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 тощо;

c) слугувати рекомендацією для встановлення узгоджених стандартів і настанов для

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 No.1 – Mechanical resistance and stability, and Essential Requirement No 2 – Safety in case of fire

- as a basis for specifying contracts for the execution of construction works and related engineering services

- as a framework for drawing up harmonised technical specifications for construction products (EN's and ETA's)

The Eurocodes, as far as they concern the construction works themselves, have a direct relationship with the Interpretative Documents[2] referred to in Article 12 of the CPD, although they are of a different nature from harmonised product standards[3]. 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]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]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.;

c) serve as a reference for the establishment of harmonised standards and guidelines for European technical approvals.

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

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 часткових коефіцієнтів надійності та/або класифікацію випадків, для яких Єврокод регламентує використання альтернатив;
– значення, які слід використовувати там, де в Єврокоді наведено тільки позначення;
– специфічні дані країни (географічні, кліматичні тощо), наприклад, карта вітру;
– конкретні методики для тих випадків, коли Єврокод регламентує використання альтернатив.

The Eurocodes, de facto, play a similar role in the field of the ER 1 and a part of ER 2.

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 [informative].

The National Annex (informative) 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 for partial factors and/or classes where alternatives are given in the Eurocode;
– values to be used where a symbol only is given in the Eurocode;
– geographical and climatic data specific to the Member State, e.g. snow map;
– the procedure to be used where alternative procedures are given in the Eurocode;
– 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 робіт[4]. 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.

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 works[4]. Furthermore, all the information accompanying the CE Marking of theconstruction products which refer to Eurocodes shall clearly mention which Nationally Determined Parameters
have been taken into account.

Національний додаток для EN 1993-1-7

Цей стандарт надає альтернативні процедури, величини і рекомендації для класів з примітками, які вказують місце, де необхідно зробити національні вибір. Таким чином, Національний стандарт, який імплементує EN 1990 повинен мати Національний додаток, який включає всі Національно визначені параметри, які використовуються при проектуванні будівель та цивільних споруд , які будуть побудовані у відповідній країні.

National annex for EN 1993-1-7

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 1993-1-7 should have a National Annex containing all Nationally Determined Parameters to be used for the design of aluminium structures to be constructed in the relevant country.

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Галузь застосування

(1)P Цей нормативний документ містить основні правила проектування вільно підпертих і підкріплених пластин, які формують частину плоских листових конструкцій, завантажених навантаженням поза межами площини, таких як силоси, резервуари і контейнери. Даний стандарт призначений для застосування разом з EN 1993-1-1 та іншими стандартами відповідного призначення.

(2) Цим нормативним документом визначаються проектні значення міцності: частковий коефіцієнт надійності може бути прийнятий з національних додатків стандартів відповідного призначення. Проектні значення, що рекомендуються, представлені в стандартах відповідного призначення.

(3) Цей норматив містить вимоги до проектування за граничними станами першої групи:

– пластичне руйнування;
– малоциклова втома;
– втрата стійкості;
– руйнування внаслідок втоми.

(4) Загальна рівновага конструкції (зсув, відрив, перекидання) не включена до цього стандарту, але розглядається в EN 1993-1-1. Розглядання особливих умов представлене у відповідних частинах EN 1993.

(5) Правила цього стандарту відносяться до вільно підпертих і підкріплених сегментів пластин. Ці сегменти пластин можуть уявляти собою або окремі пластини, або частини плоских листових конструкцій, що завантажені навантаженням поза межами площини.

(6) Для перевірки несучої здатності вільно підпертих і підкріплених плоских листових конструкцій, що сприймають тільки впливи в їх площині, див. EN 1993-1-5. В цьому стандарті розглядаються правила взаємодії навантажень в площині та поза її межами.

1 GENERAL

1.1 Scope

(1)P EN 1993-1-7 provides basic design rules for the structural design of unstiffened and stiffened plates which form part of plated structures such as silos, tanks or containers, that are loaded by out of plane actions. It is intended to be used in conjunction with EN 1993-1-1 and the relevant application standards.

(2) This document defines the design values of the resistances: the partial factor for resistances may be taken from National Annexes of the relevant application standards. Recommended values are given in the relevant application standards.

(3) This Standard is concerned with the requirements for design against the ultimate limit state of:

– plastic collapse;
– cyclic plasticity;
– buckling;
– fatigue.

(4) Overall equilibrium of the structure (sliding, uplifting, overturning) is not included in this Standard, but is treated in EN 1993-1-1. Special considerations for specific applications may be found in the relevant applications parts of EN 1993.

(5) The rules in this Standard refer to plate segments in plated structures which may be stiffened or unstiffened. These plate segments may be individual plates or parts of a plated structure. They are loaded by out of plane actions.

(6) For the verification of unstiffened and stiffened plated structures loaded only by in-plane effects see EN 1993-1-5. In EN 1993-1-7 rules for the interaction between the effects of inplane and out of plane loading are given.

(7) Норми проектування для холодноформованих елементів і профільованих листів розглядаються в EN 1993-1-3.

(7) For the design rules for cold formed members and sheeting see EN 1993-1-3.

(8) Температурний діапазон, у межах якого цей стандарт дозволений до використання, визначений у відповідних частинах EN 1993.

(8) The temperature range within which the rules of this Standard are allowed to be applied are defined in the relevant application parts of EN 1993.

(9) Технічні умови цього нормативу відносяться до конструкцій, що виготовлені у відповідності до EN 1090-2.

(9) The rules in this Standard refer to structures constructed in compliance with the execution specification of EN 1090-2.

(10) Вітрове навантаження і навантаження від тиску сипучих матеріалів повинні розглядатися як квазистатичні впливи. Для перевірки міцності за втомою, ефекти, які спричинені динамічними навантаженнями, повинні враховуватися відповідно до EN 1993-1-9. Головні вектори напружень, що виникають від динамічних навантажень, розглядаються в цій частині як квазистатичні.

(10) Wind loading and bulk solids flow should be treated as quasi-static actions. For fatigue, the dynamic effects must be taken into account according to EN 1993-1-9. The stress resultants arising from the dynamic behaviour are treated in this part as quasi-static.

1.2 Нормативні посилання

1.2 Normative references

(1) Для використання цього стандарту необхідне використання датованих або недатованих посилань на інші документи. Ці нормативні посилання цитують у відповідних місцях за текстом і наводяться у кінці документу у вигляді списку. Для датованих посилань наступні правки або зміни в будь-якій з цих публікацій наводяться в цьому Стандарті лише за умовою відповідної поправки або перегляду. Для недатованих посилань використовується останнє видання документу з посиланням (включаючи усі його зміни).

(1) 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 referred to applies.

ДСТУ-Н Б EN 1993 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій»:

EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures:

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1993-1-1:2005, IDT)»

Part 1.1: General rules and rules for buildings

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих елементів і профільованих листів (EN 1993-1-3:2006, IDT)»

Part 1.3: Cold-formed members and sheeting

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-4:2012 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-4. Загальні положення. Додаткові правила для нержавіючої сталі (EN 1993-1-4:2006, IDT)»	Part 1.4: Stainless steels
ДСТУ-Н Б EN 1993-1-5:2012 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-5. Пластинчасті конструктивні елементи (EN 1993-1-5:2006, IDT)»	Part 1.5: Plated structural elements
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)»	Part 1.6: Strength and stability of shell structures
ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8:2011 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-8. Проектування з’єднань (EN 1993-1-8:2005, IDT)»	Part 1.8: Design of joints
ДСТУ-Н Б EN 1993-1-9:2012 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-9. Витривалість (EN 1993-1-9:2005, IDT)»	Part 1.9: Fatigue strength of steel structures
ДСТУ-Н Б EN 1993-1-10:2012 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-10. Ударна в’язкість (EN 1993-1-10:2005, IDT)»	Part 1.10: Selection of steel for fracture toughness and through-thickness properties
ДСТУ-Н Б EN 1993-1-12:2012 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-12. Додаткові правила до EN 1993 для сталей класів вище S 700 (EN 1993-1-12:2007, IDT)»	Part 1.12: Additional rules for the extension of EN 1993 up to steel grades S700
ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1:20XX «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 4-1. Силоси (EN 1993-4-1:2007, IDT)»	Part 4.1: Silos
ДСТУ-Н Б EN 1993-4-2:20XX «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 4-2. Резервуари (EN 1993-4-2:2007, IDT)»	Part 4.2: Tanks
ДСТУ-Н Б EN 1991 «Єврокод 1. Дії на конструкції», всі частини	EN 1991 Eurocode 1 – Action on structures – All parts

1.3 Терміни та визначення

(1) Див. 1.5 EN 1990.

(2) В цьому стандарті застосовують терміни, встановлені в EN 1993-1-1, а також наступні терміни із відповідними

1.3 Terms and definitions

(1) The rules in EN 1990, clause 1.5 apply.

(2) The following terms and definitions are supplementary to those used in EN 1993-1-1:

визначеннями:

1.3.1 Конструктивні форми і геометрія

1.3.1.1 плоска листова конструкція (plated structure): конструкція, яка складається із номінально плоских пластин, з'єднаних разом. Пластини можуть бути як вільно підпертими, так і підкріпленими (рисунок 1.1).

1.3.1 Structural forms and geometry

1.3.1.1 Plated structure A structure that is built up from nominally flat plates which are joined together. The plates may be stiffened or unstiffened, see Figure 1.1.

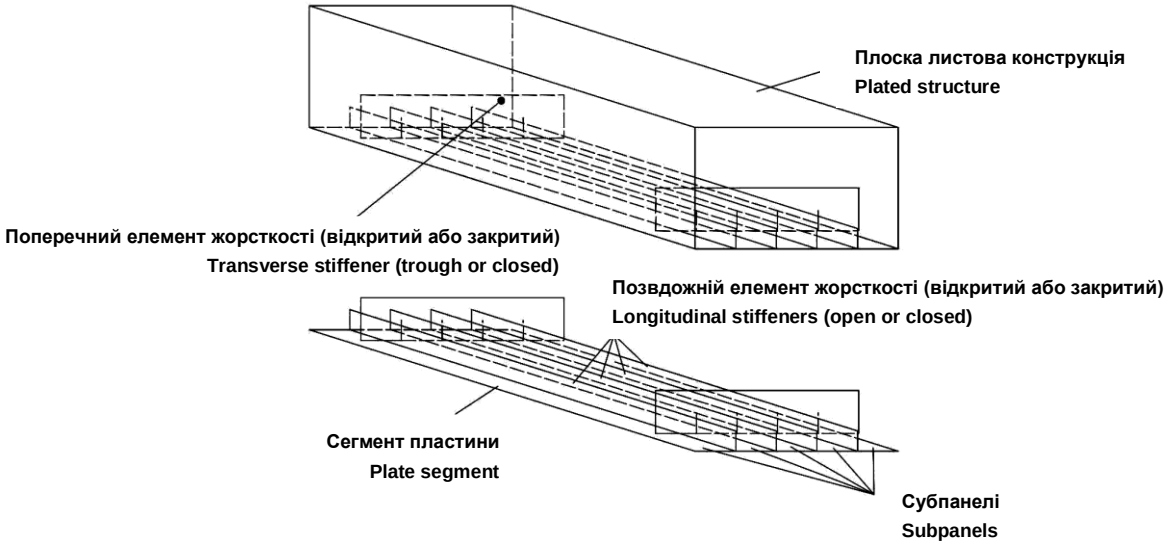


Рисунок 1.1 — Елементи плоских листових конструкцій.
Figure 1.1 — Components of a plated structure.

1.3.1.2 сегмент пластини (plate segment): плоский лист, який може бути вільно підпертим або підкріпленим. Сегмент пластини повинен розглядатися як окремий елемент плоскої листової конструкції.

1.3.1.2. Plate segment A plate segment is a flat plate which may be unstiffened or stiffened. A plate segment should be regarded as an individual part of a plated structure.

1.3.1.3 елемент жорсткості (stiffener): лист або профіль, прикріплений до пластини з метою запобігання втрати місцевої стійкості пластини або її підсилення при дії локального навантаження. Розрізняють наступні види елементів жорсткості:

– поздовжній, якщо його напрям співпадає з основним робочим напрямом елемента, частиною якого він є;
– поперечний, якщо його напрям перпендикулярний до основного робочого напряму елемента, частиною якого він є.

1.3.1.3 Stiffener A plate or a section attached to the plate with the purpose of preventing buckling of the plate or reinforcing it against local loads. A stiffener is denoted:

– longitudinal if its longitudinal direction is in the main direction of load transfer of the member of which it forms a part;
– transverse if its longitudinal direction is perpendicular to the main direction of load transfer of the member of which it forms a part.

1.3.1.4 підкріплена пластина (stiffened plate): пластина з поперечними або поздовжніми елементами жорсткості.

1.3.1.4 Stiffened plate Plate with transverse and/or longitudinal stiffeners.

1.3.1.5 субпанель (sub-panel):

1.3.1.5 Sub-panel Unstiffened plate sur-

непідкріплена пластина, яка окаймлена елементами жорсткості у вигляді стінки з поясами, і/або пояса зі стінкою.

rounded by stiffeners or, on a web, by flanges and/or stiffeners or, on a flange, by webs and/or stiffeners.

1.3.2 Терміни і визначення

1.3.2.1 пластичне руйнування (plastic collapse): вид руйнування в граничному стані, за яким конструкція втрачає здатність до опору навантаженню, що підвищується, внаслідок розвитку пластичного механізму.

1.3.2.2 розрив при розтягуванні (tensile rupture): вид руйнування в граничному стані, за яким руйнування пластини відбувається внаслідок розтягу.

1.3.2.3 малоциклова втома (cyclic plasticity): явище, яке наступає внаслідок текучості, що повторюється, внаслідок циклів навантаження і розвантаження.

1.3.2.4 втрата стійкості (buckling): явище, яке наступає внаслідок стиску і/або зсуву.

1.3.2.5 втома (fatigue): явище, яке наступає внаслідок дії циклічного навантаження, яке викликає, в свою чергу, тріщиноутворення або руйнування.

1.3.2 Terminology

1.3.2.1 Plastic collapse A failure mode at the ultimate limit state where the structure loses its ability to resist increased loading due to the development of a plastic mechanism.

1.3.2.2 Tensile rupture A failure mode in the ultimate limit state where failure of the plate occurs due to tension.

1.3.2.3 Cyclic plasticity Where repeated yielding is caused by cycles of loading and unloading.

1.3.2.4 Buckling Where the structure looses its stability under compression and/or shear.

1.3.2.5 Fatigue Where cyclic loading causes cracking or failure.

1.3.3 Впливи

1.3.3.1 поперечне навантаження (out of plane loading): навантаження, яке додається перпендикулярно до серединної поверхні сегмента пластини.

1.3.3.2 зусилля в площині (in-plane forces): Зусилля, що діють паралельно поверхні сегмента пластини. Вони викликані ефектами, які діють в площині пластини (наприклад, впливи температури або тертя), або загальним навантаженням, прикладеним до плоскої листової конструкції.

1.3.3 Actions

1.3.3.1 Out of plane loading The load applied normal to the middle surface of a plate segment.

1.3.3.2 In-plane forces Forces applied parallel to the surface of the plate segment. They are induced by in-plane effects (for example temperature and friction effects) or by global loads applied at the plated structure.

1.4 Позначення

(1) На додаток до тих, які наведені в EN 1990 і EN 1993-1-1, використовуються наступні позначення:

(2) Мембранні напруження у прямокутній пластині (рисунок 1.2):

$\sigma_{m,x}$ – мембранні нормальні напруження в напряму осі x, які виникають від мембранного зусилля n_x, що діє на

1.4 Symbols

(1) In addition to those given in EN 1990 and EN 1993-1-1, the following symbols are used:

(2) Membrane stresses in rectangular plate, see Figure 1.2:

$\sigma_{m,x}$ is the membrane normal stress in the x-direction due to membrane normal stress resultant per unit width n_x;

одиницю ширини пластини;

$\sigma_{m,y}$ − мембранні нормальні напруження в напряму осі y, які виникають від мембранного зусилля n_y, що діє на одиницю ширини пластини;

$\tau_{m,xy}$ − мембранні дотичні напруження в площині xoy, які виникають від мембранного зсувного зусилля n_{xy}, на одиницю ширини пластини.

$\sigma_{m,y}$ is the membrane normal stress in the y − direction due to membrane normal stress resultant per unit width n_y;

$\tau_{m,xy}$ is the membrane shear stress due to membrane shear stress resultant per unit width n_{xy}.

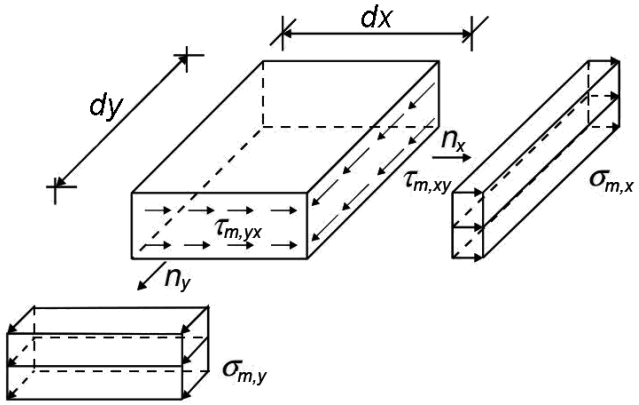


Рисунок 1.2 — Мембранні напруження.
Figure 1.2 — Membrane stresses.

(3) Нормальні і дотичні напруження в прямокутній пластині від згину (рисунок 1.3):

$\sigma_{b,x}$ − нормальні напруження в напряму осі x від згинального моменту m_x, що діє на одиницю ширини пластини;

$\sigma_{b,y}$ − нормальні напруження в напряму осі y від згинального моменту m_y, що діє на одиницю ширини пластини;

$\tau_{b,xy}$ − дотичні напруження від крутильного моменту m_{xy}, що діє на одиницю ширини пластини;

$\tau_{b,xz}$ − дотичні напруження від поперечної сили q_x, що діє на одиницю ширини пластини;

$\tau_{b,yz}$ − дотичні напруження від поперечної сили q_y, що діє на одиницю ширини пластини.

(3) Bending and shear stresses in rectangular plates due to bending, see Figure 1.3:

$\sigma_{b,x}$ is the stress in the x-direction due to bending moment per unit width m_x;

$\sigma_{b,y}$ is the stress in the y-direction due to bending moment per unit width m_y;

$\tau_{b,xy}$ is the shear stress due to the twisting moment per unit width m_{xy};

τ_{bxz} is the shear stress due to transverse shear forces per unit width q_x associated with bending;

τ_{byz} is the shear stress due to transverse shear forces q_y associated with bending.

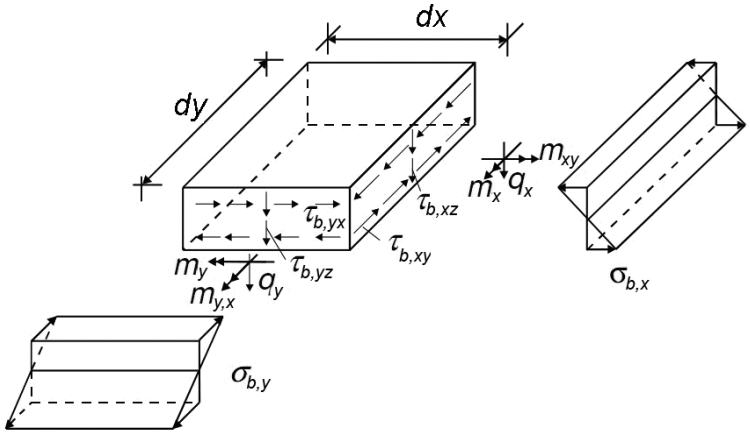


Рисунок 1.3 — Нормальні і дотичні напруження, що виникають при згині.
Figure 1.3 — Normal and shear stresses due to bending.

Примітка. В загальному випадку в будь-якій точці пластини існує вісім складових вектору напружень. Дотичні напруження $\tau_{b,xz}$ і $\tau_{b,yz}$ від q_x і q_y у більшості випадків є несуттєвими в порівнянні із іншими компонентами напруженого стану, і відповідно, вони можуть не ураховуватися при проектуванні.

NOTE. In general, there are eight stress resultants in a plate at any point. The shear stresses r_{bxz} and r_{byz} due to q_x and q_y are in most practical cases insignificant compared to the other components of stress, and therefore they may normally be disregarded for the design.

(4) Стрічкові літери грецького алфавіту:
α − співвідношення довжин сторін сегменту пластини (a/b);
ε − відносні деформації;
α_R − коефіцієнт збільшення навантаження;
ρ − знижуючий коефіцієнт при втраті стійкості пластини;
σ_i − нормальне напруження в напряму *i*, див. рисунки 1.2 і 1.3;
τ − дотичне напруження, див. рисунки 1.2 і 1.3;
ν − коефіцієнт Пуасона;
γ_M − частковий коефіцієнт надійності.

(4) Greek lower case letters:
α − aspect ratio of a plate segment (a/b);
ε − strain;
α_R − load amplification factor;
ρ − reduction factor for plate buckling;
σ_i − Normal stress in the direction i, see Figure 1.2 and Figure 1.3;
τ − Shear stress, see Figure 1.2 and Figure 1.3;
ν − Poisson's ratio;
γ_M − partial factor.

(5) Прописні літери латинського алфавіту:
E − модуль пружності.

(5) Latin upper case letter:
E − Modulus of elasticity.

(6) Стрічкові літери латинського алфавіту:
a − довжина сегменту пластини, рисунки 1.4 і 1.5;
b − ширина сегменту пластини, див. рисунки 1.4 і 1.5;
f_{yk} − нормативне значення границі

(6) Latin lower case letters:
a length of a plate segment, see Figure 1.4 and Figure 1.5;
b width of a plate segment, see Figure 1.4 and Figure 1.5;
f_{yk} yield stress or 0,2% proof stress for ma-

плинності або нормативне значення σ_{02} для матеріалу з нелінійною діаграмою $\sigma - \varepsilon$;

n_i − мембранна поздовжня сила в і-тому напрямі, кН/м;

n_{xy} − мембранне зусилля зсуву, кН/м;

m − згинальний момент, кН·м/м;

q_z − поперечна сила в напряму z, кН/м;

t − товщина сегменту пластини, див. рисунки 1.4 і 1.5.

Примітка. Символи і позначення, які не перелічені вище, пояснюються в тексті при першій згадуванні.

terial with non linear stress-strain curve;

n_i membrane normal force in the direction i [kN/m];

n_{xy} membrane shear force [kN/m];

m bending moment [kNm/m];

q_z transverse shear force in the z direction [kN/m];

t thickness of a plate segment, see figure 1.4 and 1.5.

NOTE. Symbols and notations which are not listed above are explained in the text where they first appear.

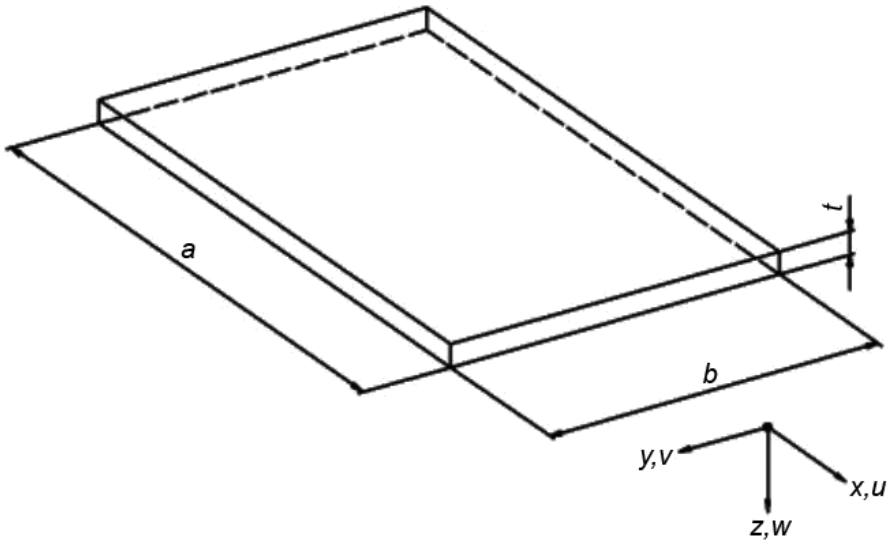


Рисунок 1.4 — Розміри і осі непідкріплених сегментів пластин.
Figure 1.4 — Dimensions and axes of unstiffened plate segments.

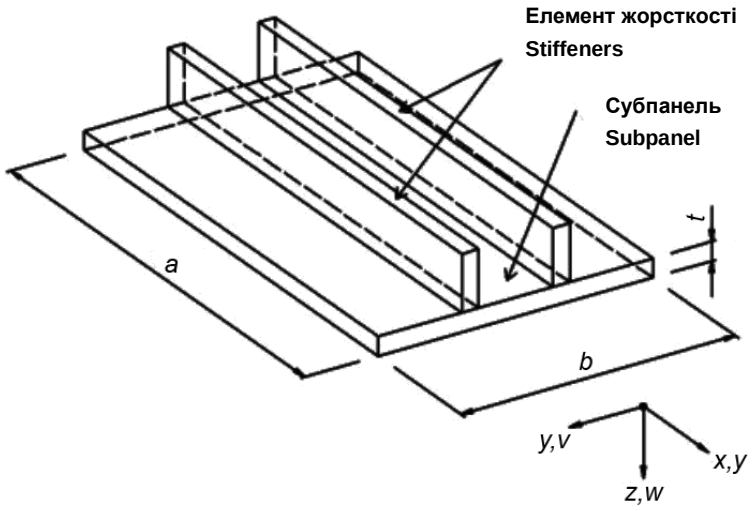


Рисунок 1.5 — Розміри і осі підкріплених сегментів пластин; елементи жорсткості можуть бути відкритого або закритого профілю.
Figure 1.5 — Dimensions and axes of stiffened plate segments; stiffeners may be open or closed stiffeners.

2 ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Вимоги

(1)P Основні вимоги проектування повинні відповідати EN 1990.

(2)P При проектуванні плоских листових конструкцій мають бути перевіреними наступні граничні стани першої групи:

− пластичне руйнування, див. 2.2.2;
− малоциклова втома, див. 2.2.3;
− втрата стійкості, див. 2.2.4;
− втома, див. 2.2.5.

(3) Проектування плоских листових конструкцій має задовольняти вимогам несучої здатності, що встановлені у відповідних нормативах.

2.2 Принципи розрахунку за граничними станами

2.2.1 Загальні положення

(1)P Принципи розрахунку за граничними станами, що наведені у розділі 2 EN 1993-1-1 і в EN 1993-1-6, повинні, також, застосовуватися до плоских листових конструкцій.

2.2.2 Пластичне руйнування

(1) Пластичне руйнування — це стан, за яким частина конструкції отримує надлишкові пластичні деформації, пов’язані із розвитком пластичного механізму. Навантаження, що викликає пластичне руйнування, як правило, визначається механізмом, основаним на теорії малих відхилень.

2.2.3 Малоциклова втома

(1) Малоциклова втома повинна розглядатися як граничний стан для циклів навантаження і розвантаження, що повторюються і викликають плинність при розтягуванні або стиску, або при тій і іншій дії, тим самим викликаючи процес пластичної роботи конструкції, що повторюється. Така змінна плинність може привести до локального тріщиноутворення внаслідок зменшення здатності матеріалу поглинати енергію, що і є обмеженням малоциклової міцності через втому. Напруження, які пов’язані з цим граничним станом, виникають при комбінації

2 BASIS OF DESIGN

2.1 Requirements

(1)P The basis of design shall be in accordance with EN 1990.

(1)P The following ultimate limit states shall be checked for a plated structure:

- plastic collapse, see 2.2.2;
- cyclic plasticity, see 2.2.3;
- buckling, see 2.2.4;
- fatigue, see 2.2.5.

(3) The design of a plated structure should satisfy the serviceability requirements set out in the appropriate application standards.

2.2 Principles of limit state design

2.2.1 General

(1)P The principles for ultimate limit state given in section 2 of EN 1993-1-1 and EN 1993-1-6 shall also be applied to plated structures.

2.2.2 Plastic collapse

(1) Plastic collapse is defined as the condition in which a part of the structure develops excessive plastic deformations, associated with development of a plastic mechanism. The plastic collapse load is usually derived from a mechanism based on small deflection theory.

2.2.3 Cyclic plasticity

(1) Cyclic plasticity should be taken as the limit condition for repeated cycles of loading and unloading produce yielding in tension or in compression or both at the same point, thus causing plastic work to be repeatedly done on the structure. This alternative yielding may lead to local cracking by exhaustion of the material's energy absorption capacity, and is thus a low cycle fatigue restriction. The stresses which are associated with this limit state develop under a combination of all actions and the compatibility conditions for the

всіх впливів на конструкцію і умов сумісності її деформування.

structure.

2.2.4 Втрата стійкості

(1) Втрату стійкості слід розглядати як стан, за яким уся конструкція або її частина отримують значні переміщення, що викликані нестійким станом, під впливом стискаючих і/або дотичних напружень в пластині. Це, у підсумку, приводить до нездатності сприймати приріст навантаження.

(2) Локальну (місцеву) втрату стійкості див. EN 1993-1-5.

(3) Стійкість викривлених, закручених і покороблених елементів жорсткості див. EN 1993-1-5.

2.2.4 Buckling

(1) Buckling should be taken as the condition in which all or parts of the structure develop large displacements, caused by instability under compressive and/or shear stresses in the plate. It leads eventually to inability to sustain an increase in the stress resultants.

(2) Local plate buckling, see EN 1993-1-5.

(3) For flexural, lateral torsional and distortional stability of stiffeners, see EN 1993-1-5

2.2.5 Втома

(1) Втому слід розглядати як граничний стан, викликаний появою і/або зростанням тріщин при циклах збільшення і зменшення напружень, що повторюються.

2.2.5 Fatigue

(1) Fatigue should be taken as the limit condition caused by the development and / or growth of cracks by repeated cycles of increasing and decreasing stresses.

2.3 Впливи

(1) Характеристичні значення впливів визначаються у відповідних частинах EN 1991.

2.3 Actions

(1) The characteristic values of actions should be determined from the appropriate parts of EN 1991.

2.4 Розрахунок на підставі випробувань

(1) Вимоги до проектування на підставі випробувань наведені у 2.5 EN 1993-1-1 і у відповідних частинах розділу 9 EN 1993-1-3.

2.4 Design assisted by testing

(1) For design assisted by testing reference should be made to section 2.5 of EN 1993-1-1 and where relevant, Section 9 of EN 1993-1-3.

3 ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ

(1) Цей стандарт охоплює проектування плоских листових конструкцій, що виготовлені зі сталей у відповідності до стандартів, зазначених в EN 1993-1-1 і EN 1993-1-12.

(2) Властивості матеріалів холодноформованих елементів і профільованих листів наведені в EN 1993-1-3.

(3) Властивості нержавіючої сталі наведені в EN 1993-1-4.

3 MATERIAL PROPERTIES

(1) This Standard covers the design of plated structures fabricated from steel material conforming to the product standards listed in EN 1993-1-1 and EN 1993-1-12.

(2) The material properties of cold formed members and sheeting should be obtained from EN 1993-1-3.

(3) The material properties of stainless steels should be obtained from EN 1993-1-4.

4 ДОВГОВІЧНІСТЬ

(1) Основні вимоги до довговічності — див. розділ 4 EN 1993-1-1.

4 DURABILITY

(1) For durability see section 4 of EN 1993-1-1.

5 СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК

5.1 Загальні положення

(1)P Розрахункові моделі повинні відповідати роботі конструкції, що передбачається, і граничним станам, що розглядаються.

(2) Якщо граничні умови можуть бути консервативно визначені, а саме як обмежені і необмежені, плоска листова конструкція може розбиватися на окремі сегменти пластин, які розраховуються незалежно один від одного.

(3)P Загальна стійкість усієї конструкції повинна бути перевіреною згідно до відповідних частин EN 1993.

5.2 Напружений стан в пластині

5.2.1 Загальні положення

(1) Розрахункова модель і основні припущення для визначення внутрішніх напружень або зусиль повинні відповідати поведінці конструкції під впливом навантаження, що викликає граничний стан.

(2) Розрахункові моделі конструкції можуть бути спрощені таким чином, щоб спрощення, які використовуються, надавали завищеного ефекту (консервативну оцінку ефекту) від впливів.

(3) Для плоских листових конструкцій переважно використовується загальний пружний розрахунок. В тих випадках, коли імовірна поява руйнування від втоми, загальний розрахунок з урахуванням розвитку пластичних деформацій не повинен застосовуватися.

(4) Повинні бути урахованими можливі відхилення від напрямів та місць прикладання впливів, що передбачаються.

(5) Розрахунок за утворенням лінійчастих пластичних шарнірів може бути застосований при оцінці граничного стану в тому випадку, коли напруження від стиску або зсуву складають менш ніж 10% відповідного значення несучої здатності. Граничний розрахунковий згинальний момент в лінійчастому пластичному

5 STRUCTURAL ANALYSIS

5.1 General

(1)P The models used for calculations shall be appropriate for predicting the structural behaviour and the limit states considered.

(2) If the boundary conditions can be conservatively defined, i.e. restrained or unrestrained, a plated structure may be subdivided into individual plate segments that may be analysed independently.

(3)P The overall stability of the complete structure shall be checked following the relevant parts of EN 1993.

5.2 Stress resultants in the plate

5.2.1 General

(1) The calculation model and basic assumptions for determining internal stresses or stress resultants should correspond to the assumed structural response for the ultimate limit state loading.

(2) Structural models may be simplified such that it can be shown that the simplifications used will give conservative estimates of the effects of actions.

(3) Elastic global analysis should generally be used for plated structures. Where fatigue is likely to occur, plastic global analysis should not be used.

(4) Possible deviations from the assumed directions or positions of actions should be considered.

(5) Yield line analysis may be used in the ultimate limit state when inplane compression or shear is less than 10 % of the corresponding resistance. The bending resistance in a yield line should be taken as

шарнірі визначається за формулою:

$$m_{Rd} = \frac{0,25 f_y t^2}{\gamma_{M0}}$$

5.2.2 Граничні умови для пластини

(1) Граничні умови, що приймаються у розрахунках, мають відповідати граничним станам, що розглядаються.

(2)P Якщо плоска листова конструкція розбивається на окремі сегменти пластин, граничні умови, що приймаються у розрахунках для елементів жорсткості в окремих сегментах пластин, необхідно вказувати у кресленнях і проектній документації.

5.2.2 Plate boundary conditions

(1) Boundary conditions assumed in analyses should be appropriate to the limit states considered.

(2)P If a plated structure is subdivided into individual plate segments the boundary conditions assumed for stiffeners in individual plate segments in the design calculations shall be recorded in the drawings and project specification.

5.2.3 Розрахункові моделі для плоских листових конструкцій

5.2.3.1 Загальні вимоги

(1) Внутрішні напруження сегменту пластини необхідно визначати наступним чином:

− стандартними формулами, див. 5.2.3.2;
− загальним розрахунком, див. 5.2.3.3;
− з використанням спрощених розрахункових моделей, див. 5.2.3.4.

(2) Розрахункові методи, наведені в (1), повинні ураховувати лінійну або нелінійну теорію згину пластин у відповідних випадках.

(3) Лінійна теорія згину основана на теорії малих переміщень і лінійній залежності навантаження-деформація. Це положення має застосовуватися, коли напруження від стискання або зсуву складають в площині пластини менше ніж 10 % їх відповідного значення несучої здатності.

(4) Нелінійна теорія згину основана на теорії великих переміщень і урахуванні впливу деформованої схеми на рівновагу конструкції.

(5) Розрахункові моделі, наведені в (1), повинні засновуватися на типах розрахунків, зазначених у таблиці 5.1.

5.2.3 Design models for plated structures

5.2.3.1 General

(1) The internal stresses of a plate segment should be determined as follows:

− standard formulae, see 5.2.3.2;
− global analysis, see 5.2.3.3;
− simplified models, see 5.2.3.4.

(2) The design methods given in (1) should take into account a linear or non linear bending theory for plates as appropriate.

(3) A linear bending theory is based on small-deflection assumptions and relates loads to deformations in a proportional manner. This may be used if inplane compression or shear is less than 10% of the corresponding resistance.

(4) A non-linear bending theory is based on large-deflection assumptions and the effects of deformation on equilibrium are taken into account.

(5) The design models given in (1) may be based on the types of analysis given in Table 5.1.

Таблиця 5.1 — Типи розрахунків

Table 5.1 — Types of analysis

Тип розрахунку	Теорія згину	Закон деформування матеріалу	Геометрія пластини
Type of analysis	Bending theory	Material law	Plate geometry
Лінійний пружний розрахунок (LA)	Лінійна	Лінійний	Ідеальна
Linear elastic plate analysis (LA)	linear	linear	perfect
Геометрично нелінійний пружний розрахунок (GNA)	Нелінійна	Лінійний	Ідеальна
Geometrically non-linear elastic analysis (GNA)	non-linear	linear	perfect
Розрахунок з урахуванням фізичної нелінійності (MNA)	Лінійна	Нелінійна	Ідеальна
Materially non-linear analysis (MNA)	linear	non-linear	perfect
Розрахунок з урахуванням геометричної і фізичної нелінійності (GMNA)	Нелінійна	Нелінійна	Ідеальна
Geometrically and materially non-linear analysis (GMNA)	non-linear	non-linear	perfect
Геометрично нелінійний пружний розрахунок з урахуванням початкових недосконалостей (GNIA)	Нелінійна	Лінійна	З початковими недосконалостями
Geometrically non-linear elastic analysis with imperfections (GNIA)	non-linear	linear	imperfect
Геометрично і фізично нелінійний розрахунок з урахуванням початкових недосконалостей (GMNIA)	Нелінійна	Нелінійна	З початковими недосконалостями
Geometrically and materially non-linear analysis with imperfections (GMNIA)	non-linear	non-linear	imperfect

Примітка 1. Визначення різних типів розрахунків наведено в додатку А.

Примітка 2. Тип розрахунку, застосований до конкретної ситуації, має бути зазначеним в проектній документації.

Примітка 3. Використання розрахункових моделей з ідеальною геометрією передбачає, що геометричні недосконалості або є несуттєвими, або враховані в інших розрахункових умовах.

Примітка 4. Амплітуди відхилень для конструкцій з початковими геометрич-

NOTE 1. A definition of the different types of analysis is given in Annex A.

NOTE 2. The type of analysis appropriate to a structure should be stated in the project specification.

NOTE 3. The use of a model with perfect geometry implies that geometrical imperfections are either not relevant or included through other design provisions.

NOTE 4. Amplitudes for geometrical imperfections for imperfect geometries are chosen such that in comparisons with

ними недосконалостями обирають таким чином, щоб результати розрахунків показували задовільну відповідність у порівнянні з результатами випробувань з використанням випробувального контрольного зразка, виготовленого з допусками, що відповідають EN 1090-2. Відповідно, ці амплітуди, в цілому, відрізняються від допусків, наведених в EN 1090-2.

results from tests using test specimens fabricated with tolerances according to EN 1090-2 the calculative results are reliable, therefore these amplitudes in general differ from the tolerances given in EN 1090-2.

5.2.3.2 Використання стандартних формул

(1) Для окремих сегментів пластин плоскої листової конструкції внутрішні напруження можуть бути обчислені для певної комбінації розрахункових впливів, з використанням відповідних розрахункових формул, заснованих на типах розрахунків, наведених в 5.2.3.1.

Примітка. У додатках B і C наведені таблиці для розрахунку прямокутних пластин, не підкріплених елементами жорсткості, під дією навантаження поза межами площини. Для колових пластин розрахункові формули наведені в EN 1993-1-6. Наведені далі розрахункові формули мають бути використаними, якщо їх застосування відповідає вимогам, що викладені в EN 1991-1.

(2) У випадку плоского напруженого стану, отриманого на підставі безмоментної теорії розрахунку, еквівалентні розрахункові напруження $\sigma_{eq,Ed}$ в пластині (напруження Мізеса) можуть бути визначеними наступним чином:

5.2.3.2 Use of standard formulas

(1) For an individual plate segment of a plated structure the internal stresses may be calculated for the relevant combination of design actions with appropriate design formulae based on the types of analysis given in 5.2.3.1.

NOTE. Annex B and Annex C provide tabulated values for rectangular unstiffened plates which are loaded transversely. For circular plates design formulas are given in EN 1993-1-6. Further design formulas may be used, if the reliability of the design formulas is in accordance with the requirements given in EN 1991-1.

(2) In case of a two dimensional stress field resulting from a membrane theory analysis the equivalent Von Mises stress may be determined by

$$\sigma_{eq,Ed} = \frac{1}{t} \cdot \sqrt{n_{x,Ed}^2 + n_{y,Ed}^2 - n_{x,Ed} n_{y,Ed} + 3n_{xy,Ed}^2} \ . \qquad (5.1)$$

(3) У випадку плоского напруженого стану, отриманого на підставі моментної теорії пружних пластин і оболонок, еквівалентні розрахункові напруження $\sigma_{eq,Ed}$ в пластині (напруження Мізеса) можуть бути визначеними наступним чином:

(3) In case of a two dimensional stress field resulting from an elastic plate theory the equivalent Von Mises stress may be determined, as follows:

$$\sigma_{eq,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{y,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed}\sigma_{y,Ed} + 3\tau_{xy,Ed}^2} \ , \qquad (5.2)$$

де

where

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{n_{x,Ed}}{t} \pm \frac{m_{x,Ed}}{t^2/4}$$

$$\sigma_{y,Ed} = \frac{n_{y,Ed}}{t} \pm \frac{m_{y,Ed}}{t^2/4};$$

$$\tau_{xy,Ed} = \frac{n_{xy,Ed}}{t} \pm \frac{m_{xy,Ed}}{t^2/4}$$

$n_{x,Ed}$, $n_{y,Ed}$, $n_{xy,Ed}$, $m_{x,Ed}$, $m_{y,Ed}$ и $m_{xy,Ed}$ визначені в 1.4 (1) і (2).

Примітка. Наведені вище формули дають спрощення (що обчислюється в запас) еквівалентне значення напружень для проектування.

and $n_{x,Ed}$, $n_{y,Ed}$, $n_{xy,Ed}$, $m_{x,Ed}$, $m_{y,Ed}$ and $m_{xy,Ed}$ are defined in 1.4(1) and (2).

NOTE. The above expressions give a simplified conservative equivalent stress for design

5.2.3.3 Застосування загального аналізу: розрахунок чисельними методами

(1) Якщо внутрішні напруження в плоскій листовій конструкції визначаються розрахунком чисельними методами, які основуються на фізично лінійному розрахунку, максимальне еквівалентне розрахункове напруження $\sigma_{eq,Ed}$ (напруження Мізеса) необхідно обчислювати для відповідної комбінації розрахункових впливів.

(2) Еквівалентне розрахункове напруження $\sigma_{eq,Ed}$ (напруження Мізеса) визначається компонентами напружень, які виникають в даній точці плоскої листової конструкції:

5.2.3.3 Use of a global analysis: numerical analysis

(1) If the internal stresses of a plated structure are determined by a numerical analysis which is based on a materially linear analysis, the maximum equivalent Von Mises stress $\sigma_{eq,Ed}$ of the plated structure should be calculated for the relevant combination of design actions.

(2) The equivalent Von Mises stress $\sigma_{eq,Ed}$ is defined by the stress components which occurred at one point in the plated structure.

$$\sigma_{eq,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{y,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed}\sigma_{y,Ed} + 3\tau_{xy,Ed}^2}, \qquad (5.3)$$

де $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{y,Ed}$ є позитивними у випадку розтягу.

(3) Якщо розрахунок чисельними методами застосовується для перевірки стійкості, необхідно враховувати вплив наступних недосконалостей:

(а) геометричні недосконалості:

− відхилення від номінальної геометричної форми пластини (початкова деформація, вигин з площини);
− нерівність зварювальних швів (малі ексцентриситети);
− відхилення від номінальної товщини;
(б) фізичні недосконалості:
− залишкові напруження, що викликані плющенням, штампуванням, зварюванням, рихтуванням;

where $\sigma_{x,Ed}$ and $\sigma_{y,Ed}$ are positive in case of tension.
(3) If a numerical analysis is used for the verification of buckling, the effects of imperfections should be taken into account. These imperfections may be:

(a) geometrical imperfections:

− deviations from the nominal geometric shape of the plate (initial deformation, out of plane deflections);
− irregularities of welds (minor eccentricities);
− deviations from nominal thickness.
(b) material imperfections:
− residual stresses because of rolling, pressing, welding, straightening;

− неоднорідність і анізотропія.

(4) Геометричні і фізичні недосконалості необхідно враховувати в розрахунку як початкові еквівалентні геометричні недосконалості ідеальної пластини. Форма початкових еквівалентних геометричних недосконалостей повинна виводитися з відповідної форми згину при втраті стійкості.

(5) Амплітуда початкової еквівалентної геометричної недосконалості e_0 прямокутного сегменту пластини може бути отримана статистичною обробкою результатів випробувань дослідних зразків, які можна розглядати як репрезентативні значення для отримання кривої втрати стійкості пластини за EN 1993-1-5 наступним чином:

− non-homogeneities and anisotropies.

(4) The geometrical and material imperfections should be taken into account by an initial equivalent geometric imperfection of the perfect plate. The shape of the initial equivalent geometric imperfection should be derived from the relevant buckling mode.

(5) The amplitude of the initial equivalent geometric imperfection e_0 of a rectangular plate segment may be derived by numerical calibrations with test results from test pieces that may be considered as representative for fabrication from the plate buckling curve of EN 1993-1-5, as follows:

$$e_0 = \frac{\left(1-\rho\bar{\lambda}_p^2\right)\cdot\left(1-\rho\right)}{\rho\xi}, \tag{5.4}$$

де

where

$$\xi = \frac{6b^2\cdot\left(b^2+\nu a^2\right)}{t\cdot\left(a^2+b^2\right)^2} \text{ і } \alpha < \sqrt{2},$$

$\bar{\lambda}_p$ − відносна гнучкість пластини, див. EN 1993-1-5;

ρ − знижаючий коефіцієнт при втраті стійкості пластини, визначається відповідно до 4.4 EN 1993-1-5;

a, b − геометричні розміри пластини, рисунок 5.1;

t − товщина пластини;

α − співвідношення сторін пластини (більша сторона до менша) $a/b < \sqrt{2}$.

$\bar{\lambda}_p$ is the relative slenderness of the plate, see EN 1993-1-5.

ρ is the reduction factor for plate buckling as defined in 4.4 of EN 1993-1-5;

a, b are geometric properties of the plate, see Figure 5.1;

t is the thickness of the plate;

α is the aspect ratio $a/b < \sqrt{2}$

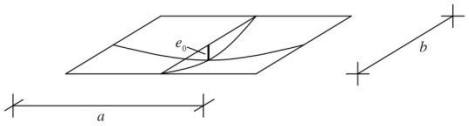


Рисунок 5.1 — Початкова еквівалентна геометрична недосконалість e_0 у вигляді вигину сегменту пластини.

Figure 5.1 — Initial equivalent geometric bow imperfection e_0 of a plate segment.

(6) В запас стійкості амплітуда може розглядатися як $e_0 = a/200$, де $b \le a$.

(7) Характер еквівалентних геометричних недосконалостей повинен, якщо це

(6) As a conservative assumption the amplitude may be taken as $e_0 = a/200$ where $b \le a$.

(7) The pattern of the equivalent geometric imperfections should, if relevant, be

можливо, відповідати конструктивній деталізації і дефектам, які виникають при виготовленні і збиранні.

(8)P У всіх випадках точність розрахунку чисельними методами повинен підтверджуватися результатами випробувань або порівняльним аналітичним розрахунком.

adapted to the constructional detailing and to imperfections expected from fabricating or manufacturing.

(8)P In all cases the reliability of a numerical analysis shall be checked with known results from tests or compared analysis.

5.2.3.4 Застосування спрощених розрахункових методів

5.2.3.4 Use of simplified design methods

5.2.3.4.1 Загальні положення

5.2.3.4.1 General

(1) Внутрішні зусилля або напруження в плоских листових конструкціях, завантажених навантаженням поза межами і в площині пластини, можна визначити, використовуючи спрощену розрахункову модель, яка надає консервативну оцінку (розрахунок в запас).

(1) The internal forces or stresses of a plated structure loaded by out of plane loads and in-plane loads may be determined using a simplified design model that gives conservative estimates.

(2) З цією метою, плоску листову конструкцію можна розділити на окремі сегменти пластини, підкріпленої або непідкріпленої елементами жорсткості.

(2) Therefore the plated structure may be subdivided into individual plate segments, which may be stiffened or unstiffened.

5.2.3.4.2 Сегменти пластин, не підкріплені елементами жорсткості

5.2.3.4.2 Unstiffened plate segment

(1) Прямокутна пластина, не підкріплена елементами жорсткості, під впливом навантаження поза межами площини може моделюватися як еквівалентна балка в основному напрямі передавання навантаження, якщо виконуються наступні умови:

− співвідношення сторін (відношення більшої сторони до меншої) *a/b* більше ніж два;
− пластина завантажена розподіленими навантаженнями поза межами площини, які можуть або бути рівномірним, або змінятися лінійно;
− міцність, стійкість і жорсткість рами або балки, яка підтримує сегмент пластини, відповідають граничним умовам, що допускаються для еквівалентної балки.

(1) An unstiffened rectangular plate under out of plane loads may be modeled as an equivalent beam in the direction of the dominant load transfer, if the following conditions are fulfilled:

− the aspect ratio *a/b* of the plate is greater than 2;

− the plate is subjected to out of plane distributed loads which may be either linear or vary linearly;

− the strength, stability and stiffness of the frame or beam on which the plate segment is supported fulfil the assumed boundary conditions of the equivalent beam.

(2) Внутрішні зусилля в еквівалентній балці визначаються на підставі застосування пружного розрахунку або розрахунку з урахуванням розвитку

(2) The internal forces and moments of the equivalent beam should be determined using an elastic or plastic analysis as defined in EN 1993-1-1.

пластичних деформацій у відповідності до EN 1993-1-1.

(3) Якщо прогин першого порядку, що виникає при дії навантаження поза межами площини, подібний формі втрати стійкості при дії сил стискання в площині пластини, то необхідно приймати до уваги взаємодію між обома явищами.

(3) If the first order deflections due to the out of plane loads is similar to the (plate) buckling mode due to the in plane compression forces, the interaction between both phenomena need to be taken into account.

(4) У випадках, коли ситуація, що описана в (3), має місце, формула взаємодії, наведена в 6.3.3 EN 1993-1-1, може застосовуватися до еквівалентної балки.

(4) In cases where the situation as described in (3) is present the interaction formula specified in EN 1993-1-1, section 6.3.3 may be applied to the equivalent beam.

5.2.3.4.3 Сегменти пластин, підкріплені елементами жорсткості

5.2.3.4.3 Stiffened plate segments

(1) Підкріплена пластина або підкріплений сегмент пластини може моделюватися як ростверк, якщо він рівномірно підкріплений в поперечному і поздовжньому напрямах.

(1) A stiffened plate or a stiffened plate segment may be modeled as a grillage if it is regularly stiffened in the transverse and longitudinal direction.

(2) Визначаючи площу поперечного перерізу A_i пластини і окремого елементу ростверку *i*, що взаємодіють, вплив зсувного запізнення необхідно ураховувати редукційним коефіцієнтом β у відповідності до EN 1993-1-5.

(2) In determining the cross-sectional area Ai of the cooperating plate of an individual member *i* of the grillage the effects of shear lag should be taken into account by the reduction factor β according to EN 1993-1-5.

(3) При втраті стійкості пластини для і-того елементу ростверку, паралельного силам стискання в площині пластини, площа поперечного перерізу A_i повинна визначатися з урахуванням приведеної (ефективної) ширини субпанелей, що примикають, відповідно до EN 1993-1-5.

(3) For a member *i* of the grillage which is arranged in parallel to the direction of inplane compression forces, the cross-sectional area A_i should also be determined taking account of the effective width of the adjacent subpanels due to plate buckling according to EN 1993-1-5.

(4) Взаємодія між ефектами зсувного запізнення і втрати стійкості (див. рисунок 5.2) повинна ураховуватися ефективною площею поперечного перерізу A_i відповідно наступній формулі

(3) The interaction between shear lag effects and plate buckling effects, see Figure 5.2, should be considered by the effective area *A*; from the following equation:

$$A_i = \left[\rho_c \cdot \left(A_{L,eff} + \sum \rho_{pan,i} b_{pan.i} t_{pan,i} \right) \right] \beta^k , \qquad (5.5)$$

де $A_{L,eff}$ − ефективна площа поперечного перерізу елемента жорсткості з урахуванням ефекту його локальної втраті стійкості;

where $A_{L,eff}$ is the effective area of the stiffener considering to local plate buckling of the stiffener;

ρ_c − редукційний коефіцієнт для розрахунку загальної втрати стійкості підкріпленого пластинчастого сегменту, як зазначено у 4.5.4 (1) EN 1993-1-5;

ρ_c is the reduction factor due to global plate buckling of the stiffened plate segment, as defined in 4.5.4(1) of EN 1993-1-5;

$\rho_{pan,i}$ − редукційний коефіцієнт для

$\rho_{pan,i}$ is the reduction factor due to local

розрахунку локальної втрати стійкості і-тої субпанелі, як зазначено у 4.4 (1) EN 1993-1-5;

$b_{pan,i}$ – ширина і-тої субпанелі, як зазначено в 4.5.1 (3) EN 1993-1-5;

$t_{pan,i}$ – товщина і-тої субпанелі;

β – коефіцієнт приведеної (ефективної) ширини для зсувного запізнення, див. 3.2.1 EN 1993-1-5;

k – співвідношення, визначене в 3.3 EN 1993-1-5.

plate buckling of the subpanel i, as defined in 4.4(1) of EN 1993-1-5;

$b_{pan,i}$ is the width of the subpanel *i*, as defined in 4.5.1(3) of EN 1993-1-5;

$t_{pan,i}$ is the thickness of the subpanel *i;*

β is the effective width factor for the effect of shear lag, see 3.2.1 of EN 1993-1-5;

k is the ratio defined in 3.3 of EN 1993-1-5.

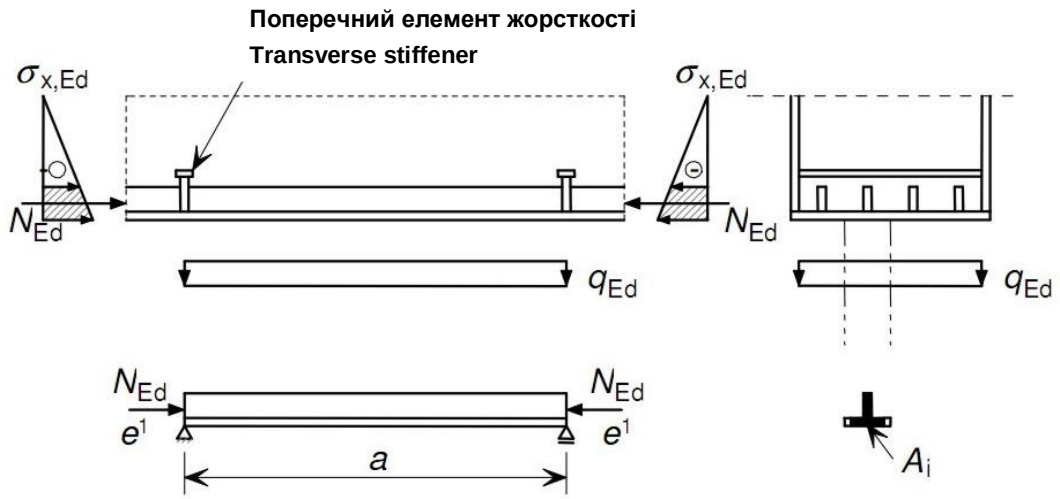


Рисунок 5.2 — Визначення площі поперечного перерізу A_i.
Figure 5.2 — Definition of the cross-section A_i.

(5) Перевірка і-го елементу ростверку може бути виконана шляхом застосування формули взаємодії відповідно до 6.3.3 EN 1993-1-1 з урахуванням наступних умов навантаження:

– ефекти поперечного навантаження;

– еквівалентна поздовжня сила, що діє в поперечному перерізі площею A_i, і яка викликана нормальними напруженнями в пластині;

– ексцентриситет e еквівалентної поздовжньої сили N_{Ed} відносно центру ваги поперечного перерізу площею A_i.

(5) The verification of a member *i* of the grillage may be performed using the interaction formula in EN 1993-1-1, section 6.3.3 taking into account the following loading conditions:

– effects of out of plane loadings;

– equivalent axial force in the cross section *A*i due to normal stresses in the plate;

– eccentricity e of the equivalent axial force N_{Ed} with respect to the centre of gravity of the cross-sectional area A_i.

(6) Якщо елементи жорсткості пластини або її сегменту розташовані тільки паралельно напряму плоскісних зусиль стискання, підкріплена пластина може моделюватися як еквівалентна балка на пружних опорах (пружинах), див. EN 1993-1-5.

(6) If the stiffeners of a plate or a plate segment are only arranged in parallel to the direction of inplane compression forces, the stiffened plate may be modeled as an equivalent beam on elastic springs, see EN 1993-1-5.

(7) Якщо ребра жорсткості сегменту підкріпленої пластини розташовуються в

(7) If the stiffeners of a stiffened plate segment are positioned in the transverse direction to the

напряму, перпендикулярному плоскісним зусиллям стискання, взаємодія між зусиллями стискання і згинальними моментами в непідкріплених пластинчастих сегментах між ребрами жорсткості повинна перевірятися відповідно до 5.2.3.4.2 (4).

compression forces, the interaction between the compression forces and bending moments in the unstiffened plate segments between the stiffeners should be verified according to 5.2.3.4.2(4).

(8) Поздовжні елементи жорсткості повинні відповідати вимогам, наведеним в розділі 9 EN 1993-1-5.

(8) The longitudinal stiffeners should fulfill the requirements given in section 9 of EN 1993-1-5.

(9) Поперечні елементи жорсткості повинні відповідати вимогам, наведеним в розділі 9 EN 1993-1-5.

(9) The transverse stiffeners should fulfill the requirements given in section 9 of EN 1993-1-5.

6 ГРАНИЧНІ СТАНИ ПЕРШОЇ ГРУПИ

6 ULTIMATE LIMIT STATE

6.1 Загальні положення

6.1 General

(1)P Всі частини плоскої листової конструкції повинні мати такі пропорції, щоби задовольняти основним вимогам розрахунку за першою групою граничних станів, наведених у розділі 2.

(1) P All parts of a plated structure shall be so proportioned that the basic design requirements for ultimate limit states given in section 2 are satisfied.

(2) Для визначення часткового коефіцієнту надійності γ_M плоскої листової конструкції див. відповідні частини
EN 1993.

(2) For the partial factor γ_M for resistance of plated structures see the relevant application parts of EN 1993.

(3) Для визначення часткового коефіцієнту надійності γ_M з’єднань плоскої листової конструкції див. EN 1993-1-8.

(3) For partial factor γ_M of connections of plated structures see EN 1993-1-8.

6.2 Обмеження пластичних деформацій

6.2 Plastic limit

6.2.1 Загальні положення

6.2.1 General

(1) В кожній точці плоскої листової конструкції розрахункове еквівалентне напруження повинно задовольняти умові:

(1) At every point in a plated structure the design stress $\sigma_{eq,Ed}$ should satisfy the condition:

$$\sigma_{eq,Ed} \leq \sigma_{eq,Rd}\,, \tag{6.1}$$

де $\sigma_{eq,Ed}$ є максимальним значенням еквівалентного напруження (напруження Мізеса) і визначається у 5.2.3.

where $\sigma_{eq,Ed}$ is the largest value of Von Mises equivalent stress as defined in 5.2.3.

(2) В пружному розрахунку міцність сегменту пластини від пластичного руйнування або руйнування від розтягу під сумісною дією поздовжніх сил і згинальних моментів визначається за

(2) In an elastic design the resistance of a plate segment against plastic collapse or tensile rupture under combined axial forces and bending is defined by the Von Mises equivalent stress $\sigma_{eq,Rd}$ as:

еквівалентним напруженням Мізеса $\sigma_{eq,Rd}$:

$$\sigma_{eq,Rd} = f_{yk} / \gamma_{M0} \quad (6.2)$$

Примітка. Для визначення значення γ_{M0} див. 1.1 (2).

NOTE. For the numerical value of γ_{M0} see 1.1 (2).

6.2.2 Додаткові правила для загального аналізу при проектуванні

(1) Якщо розрахунок чисельними методами виконується без урахування фізичної нелінійності, то міцність при пластичному руйнуванні або руйнуванні від розтягу перевіряється у відповідності до вимог 6.2.1.

(2) Якщо фізично нелінійний розрахунок оснований на розрахунковій залежності напружень від деформації з f_{yd} (= f_y / γ_{M0}), то плоска листова конструкція повинна завантажуватися навантаженням F_{Ed}, яке приймається за розрахунковими значеннями впливів, до того, навантаження повинне збільшуватися поступово для визначення коефіцієнту збільшення навантаження α_R (для граничного пластичного стану F_{Rd}).

(3) Результат розрахунку чисельними методами повинен відповідати умові

$$F_{Ed} \le F_{Rd}, \quad (6.3)$$

де $F_{Rd} = \alpha_R F_{Ed}$,
α_R – коефіцієнт збільшення навантаження для навантажень F_{Ed}, за яких досягається граничний стан першої групи.

6.2.2 Supplementary rules for the design by global analysis

(1) If a numerical analysis is based on materially linear analysis the resistance against plastic collapse or tensile rupture should be checked for the requirement given in 6.2.1.

(2) If a materially nonlinear analysis is based on a design stress-strain relationship with f_d, (=f_y/γ_{M0}) the plated structure should be subject to a load arrangement F_{Ed} that is taken from the design values of actions, and the load may be incrementally increased to determine the load amplification factor α_R of the plastic limit state F_{Rd}.

(3) The result of the numerical analysis should satisfy the condition:

where $F_{Rd} = \alpha_R F_{Ed}$
α_R is the load amplification factor for the loads F_{Ed} for reaching the ultimate limit state.

6.2.3 Додаткові правила для розрахунку спрощеними розрахунковими методами

6.2.3.1 Непідкріплені пластини

(1) Якщо непідкріплена пластина розраховується як еквівалентна балка, міцність її поперечного перерізу повинна перевірятися на комбінацію навантажень, що діють у площині та поза її межами, за правилами розрахунку, наведеними в EN 1993-1-1.

6.2.3.2 Підкріплені пластини

(1) Якщо підкріплений сегмент пластини моделюється як ростверк, описаний в 5.2.3.4, міцність поперечного перерізу і

6.2.3 Supplementary rules for the design by simplified design methods

6.2.3.1 Unstiffened plates

(1) If an unstiffened plate is designed as an equivalent beam, its cross-sectional resistance should be checked for the combination of inplane loading and out of plane loading effects with the design rules given in EN 1993-1-1.

6.2.3.2 Stiffened plates

(1) If a stiffened plate segment is modeled as a grillage as described in section 5.2.3.4 the cross-section resistance and the buckling re-

стійкість при поздовжньому згині окремого *i*-го елемента ростверку повинні перевірятися комбінацією плоскісного і поперечного навантаження за формулою взаємодії, наведеною у 6.3.3 EN 1993-1-1.

sistance of the individual members *i* of the grillage should be checked for the combination of inplane and out of plane loading effects using the interaction formula in EN 1993-1-1, section 6.3.3.

(2) Якщо підкріплений сегмент пластини моделюється як еквівалентна балка, як описано у 5.2.3.4, міцність поперечного перерізу і стійкість при поздовжньому згині еквівалентної балки повинні перевірятися комбінацією плоскісного і поперечного навантаження за формулою взаємодії, наведеною у 6.3.3 EN 1993-1-1.

(2) If a stiffened plate segment is designed as an equivalent beam as described in section 5.2.3.4 the cross-section resistance and the buckling resistance of the equivalent beam should be checked for the combination of inplane and out of plane loading effects using the interaction formula in EN 1993-1-1, section 6.3.3.

(3) Внутрішні зусилля або напруження субпанелі повинні перевірятися на міцність при пластичному руйнуванні або руйнуванні від розтягу відповідно до 5.2.3.2–5.2.3.4.

(3) The stress resultants or stresses of a subpanel should be verified against tensile rupture or plastic collapse with the design rules given in 5.2.3.2, 5.2.3.3 or 5.2.3.4.

6.3 Малоциклова втома

6.3 Cyclic plasticity

6.3.1 Загальні положення

6.3.1 General

(1) В кожній точці плоскої листової конструкції найбільше значення розмаху напружень $\Delta\sigma_{Ed}$ повинне відповідати умові

(1) At every point in a plated structure the design stress range $\Delta\sigma_{Ed}$ should satisfy the condition:

$$\Delta\sigma_{Ed} \le \Delta\sigma_{Rd} \tag{6.4}$$

де $\Delta\sigma_{Ed}$ – максимальне значення еквівалентного напруження Мізеса

where $\Delta\sigma_{Ed}$ is the largest value of the Von Mises equivalent stress range

$$\Delta\sigma_{eq,Ed} = \sqrt{\Delta\sigma_{x,Ed}^2 + \Delta\sigma_{y,Ed}^2 - \Delta\sigma_{x,Ed}\Delta\sigma_{y,Ed} + 3\Delta\tau_{Ed}^2}\ .$$

у відповідній точці сегмента пластини при відповідній комбінації розрахункових впливів.

at the relevant point of the plate segment due to the relevant combination of design actions.

(2) В фізично лінійному розрахунку міцність сегмента пластини за малоцикловою втомою може перевірятися обмеженням розмаху еквівалентного напруження $\Delta\sigma_{Rd}$:

(2) In a materially linear design the resistance of a plate segment against cyclic plasticity / low cycle fatigue may be verified by the Von Mises stress range limitation $\Delta\sigma_{Rd}$.

$$\Delta\sigma_{Rd} = 2{,}0 f_{yk} / \gamma_{M0}. \tag{6.5}$$

Примітка. Значення γ_{M0} див. 1.1 (2).

NOTE. For the numerical value of γ_{M0} see 1.1 (2).

6.3.2 Додаткові правила для загального аналізу

6.3.2 Supplementary rules for the design by global analysis

(1) У випадку застосування фізично нелінійного автоматизованого розрахунку до пластини повинні прикладатися розрахункові значення впливів.

(1) Where a materially nonlinear computer analysis is carried out, the plate should be subject to the design values of the actions.

(2) Загальна накоплена еквівалентна деформація (Мізеса) $\varepsilon_{eq,Ed}$ після закінчення проектного терміну експлуатації конструкції повинна оцінюватися розрахунком, який моделює усі цикли навантаження.

(2) The total accumulated Von Mises equivalent strain $\varepsilon_{eq,Ed}$ at the end of the design life of the structure should be assessed using an analysis that models all cycles of loading.

(3) Якщо не виконується більш точний розрахунок, то загальну накоплену еквівалентну пластичну деформацію (Мізеса) $\varepsilon_{eq,Ed}$ можна розраховувати за формулою

(3) Unless a more refined analysis is carried out the total accumulated Von Mises equivalent plastic strain $\varepsilon_{eq,Ed}$ may be determined from:

$$\varepsilon_{eq,Ed} = m\Delta\varepsilon_{eq,Ed}, \tag{6.6}$$

де m − проектна кількість циклів;

where: m is the number of cycles in the design life;

$\Delta\varepsilon_{eq,Ed}$ − найбільший приріст пластичних деформацій (Мізеса) протягом одного повного циклу навантаження в будь-якій точці конструкції, який відбувається після третього циклу.

$\Delta\varepsilon_{eq,Ed}$ is the largest increment in the Von Mises plastic strain during one complete load cycle at any point in the structure occurring after the third cycle.

(4) За виключенням застосування спеціальних методів оцінки малоциклової втоми, проектне значення накопленої еквівалентної пластичної деформації (Мізеса) $\varepsilon_{eq,Ed}$ повинне задовільняти наступній умові

(4) Unless a more sophisticated low cycle fatigue assessment is undertaken, the design value of the total accumulated Von Mises equivalent plastic strain $\varepsilon_{eq,Ed}$ should satisfy the condition

$$\varepsilon_{p,eq,Ed} \le n_{eq} \cdot \frac{f_{yk}}{E\gamma_{M0}}. \tag{6.7}$$

Примітка 1. В національному додатку може бути обрано значення n_{eq}. Значення, що рекомендується $n_{eq} = 25$.

Примітка 2. Для визначення значення γ_{M0} див. 1.1 (2).

NOTE 1. The National Annex may choose the value of n_{eq}. The value $n_{eq} = 25$ is recommended.

NOTE 2. For the numerical value of γ_{M0} see 1.1 (2)

6.4 Втрата стійкості

6.4.1 Загальні положення

(1) Якщо сегмент пластини плоскої листової конструкції знаходиться під впливом стикання в його площині або зсуву, його стійкість повинна перевірятися відповідно до правил розрахунку, наведених в EN 1993-1-5.

(2) Стійкість викривлених, закручених і покороблених елементів жорсткості повинна перевірятися відповідно до EN 1993-1-5, також див. 5.2.3.4 (8) і (9).

6.4 Buckling resistance

6.4.1 General

(1) If a plate segment of a plated structure is loaded by in-plane compression or shear, its resistance to plate buckling should be verified with the design rules given in EN 1993-1-5.

(2) Flexural, lateral torsional or distortional stability of the stiffness should be verified according to EN 1993-1-5, see also 5.2.3.4 (8) and (9)

(3) Про урахування взаємодії навантажень у площині пластини та поза її межами див. розділ 5.

(3) For the interaction between the effects of in-plane and out of plane loading, see section 5.

6.4.2 Додаткові правила для загального аналізу при проектуванні

6.4.2 Supplementary rules for the design by global analysis.

(1) Якщо стійкість пластини при комбінації навантажень в її площині та поза її межами перевіряється розрахунком чисельними методами, то розрахунковий вплив F_{Ed} повинен задовольняти умові:

(1) If the plate buckling resistance for combined in plane and out of plane loading is checked by a numerical analysis, the design actions F_{Ed} should satisfy the condition:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd}. \tag{6.8}$$

(2) Стійкість плоскої листової конструкції при поздовжньому згині F_{Rd} визначається формулою:

(2) The plate buckling resistance F_{Rd} of a plated structure is defined as:

$$F_{Rd} = kF_{Rk}/\gamma_{M1}, \tag{6.9}$$

де F_{Rk} – характеристичне значення критичної сили для плоскої листової конструкції;
k – коефіцієнт калібрування, див. (6).

Примітка. Для визначення значення γ_{M1} див. 1.1 (2).

where F_{Rk} is the characteristic buckling resistance of the plated structure

k is the calibration factor, see (6).

NOTE. For the numerical value of γ_{M1} see 1.1(2).

(3) Характеристичне значення критичної сили F_{Rk} повинно визначатися за кривою залежності деформацій від навантажень, яка обчислюється для відповідної точки конструкції з урахуванням відповідної комбінації ррозрахункових впливів F_{Ed}. Розрахунком також повинні ураховуватися недосконалості, як описано у 5.2.3.2.

(3) The characteristic buckling resistance F_{Rk} should be derived from a load-deformation curve which is calculated for the relevant point of the structure taking into account the relevant combination of design actions F_{Ed}. In addition, the analysis should take into account the imperfections as described in 5.2.3.2.

(4) Харктеристичне значення критичної сили F_{Rk} визначається одним із наступних критеріїв:

– за максимальним навантаженням кривої залежності «деформація-навантаження» (граничне навантаження);
– за максимально припустимою деформацією кривої залежності «деформація-навантаження» від навантажень, що відповідають досягненню точки біфуркації або граничного навантаження, якщо це припустимо.

(4) The characteristic buckling resistance F_{Rk} is defined by either of the two following criterion:

– maximum load of the load-deformation-curve (limit load);

– maximum tolerable deformation in the load deformation curve before reaching the bifurcation load or the limit load, if relevant.

(5) Достовірність значення критичної сили, визначеної розрахунком чисельними методами, повинне перевірятися:

(5) The reliability of the numerically determined critical buckling resistance should be checked:

а) шляхом розрахунку стійкості іншої пластини, для якої характеристичне значення критичної сили $F_{rk,known}$ яке відомо, з тими же припущеннями і відхиленнями. У розрахунках, що порівнюються, розрахункові контрольні параметри стійкості мають бути подібними (наприклад, гнучкість пластини, форми втрати стійкості, чутливість до початкових недосконалостей, властивостей матеріалу);

(a) either by calculating other plate buckling cases, for which characteristic buckling resistance values $F_{Rk,known}$ are known, with the same basically similar imperfection assumptions. The check cases should be similar in their buckling controlling parameters (e.g. non-dimensional plate slenderness, post buckling behaviour, imperfection-sensitivity, material behaviour);

б) або шляхом порівняння отриманих значень із результатами випробувань $F_{Rk,known}$.

(b) or by comparison of calculated values with test results $F_{Rk,known}$.

(6) В залежності від результатів перевірки достовірності коефіцієнт калібрування k визначається за формулою

(6) Depending on the results of the reliability checks a calibration factor k should be evaluated from:

$$k = F_{Rk,known,check} / F_{Rk,check} \tag{6.10}$$

де $F_{Rk,known,check}$ приймається за даними отриманими вище;
$F_{Rk,check}$ результати чисельних розрахунків

where $F_{Rk,known}$, check as follows from prior knowledge;
$F_{Rk,check}$ are the results of the numerical calculations.

6.4.3 Додаткові правила для розрахунку спрощеними розрахунковими методами

(1) Якщо підкріплений сегмент пластини розділяється на субпанелі і еквівалентні елементи жорсткості, як описано у 5.2.3.4, стійкість підкріпленого сегменту пластини може бути перевірена розрахунковими методами, наведеними в EN 1993-1-5. Стійкість вільних країв поясів ребер жорсткості може бути перевірена відповідно до 6.3.3 EN 1993-1-1.

(2) Стійкість еквівалентного («ефективного») елемента жорсткості, який визначається у розділі 5.2.3.4, може бути перевірена розрахунковими методами, наведеними в EN 1993-1-1.

6.4.3 Supplementary rules for the design by simplified design methods

(1) If a stiffened plate segment is subdivided into subpanels and equivalent effective stiffeners as described in section 5.2.3.4 the buckling resistance of the stiffened plate segment may be checked with the design rules given in EN 1993-1-5. Lateral buckling of free stiffener-flanges may be checked according to EN 1993-1-1, section 6.3.3.

(2) The buckling resistance of the equivalent effective stiffener which is defined in section 5.2.3.4 of the plate may be checked with the design rules given in EN 1993-1-1.

7 ВТОМА

(1) Для плоских листових конструкцій вимоги до втоми приймаються у відповідних додатках стандарту EN 1993.

(2) Оцінка втоми повинна виконуватися відповідно до процедури, представленої в EN 1993-1-9.

7 FATIGUE

(1) For plated structures the requirements for fatigue should be obtained from the relevant application standard of EN 1993.

(2) The fatigue assessment should be carried out according to the procedure given in EN 1993-1-9.

8 ГРАНИЧНІ СТАНИ ДРУГОЇ ГРУПИ

8.1 Загальні положення

(1) Принципи визначення граничних станів другої групи, зазначені в розділі 7 EN 1993-1-1, також застосовуються до плоских листових конструкцій.

(2) Для плоских листових конструкцій особливо повинні перевірятися критерії граничних станів, зазначені в 8.2 і 8.3.

8.2 Прогини з площини

(1) Граничне значення прогину w повинно визначатися як умова, за якою не виконуються умови нормальної експлуатації сегмента пластини.

Примітка. Для визначення граничних значень прогину *w* див. відповідні нормативи.

8.3 Хисткість (надмірні коливання)

(1) Надмірні коливання повинні визначатися як гранична умова, за якою або відбувається руйнування плоскої листової конструкції внаслідок втоми, що викликана надмірними коливаннями пластини, або вступає в силу обмеження за втратою експлуатаційної здатності.

Примітка. Для визначення граничних значень гнучкості з метою усунення надмірних коливань див. відповідні нормативи.

8 SERVICEABILITY LIMIT STATE

8.1 General

(1) The principles for serviceability limit state given in section 7 of EN 1993-1-1 should also be applied to plated structures.

(2) For plated structures especially the limit state criteria given in 8.2 and 8.3 should be verified.

8.2 Out of plane deflection

(1) The limit of the out of plane deflection w should be defined as the condition in which the effective use of a plate segment is ended.

NOTE. For limiting values of out of plane deflection *w* see application standard.

8.3 Excessive vibrations

(1) Excessive vibrations should be defined as the limit condition in which either the failure of a plated structure occurs by fatigue caused by excessive vibrations of the plate or serviceability limits apply.

NOTE. For limiting values of slenderness to prevent excessive vibrations see application standard.

ДОДАТОК А
(довідковий)
ТИПИ РОЗРАХУНКІВ ПЛАСТИН

А.1 Загальні положення

(1) Внутрішні напруження в підкріпленій і непідкріпленій пластині можуть визначатися наступними типами розрахунків:

− LA: лінійний пружний;

− GNA: геометрично нелінійний;

− MNA: з урахуванням фізичної нелінійності;

− GMNA: з урахуванням геометричної і фізичної нелінійності;

− GNIA: геометрично нелінійний пружний з урахуванням початкових недосконалостей;

− GMNIA: геометрично і фізично нелінійний з урахуванням початкових недосконалостей.

А.2 Лінійний пружний розрахунок пластини (LA)

(1) Лінійний пружний розрахунок моделює поведінку тонкої пластини на підставі теорії згину пластин з ідеальною геометрією. Лінеаризація є результатом допущення лінійно-пружного закону деформування матеріалу і лінійної теорії малих прогинів.

(2) В лінійному пружному розрахунку (LA) задовольняють як умови рівноваги, так і сумісності прогинів. Напруження і деформації змінюються лінійно із зростанням поперечного навантаження.

(3) Прикладом лінійного пружного розрахунку є наступне диференційне рівняння четвертого порядку з частковими похідними, наведене для ізотропної тонкої пластини, завантаженої тільки навантаженням поза межами площини:

ANNEX A
[informative]
TYPES OF ANALYSIS FOR THE DESIGN OF PLATED STRUCTURES

A.1 General

(1) The internal stresses of stiffened and unstiffened plates may be determined with the following types of analysis:

− LA: Linear elastic analysis;

− GNA: Geometrically nonlinear analysis;

− MNA: Materially nonlinear analysis;

− GMNA: Geometrically and materially non-linear analysis;

− GNIA: Geometrically nonlinear analysis elastic with imperfections included;

− GMNIA: Geometrically and materially non-linear analysis with imperfections included.

A.2 Linear elastic plate analysis (LA)

(1) The linear elastic analysis models the behaviour of thin plate structures on the basis of the plate bending theory, related to the perfect geometry of the plate. The linearity of the theory results from the assumptions of the linear elastic material law and the linear small deflection theory.

(2) The LA analysis satisfies the equilibrium as well as the compatibility of the deflections. The stresses and deformations vary linear with the out of plane loading.

(3) As an example for the LA analysis the following fourth-order partial differential equation is given for an isotropic thin plate that subject only to a out of plane load p(x,y):

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p(x,y)}{D}, \qquad \text{(A.1)}$$

де

Where

$$D = \frac{Et^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}$$

А.3 Геометрично нелінійний розрахунок (GNA)

(1) Геометрично нелінійний розрахунок засновується на теорії згину пластин з ідеальною геометрією з застосуванням закону лінійно-пружного деформування матеріалів нелінійної теорії великих прогинів.

(2) В геометрично нелінійному розрахунку мають задовольнятися як умови рівноваги, так і сумісності прогинів при розгляді деформування конструкції.

(3) В теорії великих прогинів враховується взаємодія між згинальними і мембранними впливами. Переміщення і напруження змінюються нелінійно з зростанням поперечного навантаження.

(4) Прикладом геометрично нелінійного розрахунку є наступна система диференційних рівнянь четвертого порядку, наведеная для ізотропної тонкої пластини, завантаженої тільки навантаженням p(x,y) поза межами площини:

A.3 Geometrically nonlinear analysis (GNA)

(1) The geometrically nonlinear elastic analysis is based on the principles of the plate bending theory of the perfect structure using the linear elastic material law and the nonlinear, large deflection theory.

(2) The GNA analysis satisfies the equilibrium as well as the compatibility of the deflections under consideration of the deformation of the structure.

(3) The large deflection theory takes into account the interaction between flexural and membrane actions. The deflections and stresses vary in a non linear manner with the magnitude of the out of plane pressur.

(4) As an example for the GNA analysis the following fourth-order partial differential equation system is given for an isotropic thin plate subjected only to a out of plane load p(x,y).

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4}+2\cdot\frac{\partial^4 w}{\partial x^2\partial y^2}+\frac{\partial^4 w}{\partial y^4}-\frac{t}{D}\cdot\left[\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}\cdot\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}-2\cdot\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x\partial y}\cdot\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y}\right)+\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}\cdot\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right]=\frac{p(x,y)}{D}, \qquad \text{(A.2a)}$$

$$\frac{\partial^4 f}{\partial x^4}+2\cdot\frac{\partial^4 f}{\partial x^2\partial y^2}+\frac{\partial^4 f}{\partial y^4}=E\cdot\left[\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y}\right)^2-\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\cdot\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right], \qquad \text{(A.2b)}$$

де f − функція напружень Ері;

where f is the Airy's stress function

$$D=\frac{Et^3}{12\cdot(1-\nu^2)}$$

А.4 Розрахунок з урахуванням фізичної нелінійності (MNA)

(1) Розрахунок з урахуванням фізичної нелінійності оснований на теорії згину пластин ідеальної геометрії з припущенням малих прогинів, як в розділі А.2, і нелінійної поведінки матеріалу.

A.4 Materially nonlinear analysis (MNA)

(1) The materially nonlinear analysis is based on the plate bending theory of the perfect structure with the assumption of small deflections - like in A.2 -, however, it takes into account the nonlinear behaviour of the material.

А.5 Розрахунок з урахуванням геометричної і фізичної нелінійності (GMNA)

(1) Розрахунок з урахуванням геометричної і фізичної нелінійності оснований на теорії згину пластин

A.5 Geometrically and materially nonlinear analysis (GMNA)

(1) The geometrically and materially nonlinear analysis is based on the plate bending theory of the perfect structure with the assump-

ідеальної геометрії з припущеннями нелінійної теорії великих прогинів і нелінійного закону пружно-пластичного деформування матеріалу.

tions of the nonlinear, large deflection theory and the nonlinear, elasto-plastic material law.

A.6 Геометрично нелінійний пружний розрахунок з урахуванням початкових недосконалостей (GNIA)

(1) Геометрично нелінійний розрахунок з урахуванням початкових недосконалостей відповідає геометрично нелінійному розрахунку, викладеному в розділі A.3, однак в якості геометричної моделі використовується конструкція з геометричними початковими недосконалостями, наприклад, попереднім деформуванням пластини, що відповідає формі втраті стійкості.

(2) Геометрично нелінійний пружний розрахунок застосовується в деяких конструкціях пластин у випадках переважання напружень стиску або зсуву, зумовлених впливом ефектів у площині пластини. Він забезпечує стійкість пластини з фактичними недосконалостями у пружний стадії роботи.

A.6 Geometrically nonlinear analysis elastic with imperfections included (GNIA)

(1) The geometrically nonlinear analysis with imperfections included is equivalent to the GNA analysis defined in A.3, however, the geometrical model used the geometrically imperfect structure, for instance a predeformation applies at the plate which is governed by the relevant buckling mode.

(2) The GNIA analysis is used in cases of dominating compression or shear stresses in some of the plated structures due to in-plane effects. It delivers the elastic buckling resistance of the "real" imperfect plated structure.

A.7 Геометрично і фізично нелінійний розрахунок з урахуванням початкових недосконалостей (GMNIA)

(1) Геометрично і фізично нелінійний розрахунок з урахуванням початкових недосконалостей відповідає розрахунку з урахуванням геометричної і фізичної нелінійності, що описаний в розділі A.5, однак у якості геометричної моделі використовується конструкція з геометричними недосконалостями, наприклад, у вигляді попередньо деформованої (у відповідності з формою втрати стійкості) пластини.

(2) Геометрично і фізично нелінійний розрахунок з урахуванням початкових недосконалостей застосовується у випадках переважання напружень стиску або зсуву, зумовлених впливом ефектів в площині пластини. Він забезпечує стійкість пластини з фактичними недосконалостями у пружно-пластичній стадії роботи.

A.7 Geometrically and materially nonlinear analysis with imperfections included (GMNIA)

(1) The geometrically and materially nonlinear analysis with imperfections included is equivalent to the GMNA analysis defined in A.5, however, the geometrical model used the geometrically imperfect structure, for instance a pre-deformation applies at the plate which is governed by the relevant buckling mode.

The GMNIA analysis is used in cases of dominating compression or shear stresses in a plate due to in-plane effects. It delivers the elasto-plastic buckling resistance of the “real” imperfect structure.

ДОДАТОК В
(довідковий)
НАПРУЖЕНИЙ СТАН ВІЛЬНО ПІДПЕРТИХ ПЛАСТИН ЗА ТЕОРІЄЮ МАЛИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

ANNEX B
[informative]
INTERNAL STRESSES OF UNSTIFFENED RECTANGULAR PLATES FROM SMALL DEFLECTION THEORY

B.1 Загальні положення

(1) В цьому додатку наведені розрахункові формули для обчислень внутрішніх напружень в непідкріплених прямокутних пластинах, які основані на теорії малих прогинів пластин. Відповідно, результати впливів мембранних сил не враховуються у розрахункових формулах, наведених в цьому додатку.

(2) Розрахункові формули передбачені для наступних видів навантажень:

− рівномірно розподіленого навантаження по всій плиті, див. розділ B.3;
− розподіленого навантаження, що прикладена до центральної ділянки пластини, див. розділ B.4.

(3) Прогин w сегмента пластини і згинальні напруження $\sigma_{b,x}$ і $\sigma_{b,y}$ у сегменті пластини можуть обчислюватися на підставі коефіцієнтів, зазначених в таблицях розділів B.3 і B.4. Коефіцієнти враховують коефіцієнт Пуасона $\nu = 0{,}3$.

B.2 Позначення

(1) Позначення, що використовуються:
q_{Ed} − розрахункове значення розподіленого навантаження;
p_{Ed} − розрахункове значення навантаження на ділянці пластини;
a − менша сторона пластини;
b − більша сторона пластини;
t − товщина пластини;
E − модуль пружності;
k_w − коефіцієнт для визначення прогину пластини, що відповідає граничним умовам, зазначеним в наведених нижче таблицях;
$k_{\sigma bx}$ − коефіцієнт для визначення згинального напруження $\sigma_{b,x}$ пластини, що відповідає граничним умовам, зазначеним в наведених нижче таблицях;
$k_{\sigma by}$ − коефіцієнт для визначення

B.1 General

(1) This annex provides design formulae for the calculation of internal stresses of unstiffened rectangular plates based on the small deflection theory for plates. Therefore the effects of membrane forces are not taken into account in the design formulae given in this annex.

(2) Design formulae are provided for the following load cases:

− uniformly distributed loading on the entire plate, see B.3;
− central patch loading distributed uniformly over a patch area, see B.4.

(3) The deflection w of a plate segment and the bending stresses σ_{bx} and σ_{by} in a plate segment may be calculated with the coefficients given in the tables of section B.3 and B.4. The coefficients take into account a Poisson's ratio ν of 0,3.

B.2 Symbols

(1) The symbols used are:
q_{Ed} is the design value of the distributed load;

p_{Ed} is the design value of the patch loading;

a is the smaller side of the plate;
b is the longer side of the plate;
t is the thickness of the plate;
E is the Elastic modulus;
k_w is the coefficient for the deflection of the plate appropriate to the boundary conditions of the plate specified in the data tables;

$k_{\sigma bx}$ is the coefficient for the bending stress σ_{bx} of the plate appropriate to the boundary conditions of the plate specified in the data tables;
$k_{\sigma by}$ is the coefficient for the bending stress

згинального напруження $\sigma_{b,y}$ пластини, що відповідає граничним умовам, зазначеним в наведених нижче таблицях.

σ_{by} of the plate appropriate to the boundary conditions of the plate specified in the data tables.

B.3 Рівномірно розподілене навантаження

B.3 Uniformly distributed loading

B.3.1 Прогин з площини

B.3.1 Out of plane deflection

(1) Прогин w рівномірно завантаженого сегменту пластини можна розрахувати за формулою

(1) The deflection *w* of a plate segment which is loaded by uniformly distributed loading may be calculated as follows:

$$w = k_w \cdot \frac{q_{Ed} a^4}{E t^3} . \qquad \text{(B.1)}$$

Примітка. Формула (Б.1) дійсна, тільки коли *w* менш ніж *t*.

NOTE. Expression (B.1) is only valid where *w* is small compared with *t*.

B.3.2 Внутрішні напруження

B.3.2 Internal stresses

(1) Згинальні напруження $\sigma_{b,x}$ і $\sigma_{b,y}$ у сегменті пластини можна визначити з наступних рівнянь:

(1) The bending stresses σ_{bx} and σ_{by} in a plate segment may be determined with the following equations:

$$\sigma_{b,x,Ed} = k_{\sigma bx} \cdot \frac{q_{Ed} a^2}{t^2} , \qquad \text{(B.2)}$$

$$\sigma_{b,y,Ed} = k_{\sigma by} \cdot \frac{q_{Ed} a^2}{t^2} . \qquad \text{(B.3)}$$

(2) Для сегмента пластини еквівалентне напруження можна розрахувати за допомогою згинальних напружень, наведених в (1), наступним чином:

(2) For a plate segment the equivalent stress may be calculated with the bending stresses given in (1) as follows:

$$\sigma_{eq,Ed} = \sqrt{\sigma_{b,x,Ed}^2 + \sigma_{b,y,Ed}^2 - \sigma_{b,x,Ed}\sigma_{b,y,Ed}} . \qquad \text{(B.4)}$$

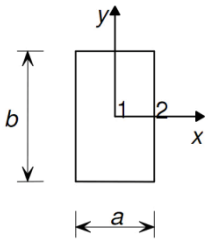
Примітка. Точки, для яких напруження, визначені в наведених нижче таблицях, знаходяться або на вісях симетрії, або на границях пластини, так, що завдяки симетрії або сформульованим граничним умовам, дотичні напруження при згині τ_b дорівнюють нулю.

NOTE. The points for which the state of stress are defined in the data tables are located either on the centre lines or on the boundaries, so that due to symmetry or the postulated boundary conditions, the bending shear stresses τ_b are zero.

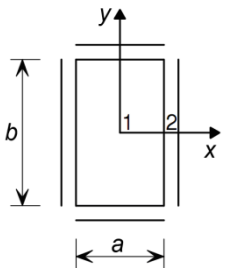
В.3.3 Коефіцієнти k для рівномірно розподілених навантажень

B.3.3 Coefficients k for uniformly distributed loadings

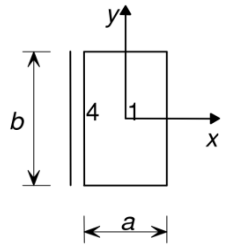
Таблиця В.1 — Коефіцієнти *k*
Table B.1 — Coefficients *k*

		**Навантаження:** рівномірно розподілене **Loading:** Uniformly distributed loading	
		Граничні умови: всі краї закріплені шарнірно нерухомими опорами **Boundary conditions:** All edges are rigidly supported and rotationally free	
b/a	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$
1,0	0,04434	0,286	0,286
1,5	0,08438	0,486	0,299
2,0	0,11070	0,609	0,278
3,0	0,13420	0,712	0,244

Таблиця В.2 — Коефіцієнти *k*
Table B.2 — Coefficients *k*

			**Навантаження:** рівномірно розподілене **Loading:** Uniformly distributed loading	
			Граничні умови: всі краї жорстко защемлені **Boundary conditions:** All edges are rigidly supported and rotationally fixed.	
b/a	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma bx2}$
1,0	0,01375	0,1360	0,1360	–0,308
1,5	0,02393	0,2180	0,1210	–0,454
2,0	0,02763	0,2450	0,0945	–0,498
3,0	0,02870	0,2480	0,0754	–0,505

Таблиця В.3 — Коефіцієнти *k*
Table B.3 — Coefficients *k*

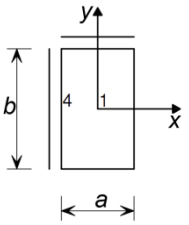


Навантаження:
рівномірно розподілене
Loading:
Uniformly distributed loading

Граничні умови:
три краї закріплені шарнірно нерухомо і один — жорстко защемлений
Boundary conditions:
Three edges are rigidly supported and rotationally free and one edge is rigidly supported and rotationally fixed.

b/a	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma bx4}$
1,5	0,04894	0,330	0,177	–0,639
2,0	0,05650	0,368	0,146	–0,705

Таблиця В.4 — Коефіцієнти *k*
Table B.4 — Coefficients *k*

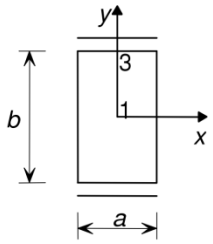


Навантаження:
рівномірно розподілене
Loading:
Uniformly distributed loading

Граничні умови:
два краї закріплені шарнірно нерухомо і два – жорстко защемлені
Boundary conditions:
Two edges are rigidly supported and rotationally free and two edges are rigidly supported and rotationally fixed.

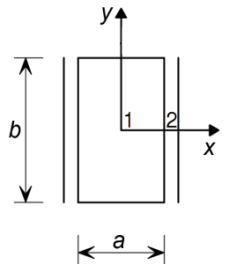
b/a	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma bx4}$
1,0	0,02449	0,185	0,185	–0,375
1,5	0,04411	0,302	0,180	–0,588
2,0	0,05421	0,355	0,152	–0,683

Таблиця B.5 — Коефіцієнти *k*
Table B.5 — Coefficients *k*

	**Навантаження:** рівномірно розподілене **Loading:** Uniformly distributed loading
	Граничні умови: два протилежних коротких краї защемлені, два інших — опираються шарнірно рухомо **Boundary conditions:** Two opposite short edges are clamped, the other two edges are simply supported.

b/a	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma by3}$
1,0	0,02089	0,145	0,197	–0,420
1,5	0,05803	0,348	0,274	–0,630
2,0	0,09222	0,519	0,284	–0,717

Таблиця B.6 — Коефіцієнти *k*
Table B.6 — Coefficients *k*

	**Навантаження:** рівномірно розподілене **Loading:** Uniformly distributed loading
	Граничні умови: два протилежних довгих краї защемлені жорстко, два інших — шарнірно рухомо **Boundary conditions**: Two opposite long edges are clamped, the other two edges are simply supported.

b/a	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma bx2}$
1,5	0,02706	0,240	0,106	–0,495
2,0	0,02852	0,250	0,0848	–0,507

B.4 Навантаження на центральній ділянці пластини

B.4.1 Прогин з площини

(1) Прогин *w* сегмента пластини з навантаженням на центральній ділянці можна розрахувати за формулою

B.4 Central patch loading

B.4.1 Out of plane deflection

(1) The deflection *w* of a plate segment which is loaded by a central patch loading may be calculated as follows:

$$w = k_w \cdot \frac{p_{Ed} a^4}{E t^3}. \qquad \text{(B.5)}$$

B.4.2 Внутрішні напруження

(1) Згинальні напруження $\sigma_{b,x}$ і $\sigma_{b,y}$ в сегменті

B.4.2 Internal stresses

(1) The bending stresses σ_{bx} and σ_{by} in a plate

пластини можна визначити за наступними формулами:

segment may be determined by the following formulas:

$$\sigma_{b,x,Ed} = k_{\sigma bx} \cdot \frac{p_{Ed}}{t^2}, \qquad \text{(B.6)}$$

$$\sigma_{b,y,Ed} = k_{\sigma by} \cdot \frac{p_{Ed}}{t^2}. \qquad \text{(B.7)}$$

(2) Для сегмента пластини еквівалентні напруження від згину можуть бути обчислені на підставі складових (1) наступним чином:

(2) For a plate segment the equivalent stress may be calculated with the bending stresses given in (1) as follows:

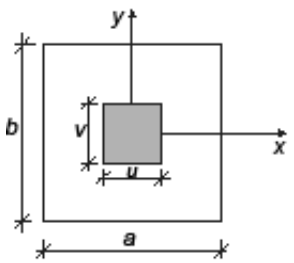
$$\sigma_{eq,Ed} = \sqrt{\sigma_{b,x,Ed}^2 + \sigma_{b,y,Ed}^2 - \sigma_{b,x,Ed}\sigma_{b,y,Ed}}. \qquad \text{(B.8)}$$

B.4.3 Коефіцієнти k для навантаження на центральній ділянці пластини

B.4.3 Coefficients k for patch loading

Таблиця B.7 — Коефіцієнти *k*

Table B.7 — Coefficients *k*



Навантаження:
на центральній ділянці

Loading:
Central patch loading

Граничні умови:
всі краї закріплені шарнірно нерухомо

Boundary conditions:
All edges are rigidly supported and rotationally free.

Параметри:

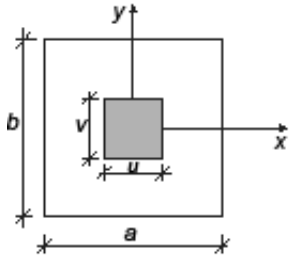
Parameters:

α = u/a β = v/a

b/a	α×β	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$
1	0,1×0,1	0,1254	1,72	1,72
	0,2×0,2	0,1210	1,32	1,32
	0,3×0,3	0,1126	1,04	1,04
	0,2×0,3	0,1167	1,20	1,12
	0,2×0,4	0,1117	1,10	0,978
1,5	0,1×0,1	0,1664	1,92	1,70
	0,2×0,2	0,1616	1,51	1,29
	0,3×0,3	0,1528	1,22	1,01
	0,2×0,3	0,1577	1,39	1,09
	0,2×0,4	0,1532	1,29	0,953

Закінчення таблиці В.7

End of Table B.7



Навантаження:
на центральній ділянці

Loading:
Central patch loading

Граничні умови:
всі краї закріплені шарнірно нерухомо

Boundary conditions:
All edges are rigidly supported and rotationally free.

Параметри:

Parameters:

$\alpha = u/a$ $\beta = v/a$

b/a	$\alpha\times\beta$	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$
2,0	0,1×0,1	0,1795	1,97	1,67
	0,2×0,2	0,1746	1,56	1,26
	0,3×0,3	0,1657	1,28	0,985
	0,2×0,3	0,1708	1,45	1,07
	0,2×0,4	0,1665	1,35	0,929
3,0	0,1×0,1	0,1840	1,99	1,66
	0,2×0,2	0,1791	1,58	1,25
	0,3×0,3	0,1701	1,30	0,975
	0,2×0,3	0,1753	1,47	1,06
	0,2×0,4	0,1711	1,37	0,918

ДОДАТОК С
(довідковий)
НАПРУЖЕНИЙ СТАН НЕПІДКРІПЛЕНИХ ПРЯМОКУТНИХ ПЛАСТИН ЗА ТЕОРІЄЮ ВЕЛИКИХ ПРОГИНІВ

С.1 Загальні положення

(1) В цьому додатку наведені розрахункові формули для внутрішніх напружень непідкріплених прямокутних пластин, основані на теорії великих прогинів пластин.

(2) Розглядаються наступні умови завантаження:

− рівномірно розподілене навантаження по всій поверхні пластини, див. розділ С.3;
− рівномірно розподілене навантаження на центральній ділянці пластини, див. розділ С.4.

(3) Згинальні і мембранні напруження в пластині і прогини w пластини можна розрахувати за допомогою коефіцієнтів, зазначених в таблицях розділів С.3 і С.4. Коефіцієнти отримані з урахуванням коефіцієнта Пуасона ν = 0,3.

С.2 Позначення

(1) Позначення, що використовуються:

q_{Ed} − розрахункове значення рівномірно розподіленого навантаження по всій поверхні;
p_{Ed} − розрахункове значення рівномірно розподіленого навантаження на ділянці пластини з розмірами u x v;
a − меньша сторона пластини;
b − більша сторона пластини;
t − товщина пластини;
E − модуль пружності;
FBC − граничні умови для згинального стану;
MBC − граничні умови для мембранного стану;
k_w − коефіцієнт для визначення прогину пластини, що відповідає граничним умовам, зазначеним в наведених нижче таблицях;
$k_{\sigma bx}$ − коефіцієнт для визначення згинального напруження $\sigma_{b,x}$ в пластині,

ANNEX C
[informative]
INTERNAL STRESSES OF UNSTIFFENED RECTANGULAR PLATES FROM LARGE DEFLECTION THEORY

C.1 General

(1) This annex provides design formulas for the calculation of internal stresses of unstiffened rectangular plates based on the large deflection theory for plates.

(2) The following loading conditions are considered:

– uniformly distributed loading on the entire plate, see C.3;

– central patch loading distributed uniformly over the patch area, see C.4.

(3) The bending and membrane stresses in a plate and the deflection w of a plate may be calculated with the coefficients given in the tables of section C.3 and C.4. The coefficients take into account a Poisson's ratio ν of 0,3.

C.2 Symbols

(1) The symbols used are:

q_{Ed} is the design value of the load uniformly distributed over the total surface;

p_{Ed} is the design value of the patch loading uniformly distributed over the surface *u x* v;

a is the smaller side of the plate;
b is the longer side of the plate;
t is the thickness of the plate;
E is the Elastic modulus;
FBC flexural boundary conditions;

MBC membrane boundary conditions;

k_w is the coefficient for the deflection of the plate appropriate to the boundary conditions specified in the data tables;

$k_{\sigma bx}$ is the coefficient for the bending stress σ_{bx} of the plate appropriate to the boundary

що відповідає граничним умовам, зазначеним в наведених нижче таблицях;

$k_{\sigma by}$ − коефіцієнт для визначення згинального напруження $\sigma_{b,y}$ в пластині, що відповідає граничним умовам, зазначеним в наведених нижче таблицях;

$k_{\sigma mx}$ − коефіцієнт для визначення мембранного напруження $\sigma_{m,x}$ в пластині, що відповідає граничним умовам, зазначеним в наведених нижче таблицях;

$k_{\sigma my}$ − коефіцієнт для визначення мембранного напруження $\sigma_{m,y}$ в пластині, що відповідає граничним умовам, зазначеним в наведених нижче таблицях.

conditions specified in of the plate in the data tables;

$k_{\sigma by}$ is the coefficient for the bending stress σ_{by} of the plate appropriate to the boundary conditions specified in the data tables;

$k_{\sigma mx}$ is the coefficient for the membrane stress σ_{mx} of the plate appropriate to the boundary conditions specified in the data tables;

$k_{\sigma my}$ is the coefficient for the membrane stress σ_{my} of the plate appropriate to the boundary conditions specified in the data tables.

C.3 Рівномірно розподілене навантаження по всій поверхні пластини

C.3 Uniformly distributed loading on the total surface of the plate

C.3.1 Прогин із площини

C.3.1 Out of plane deflection

(1) Прогин w сегмента пластини, яка навантажена рівномірно розподіленим навантаженням, можна розрахувати за формулою

(1) The deflection *w* of a plate segment which is loaded by uniformly distributed loading may be calculated as follows:

$$w = k_w \cdot \frac{q_{Ed} a^4}{E t^3} . \tag{C.1}$$

C.3.2 Внутрішні напруження

C.3.2 Internal stresses

(1) Згинальні напруження $\sigma_{b,x}$ і $\sigma_{b,y}$ в сегменті пластини можна визначити за наступними формулами:

(1) The bending stresses σ_{bx} and σ_{by} in a plate segment may be determined with the following equations:

$$\sigma_{b,x,Ed} = k_{\sigma bx} \cdot \frac{q_{Ed} a^2}{t^2} , \tag{C.2}$$

$$\sigma_{b,y,Ed} = k_{\sigma by} \cdot \frac{q_{Ed} a^2}{t^2} . \tag{C.3}$$

(2) Мембранні напруження $\sigma_{m,x}$ і $\sigma_{m,y}$ в сегменті пластини можна визначити за наступними формулами:

(2) The membrane stresses σ_{mx} and σ_{my} in a plate segment may be determined as follows:

$$\sigma_{m,x,Ed} = k_{\sigma mx} \cdot \frac{q_{Ed} a^2}{t^2} , \tag{C.4}$$

$$\sigma_{m,y,Ed} = k_{\sigma my} \cdot \frac{q_{Ed} a^2}{t^2} . \tag{C.5}$$

(3) На навантаженій поверхні пластини загальні напруження визначаються згинальними і мембранними напруженнями, наведеними в (1) і (2), наступним чином:

(3) At the loaded surface of a plate the total stresses are calculated with the bending and membrane stresses given in (1) and (2) as follows:

$$\sigma_{x,Ed} = -\sigma_{b,x,Ed} + \sigma_{m,x,Ed} , \tag{C.6}$$

$$\sigma_{y,Ed} = -\sigma_{b,y,Ed} + \sigma_{m,y,Ed} \,. \tag{C.7}$$

(4) На ненавантаженій поверхні пластини загальні напруження визначаються згинальними і мембранними напруженнями, наведеними в (1) і (2), наступним чином:

(4) At the no-loaded surface of a plate the total stresses are determined with the bending and membrane stresses given in (1) and (2) as follows:

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{b,x,Ed} + \sigma_{m,x,Ed} \,, \tag{C.8}$$

$$\sigma_{y,Ed} = \sigma_{b,y,Ed} + \sigma_{m,y,Ed} \,. \tag{C.9}$$

(5) Для пластини еквівалентне напруження $\sigma_{eq,Ed}$ можна визначити за напруженнями, наведеними у (4), наступним чином:

(5) For a plate the equivalent stress $\sigma_{eq,Ed}$ may be calculated with the stresses given in (4) as follows:

$$\sigma_{eq,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{y,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed}\sigma_{y,Ed}} \,. \tag{C.10}$$

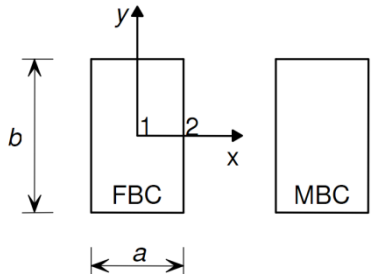
Примітка. Точки, для яких напружений стан визначається в наведених нижче таблицях, розташовані або на вісях симетрії, або на краях так, що завдяки симетрії або сформульованим граничним умовам, мембранні дотичні напруження τ_m, а також дотичні напруження від згину τ_b дорівнюють нулю. Алгебраїчна сума відповідного згинального і мембранного напружень в точках, зазначених в наведених нижче таблицях, дає значення максимальних і мінімальних напружень на поверхні пластини в цих точках.

NOTE. The points for which the state of stress are defined in the data tables are located either on the centre lines or on the boundaries, so that due to symmetry or the postulated boundary conditions, membrane shearing stresses τ_m as well as bending shear stresses τ_b are zero. The algebraic sum of the appropriate bending and membrane stresses at the points considered in the data tables gives the values of maximum and minimum surface stresses at these points.

С.3.3 Коефіцієнти k для рівномірно розподілених навантажень

C.3.3 Coefficients *k* for uniformly distributed loadings

Таблиця С.1 — Коефіцієнти *k*
Table C.1 —Coefficients *k*



Навантаження:
рівномірно розподілене

Loading:
Uniformly distributed loading

Граничні умови:
FBC: усі краї шарнірно рухомо підперти
MBC: нормальні і дотичні напруження дорівнюють нулю

Boundary conditions:
FBC: All edges are simply supported.
MBC: Zero direct stresses, zero shear stresses

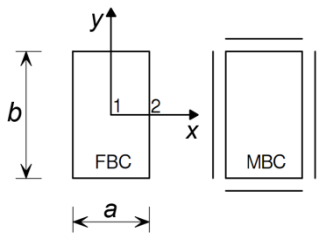
Параметри:

Parameters:

$$Q = \frac{q_{Ed} a^4}{E t^4}$$

b/a	Q	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma mx1}$	$k_{\sigma my1}$	$k_{\sigma mx2}$
1,0	20	0,0396	0,2431	0,2431	0,0302	0,0302	–0,0589
	40	0,0334	0,1893	0,1893	0,0403	0,0403	–0,0841
	120	0,0214	0,0961	0,0961	0,0411	0,0411	–0,1024
	200	0,0166	0,0658	0,0658	0,0372	0,0372	–0,1004
	300	0,0135	0,0480	0,0480	0,0335	0,0335	–0,0958
	400	0,0116	0,0383	0,0383	0,0306	0,0306	–0,0915
1,5	20	0,0685	0,3713	0,2156	0,0243	0,0694	–0,1244
	40	0,0546	0,2770	0,1546	0,0238	0,0822	–0,1492
	120	0,0332	0,1448	0,0807	0,0170	0,0789	–0,1468
	200	0,0257	0,1001	0,0583	0,0141	0,0715	–0,1363
	300	0,0207	0,0724	0,0440	0,0126	0,0646	–0,1271
	400	0,0176	0,0569	0,0359	0,0117	0,0595	–0,1205
2,0	20	0,0921	0,4909	0,2166	0,0085	0,0801	–0,1346
	40	0,0746	0,3837	0,1687	0,0079	0,0984	–0,1657
	120	0,0462	0,2138	0,0959	0,0073	0,0992	–0,1707
	200	0,0356	0,1516	0,0695	0,0067	0,0914	–0,1610
	300	0,0287	0,1121	0,0528	0,0061	0,0840	–0,1510
	400	0,0245	0,0883	0,0428	0,0061	0,0781	–0,1434

Таблиця С.2 — Коефіцієнти *k*
Table C.2 — Coefficients *k*



Навантаження:
рівномірно розподілене

Loading:
Uniformly distributed loading:

Граничні умови:
FBC: всі краї шарнірно рухомо підперті
MBC: всі краї залишаються прямими. Нормальні і дотичні напруження на серединній поверхні дорівнюють нулю

Boundary conditions:

FBC: All edges are simply supported.

MBC: All edges remain straight. Zero average direct stresses, zero shear stresses

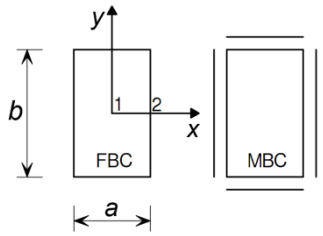
Параметри:

Parameters:

$$Q = \frac{q_{Ed} a^4}{E t^4}$$

b/a	Q	k	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma mx1}$	$k_{\sigma my1}$	$k_{\sigma mx2}$	$k_{\sigma my2}$
1	20	0,0369	0,2291	0,2291	0,0315	0,0315	0,0352	–0,0343
	40	0,0293	0,1727	0,1727	0,0383	0,0383	0,0455	–0,0429
	120	0,0170	0,0887	0,0887	0,0360	0,0360	0,0478	–0,0423
	200	0,0126	0,0621	0,0621	0,0317	0,0317	0,0443	–0,0380
	300	0,0099	0,0466	0,0466	0,0280	0,0280	0,0403	–0,0337
	400	0,0082	0,0383	0,0383	0,0255	0,0255	0,0372	–0,0309
1,5	20	0,0554	0,3023	0,1612	0,0617	0,0287	0,0705	–0,0296
	40	0,0400	0,2114	0,1002	0,0583	0,0284	0,0710	–0,0293
	120	0,0214	0,1079	0,0428	0,0418	0,0224	0,0559	–0,0224
	200	0,0157	0,0778	0,0296	0,0345	0,0191	0,0471	–0,0188
	300	0,0122	0,0603	0,0224	0,0296	0,0167	0,0408	–0,0161
	400	0,0103	0,0505	0,0188	0,0267	0,0152	0,0369	–0,0147
2	20	0,0621	0,3234	0,1109	0,0627	0,0142	0,0719	–0,0142
	40	0,0438	0,2229	0,0689	0,0530	0,0120	0,0639	–0,0120
	120	0,0234	0,1163	0,0336	0,0365	0,0086	0,0457	–0,0083

Закінчення таблиці С.2
End of Table C.2



Навантаження:
рівномірно розподілене

Loading:
Uniformly distributed loading:

Граничні умови:
FBC: всі краї шарнірно рухомо підперті
MBC: всі краї залишаються прямими. Нормальні і дотичні напруження на серединній поверхні дорівнюють нулю

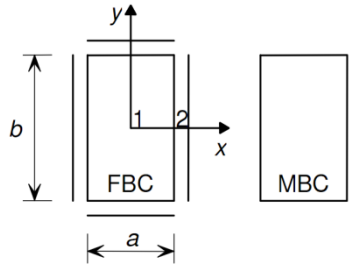
Boundary conditions:
FBC: All edges are simply supported.
MBC: All edges remain straight. Zero average direct stresses, zero shear stresses

Параметри:
Parameters:

$$Q = \frac{q_{Ed} a^4}{E t^4}$$

b	Q	k	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma mx1}$	$k_{\sigma my1}$	$k_{\sigma mx2}$	$k_{\sigma my2}$
2	200	0,0172	0,0847	0,0247	0,0305	0,0075	0,0384	–0,0067
	300	0,0135	0,0658	0,0195	0,0268	0,0067	0,0335	–0,0058
	400	0,0113	0,0548	0,0164	0,0244	0,0064	0,0305	–0,0050
3	20	0,0686	0,3510	0,1022	0,0477	0,0020	0,0506	–0,0007
	40	0,0490	0,2471	0,0725	0,0420	0,0020	0,0441	0,0000
	120	0,0267	0,1317	0,0390	0,0320	0,0027	0,0335	0,0010
	200	0,0196	0,0954	0,0283	0,0271	0,0044	0,0285	0,0027
	300	0,0153	0,0733	0,0217	0,0242	0,0059	0,0256	0,0044
	400	0,0127	0,0605	0,0178	0,0221	0,0066	0,0235	0,0051

Таблиця С.3 — Коефіцієнти *k*
Table C.3 — Coefficients *k*



Навантаження:
рівномірно розподілене
Loading:
Uniformly distributed loading:

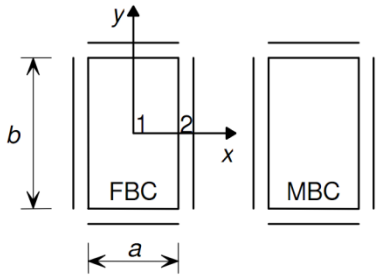
Граничні умови:
FBC: всі краї жорстко защемлені
MBC: нормальні і дотичні напруження дорівнюють нулю
Boundary conditions:
FBC: All edges are clamped.
MBC: Zero direct stresses, zero shear stresses

Параметри:
Parameters:

$$Q = \frac{q_{Ed} a^4}{E t^4}$$

b/a	Q	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma mx1}$	$k_{\sigma my1}$	$k_{\sigma mx2}$	$k_{\sigma my2}$
1	20	0,0136	0,1336	0,1336	0,0061	0,0061	–0,3062	–0,0073
	40	0,0131	0,1268	0,1268	0,0113	0,0113	–0,3006	–0,0137
	120	0,0108	0,0933	0,0933	0,0212	0,0212	–0,2720	–0,0286
	200	0,0092	0,0711	0,0711	0,0233	0,0233	–0,2486	–0,0347
	300	0,0078	0,0547	0,0547	0,0233	0,0233	–0,2273	–0,0383
	400	0,0069	0,0446	0,0446	0,0226	0,0226	–0,2113	–0,0399
1,5	20	0,0234	0,2117	0,1162	0,0061	0,0133	–0,4472	–0,0181
	40	0,0222	0,1964	0,1050	0,0098	0,0234	–0,4299	–0,0322
	120	0,0173	0,1406	0,0696	0,0124	0,0385	–0,3591	–0,0559
	200	0,0144	0,1103	0,0537	0,0116	0,0415	–0,3160	–0,0620
	300	0,0122	0,0879	0,0430	0,0105	0,0416	–0,2815	–0,0636
	400	0,0107	0,0737	0,0364	0,0098	0,0409	–0,2583	–0,0635
2	20	0,0273	0,2418	0,0932	0,0010	0,0108	–0,4935	–0,0150
	40	0,0265	0,2330	0,0897	0,0017	0,0198	–0,4816	–0,0277
	120	0,0223	0,1901	0,0740	0,0032	0,0392	–0,4223	–0,0551
	200	0,0192	0,1578	0,0621	0,0039	0,0456	–0,3780	–0,0647
	300	0,0165	0,1306	0,0518	0,0042	0,0483	–0,3396	–0,0690
	400	0,0147	0,1120	0,0446	0,0044	0,0487	–0,3132	–0,0702
3	20	0,0288	0,2492	0,0767	–0,0015	0,0027	–0,5065	–0,0033
	40	0,0290	0,2517	0,0795	–0,0022	0,0066	–0,5095	–0,0084
	120	0,0281	0,2440	0,0812	–0,0010	0,0247	–0,4984	–0,0331
	200	0,0260	0,2230	0,0750	0,0000	0,0368	–0,4702	–0,0497
	250	0,0247	0,2096	0,0707	0,0002	0,0415	–0,4520	–0,0564

Таблиця С.4 — Коефіцієнти *k*
Table C.4 — Coefficients *k*



Навантаження:
рівномірно розподілене

Loading:
Uniformly distributed loading

Граничні умови:
FBC: всі краї жорстко защемлені.
MBC: всі ребра залишаються прямими, нормальні і дотичні напруження на серединній поверхні дорівнюють нулю

Boundary conditions:
FBC: All edges are clamped.
MBC: All edges remain straight. Zero average direct stresses, zero shear stresses

Параметри:

Parameters:

$$Q = \frac{q_{Ed} a^4}{E t^4}$$

b/a	Q	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma mx1}$	$k_{\sigma my1}$	$k_{\sigma bx2}$	$k_{\sigma mx2}$	$k_{\sigma my2}$
1,0	20	0,0136	0,1333	0,1333	0,0065	0,0065	–0,305	0,0031	–0,005
	40	0,0130	0,1258	0,1258	0,0118	0,0118	–0,300	0,0059	–0,010
	120	0,0105	0,0908	0,0908	0,0216	0,0216	–0,270	0,0123	–0,020
	200	0,0087	0,0688	0,0688	0,0234	0,0234	–0,247	0,0151	–0,023
	300	0,0073	0,0528	0,0528	0,0231	0,0231	–0,226	0,0169	–0,024
	400	0,0063	0,0430	0,0430	0,0223	0,0223	–0,211	0,0176	–0,024
1,5	20	0,0230	0,2064	0,1125	0,0137	0,0097	–0,443	0,0118	–0,008
	40	0,0210	0,1833	0,0957	0,0218	0,0155	–0,419	0,0200	–0,013
	120	0,0149	0,1175	0,0532	0,0275	0,0202	–0,344	0,0295	–0,018
	200	0,0118	0,0876	0,0369	0,0259	0,0195	–0,302	0,0304	–0,018
	300	0,0096	0,0678	0,0275	0,0238	0,0180	–0,271	0,0300	–0,017
	400	0,0083	0,0562	0,0221	0,0220	0,0168	–0,249	0,0291	–0,016
2,0	20	0,0262	0,2288	0,0853	0,0140	0,0060	–0,481	0,0149	–0,005
	40	0,0234	0,1994	0,0701	0,0206	0,0086	–0,449	0,0234	–0,007
	120	0,0162	0,1276	0,0404	0,0238	0,0094	–0,361	0,0299	–0,008
	200	0,0129	0,0963	0,0296	0,0223	0,0085	–0,316	0,0289	–0,007
	300	0,0105	0,0752	0,0230	0,0208	0,0077	–0,282	0,0274	–0,007
	400	0,0090	0,0627	0,0190	0,0196	0,0071	–0,260	0,0259	–0,006
3,0	20	0,0272	0,2331	0,0700	0,0102	0,0010	–0,487	0,0111	–0,000
	40	0,0247	0,2071	0,0615	0,0149	0,0011	–0,457	0,0167	–0,000
	120	0,0177	0,1396	0,0413	0,0186	0,0009	–0,372	0,0202	–0,000
	200	0,0143	0,1074	0,0319	0,0184	0,0009	–0,327	0,0197	–0,000
	300	0,0117	0,0848	0,0251	0,0176	0,0008	–0,292	0,0192	–0,000
	400	0,0101	0,0709	0,0210	0,0169	0,0008	–0,268	0,0182	0,0000

C.4 Розподілене навантаження на центральній ділянці пластини

C.4.1 Загальні положення

(1) Прогин w і напруження повинні визначатися за формулами для пластини, завантаженої розподіленим по поверхні навантаженням p_{Ed} на центральній ділянці довжиною u і шириною v:

C.4 Central patch loading

C.4.1 General

(1) The deflection *w* and the stresses should be determined with the formulas provided for a plate which is loaded by a central patch loading p_{Ed}, distributed over an area of *u* long and *v* wide:

$$w = k_w \cdot \frac{p_{Ed} a^4}{E t^3}. \qquad \text{(C.11)}$$

C.4.2 Внутрішні напруження

(1) Згинальні напруження $\sigma_{b,x}$ і $\sigma_{b,y}$ в сегменті пластини можна визначити за наступними формулами:

C.4.2 Internal stresses

(1) The bending stresses σ_{bx} and σ_{by} in a plate segment may be determined with the following equations:

$$\sigma_{b,x,Ed} = k_{\sigma bx} \cdot \frac{p_{Ed} a^2}{t^2}, \qquad \text{(C.12)}$$

$$\sigma_{b,y,Ed} = k_{\sigma by} \cdot \frac{p_{Ed} a^2}{t^2}. \qquad \text{(C.13)}$$

(2) Мембранні напруження $\sigma_{m,x}$ і $\sigma_{m,y}$ в сегменті пластини можна визначити наступними чином:

(2) The membrane stresses σ_{mx} and σ_{my} in a plate segment may be determined as follows:

$$\sigma_{m,x,Ed} = k_{\sigma mx} \cdot \frac{p_{Ed} a^2}{t^2}, \qquad \text{(C.14)}$$

$$\sigma_{m,y,Ed} = k_{\sigma my} \cdot \frac{p_{Ed} a^2}{t^2}. \qquad \text{(C.15)}$$

(3) На завантаженій поверхні пластини загальні напруження визначаються за згинальними і мембранними напруженнями, наведеними в (1) і (2), наступним чином:

(3) At the loaded surface of a plate the total stresses are calculated with the bending and membrane stresses given in (1) and (2) as follows:

$$\sigma_{x,Ed} = -\sigma_{b,x,Ed} + \sigma_{m,x,Ed}, \qquad \text{(C.16)}$$

$$\sigma_{y,Ed} = -\sigma_{b,y,Ed} + \sigma_{m,y,Ed}. \qquad \text{(C.17)}$$

(4) На незавантаженій поверхні пластини загальні напруження визначаються за згинальними і мембранними напруженнями, наведеними в (1) і (2), наступним чином:

(4) At the no-loaded surface of a plate the total stresses are determined with the bending and membrane stresses given in (1) and (2) as follows:

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{b,x,Ed} + \sigma_{m,x,Ed}, \qquad \text{(C.18)}$$

$$\sigma_{y,Ed} = \sigma_{b,y,Ed} + \sigma_{m,y,Ed}. \qquad \text{(C.19)}$$

(5) Для пластини еквівалентні напруження $\sigma_{eq,Ed}$ можна розрахувати за напруженнями, наведеними у (4),

(5) For a plate the equivalent stress $\sigma_{v,Ed}$ may be calculated with the stresses given in (4) as follows:

наступним чином:

$$\sigma_{eq,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{y,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed}\sigma_{y,Ed}} \quad . \qquad \text{(C.20)}$$

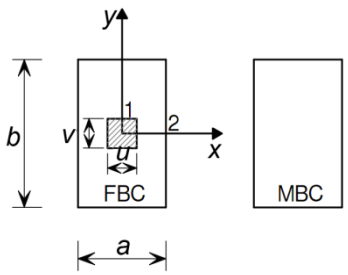
Примітка. Точки, для яких напружений стан визначається в наведених нижче таблицях, розташовані або на вісях симетрії, або на границях так, що завдяки симетрії або відповідним граничним умовам, мембранні дотичні напруження τ_m , а також дотичні напруження від згину τ_b дорівнюють нулю. Алгебраїчна сума відповідного згинального і мембранного напружень в точках, зазначених в наведених нижче таблицях, дає значення максимальних і мінімальних напружень на поверхні пластини в цих точках.

NOTE. The points for which the state of stress are defined in the data tables are located either on the centre lines or on the boundaries, so that due to symmetry or the postulated boundary conditions, membrane shearing stresses τ_m as well as bending shear stresses τ_b are zero. The algebraic sum of the appropriate bending and membrane stresses at the points considered in the data tables gives the values of maximum and minimum surface stresses at these points.

C.4.3 Коефіцієнти k для навантаження на центральній ділянці пластини

C.4.3 Coefficients k for patch loading

Таблиця C.5 — Коефіцієнти *k*
Table C.5 — Coefficients *k*



Навантаження:
на центральній ділянці
Loading:
Central patch loading

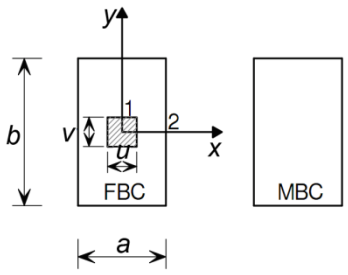
Граничні умови:
FBC: усі краї закріплені шарнірно нерухомо
MBC: нормальні і дотичні напруження дорівнюють нулю
Boundary conditions:
FBC: All edges are rigidly supported and rotationally free.
MBC: Zero direct stresses, zero shear stresses

Параметри:
Parameters:
$\alpha = u/a$; $\beta = v/a$
$p = \frac{p_{Ed} a^4}{E t^4}$
$b/a = 1$

α×β	p	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma mx1}$	$k_{\sigma my1}$
0,1×0,1	10	0,1021	1,4586	1,4586	0,1548	0,1548
	20	0,0808	1,2143	1,2143	0,1926	0,1926
	60	0,0485	0,8273	0,8273	0,2047	0,2047
	100	0,0372	0,6742	0,6742	0,1978	0,1978
	150	0,0298	0,5693	0,5693	0,1892	0,1892
	200	0,0255	0,5005	0,5005	0,1823	0,1823
0,2×0,2	10	0,0998	1,0850	1,0850	0,1399	0,1399

	20	0,0795	0,8593	0,8593	0,1729	0,1729

Закінчення таблиці С.5
End of Table C.5



Навантаження:
на центральній ділянці
Loading:
Central patch loading

Граничні умови:
FBC: усі краї закріплені шарнірно нерухомо
MBC: нормальні і дотичні напруження дорівнюються нулю
Boundary conditions:
FBC: All edges are rigidly supported and rotationally free.
MBC: Zero direct stresses, zero shear stresses

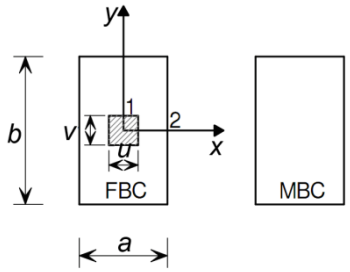
Параметри:
Parameters:
$\alpha = u/a$; $\beta = v/a$

$$p = \frac{p_{Ed} a^4}{E t^4}$$

$b/a = 1$

$\alpha\times\beta$	p	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma mx1}$	$k_{\sigma my1}$
	60	0,0478	0,5108	0,5108	0,1756	0,1756
	100	0,0364	0,3881	0,3881	0,1624	0,1624
	150	0,0293	0,3089	0,3089	0,1505	0,1505
	200	0,0249	0,2614	0,2614	0,1412	0,1412
0,3×0,3	10	0,0945	0,8507	0,8507	0,1144	0,1144
	20	0,0759	0,6614	0,6614	0,1425	0,1425
	60	0,0459	0,3702	0,3702	0,1425	0,1425
	100	0,0351	0,2704	0,2704	0,1300	0,1300
	150	0,0282	0,2101	0,2101	0,1186	0,1186
	200	0,0240	0,1747	0,1747	0,1102	0,1102
0,2×0,3	10	0,0971	0,9888	0,9128	0,1224	0,1288
	20	0,0776	0,7800	0,7101	0,1512	0,1602
	60	0,0468	0,4596	0,4021	0,1488	0,1624
	100	0,0358	0,3468	0,2957	0,1368	0,1512
	150	0,0287	0,2760	0,2307	0,1248	0,1389
	200	0,0245	0,2340	0,1926	0,1152	0,1310
0,2×0,4	10	0,0939	0,9119	0,7961	0,1078	0,1183
	20	0,0755	0,7216	0,6142	0,1320	0,1487
	60	0,0457	0,4235	0,3355	0,1287	0,1516
	100	0,0350	0,3201	0,2435	0,1166	0,1408
	150	0,0280	0,2541	0,1868	0,1045	0,1301
	200	0,0239	0,2156	0,1545	0,0968	0,1213

Таблиця С.6 — Коефіцієнти *k*
Table C.6 — Coefficients *k*



Навантаження:
на центральній ділянці
Loading:
Central patch loading

Граничні умови:
FBC: усі краї закріплені шарнірно нерухомо
MBC: нормальні і дотичні напруження дорівнюють нулю
Boundary conditions:
FBC: All edges are rigidly supported and rotationally free.
MBC: Zero direct stresses, zero shear stresses

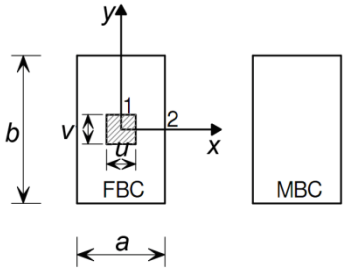
Параметри:
Parameters:
$\alpha = u/a$; $\beta = v/a$

$$p = \frac{p_{Ed} a^4}{E t^4}$$

b/a = 1,5

α×β	p	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma mx1}$	$k_{\sigma my1}$
0,1×0,1	10	0,1303	1,5782	1,3855	0,1517	0,1921
	20	0,1018	1,3056	1,1373	0,1786	0,2295
	60	0,0612	0,8986	0,7701	0,1824	0,2380
	100	0,0469	0,7411	0,6273	0,1747	0,2295
	150	0,0378	0,6298	0,5287	0,1670	0,2193
	200	0,0323	0,5568	0,4641	0,1594	0,2125
0,2×0,2	10	0,1281	1,1974	1,0049	0,1344	0,1780
	20	0,1007	0,9453	0,7766	0,1555	0,2116
	60	0,0605	0,5783	0,4554	0,1465	0,2103
	100	0,0462	0,4485	0,3457	0,1329	0,1974
	150	0,0372	0,3624	0,2748	0,1208	0,1845
	200	0,0317	0,3111	0,2322	0,1133	0,1742
0,3 ×0,3	10	0,1229	0,9589	0,7737	0,1074	0,1525
	20	0,0972	0,7405	0,5828	0,1232	0,1818
	60	0,0585	0,4282	0,3161	0,1110	0,1788
	100	0,0449	0,3221	0,2353	0,0988	0,1667
	150	0,0361	0,2550	0,1828	0,0878	0,1535
	200	0,0309	0,2147	0,1525	0,0805	0,1444
0,2×0,3	10	0,1260	1,1037	0,8360	0,1154	0,1657
	20	0,0994	0,8688	0,6322	0,1321	0,1984
	60	0,0598	0,5296	0,3553	0,1168	0,1973

Закінчення таблиці С.6
End of Table C.6



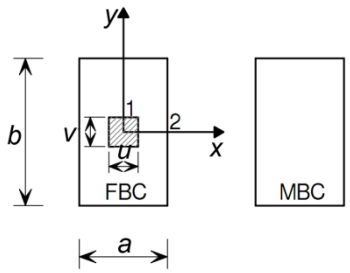
Навантаження:
на центральній ділянці
Loading:
Central patch loading

Граничні умови:
FBC: усі краї закріплені шарнірно нерухомо
MBC: нормальні і дотичні напруження дорівнюють нулю
Boundary conditions:
FBC: All edges are rigidly supported and rotationally free.
MBC: Zero direct stresses, zero shear stresses

Параметри:
Parameters:
$\alpha = u/a$; $\beta = v/a$
$p = \frac{p_{Ed} a^4}{E t^4}$
b/a = 1,5

α×β	p	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma mx1}$	$k_{\sigma my1}$
0,2×0,3	100	0,0459	0,4114	0,2649	0,1043	0,1853
	150	0,0369	0,3336	0,2082	0,0931	0,1722
	200	0,0314	0,2877	0,1755	0,0848	0,1624
0,2×0,4	10	0,1235	1,0294	0,7271	0,0993	0,1563
	20	0,0977	0,8101	0,5432	0,1109	0,1877
	60	0,0590	0,4954	0,2983	0,0955	0,1877
	100	0,0453	0,3857	0,2220	0,0826	0,1754
	150	0,0365	0,3148	0,1744	0,0722	0,1630
	200	0,0311	0,2722	0,1468	0,0658	0,1544

Таблиця С.7 — Коефіцієнти *k*
Table C.7 — Coefficients *k*



Навантаження:
на центральній ділянці
Loading:
Central patch loading

Граничні умови:
FBC: усі краї закріплені шарнірно нерухомо
MBC: нормальні і дотичні напруження дорівнюють нулю
Boundary conditions:
FBC: All edges are rigidly supported and rotationally free.
MBC: Zero direct stresses, zero shear stresses

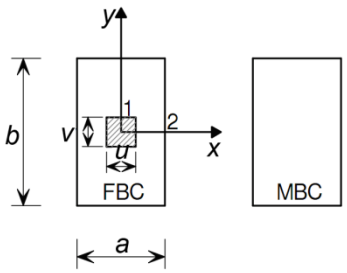
Параметри:
Parameters:
$\alpha = u/a$; $\beta = v/a$

$$p = \frac{p_{Ed} a^4}{E t^4}$$

$b/a = 2$

α×β	P	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma mx1}$	$k_{\sigma my1}$
0,1×0,1	10	0,1438	1,6351	1,3560	0,1517	0,1904
	20	0,1154	1,3692	1,1106	0,1773	0,2288
	60	0,0725	0,9633	0,7498	0,1753	0,2438
	100	0,0564	0,7979	0,6112	0,1675	0,2355
	150	0,0456	0,6797	0,5127	0,1596	0,2271
	200	0,0390	0,6028	0,4492	0,1517	0,2188
0,2×0,2	10	0,1414	1,2542	0,9752	0,1326	0,1751
	20	0,1138	1,0078	0,7510	0,1513	0,2104
	60	0,0716	0,6427	0,4410	0,1373	0,2167
	100	0,0555	0,5054	0,3339	0,1232	0,2054
	150	0,0449	0,4134	0,2646	0,1108	0,1928
	200	0,0384	0,3572	0,2230	0,1030	0,1827
0,3×0,3	10	0,1362	1,0227	0,7506	0,1062	0,1517
	20	0,1104	0,8090	0,5615	0,1190	0,1822
	60	0,0698	0,4941	0,3093	0,1024	0,1862
	100	0,0542	0,3789	0,2275	0,0883	0,1753
	150	0,0421	0,3046	0,1783	0,0794	0,1645
	200	0,0374	0,2586	0,1487	0,0717	0,1546
0,2×0,3	10	0,1395	1,1702	0,8164	0,1146	0,1231
	20	0,1129	0,9396	0,6153	0,1262	0,1990
	60	0,0712	0,6003	0,3488	0,1088	0,2044

Закінчення таблиці С.7
End of Table C.7



Навантаження:
на центральній ділянці
Loading:
Central patch loading

Граничні умови:
FBC: усі краї закріплені шарнірно нерухомо
MBC: нормальні і дотичні напруження дорівнюють нулю
Boundary conditions:
FBC: All edges are rigidly supported and rotationally free.
MBC: Zero direct stresses, zero shear stresses

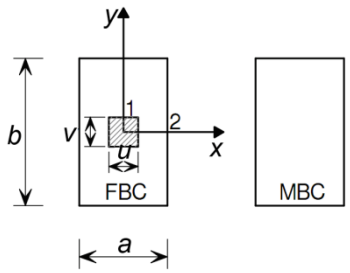
Параметри:
Parameters:
$\alpha = u/a$; $\beta = v/a$

$$p = \frac{p_{Ed} a^4}{E t^4}$$

$b/a = 2$

α×β	P	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma mx1}$	$k_{\sigma my1}$
	100	0,0553	0,4742	0,2611	0,0943	0,1947
	150	0,0447	0,3901	0,2065	0,0841	0,1830
	200	0,0383	0,3379	0,1744	0,0754	0,1733
0,2×0,4	10	0,1375	1,0976	0,7051	0,0959	0,1551
	20	0,1117	0,8829	0,5267	0,1053	0,1886
	60	0,0706	0,5670	0,2945	0,0851	0,1942
	100	0,0549	0,4496	0,2220	0,0729	0,1849
	150	0,0445	0,3713	0,1765	0,0635	0,1737
	200	0,0381	0,3227	0,1496	0,0554	0,1644

Таблиця С.8 — Коефіцієнти *k*
Table C.8 — Coefficients *k*



Навантаження:
на центральній ділянці
Loading:
Central patch loading

Граничні умови:
FBC: усі краї закріплені шарнірно нерухомо
MBC: нормальні і дотичні напруження дорівнюють нулю
Boundary conditions:
FBC: All edges are rigidly supported and rotationally free.
MBC: Zero direct stresses, zero shear stresses

Параметри:
Parameters:
$\alpha = u/a$; $\beta = v/a$

$$p = \frac{p_{Ed} a^4}{E t^4}$$

$b/a = 2{,}5$

α×β	p	k_{w1}	$k_{\sigma bx1}$	$k_{\sigma by1}$	$k_{\sigma mx1}$	$k_{\sigma my1}$
0,1×0,1	10	0,1496	1,6636	1,3463	0,1552	0,1826
	20	0,1235	1,4109	1,1006	0,1811	0,2175
	60	0,0861	1,0428	0,7453	0,1811	0,2374
0,2×0,2	10	0,1470	1,2814	0,9650	0,1359	0,1688
	20	0,1218	1,0491	0,7400	0,1548	0,2000
	60	0,0849	0,7205	0,4363	0,1390	0,2088
0,3×0,3	10	0,1419	1,0504	0,7410	0,1092	0,1443
	20	0,1182	0,8489	0,5519	0,1222	0,1726
	60	0,0827	0,5681	0,3052	0,1014	0,1775
0,2×0,3	10	0,1455	1,1981	0,8056	0,1161	0,1579
	20	0,1210	0,9820	0,6053	0,1294	0,1876
	60	0,0847	0,6806	0,3487	0,1088	0,1982
0,2×0,4	10	0,1434	0,1126	0,6949	0,0986	0,1469
	20	0,1199	0,9261	0,5168	0,1069	0,1763
	60	0,0844	0,6480	0,2993	0,0849	0,1873

ДОДАТОК НА
(довідковий)

ПЕРЕЛІК НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ (ДСТУ), ІДЕНТИЧНИХ МІЖНАРОДНИМ СТАНДАРТАМ (МС), ПОСИЛАННЯ НА ЯКІ Є В EN 1993-1-7:2007

Позначення та назва європейського стандарту	Ступінь відповідності	Позначення та назва національного стандарту України (ДСТУ)
EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій», всі частини
EN 1993-1-1:2005 Eurocode 3. Design of steel structures. General rules and rules for buildings	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1993-1-1:2005, IDT)»
EN 1993-1-3:2006 Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих елементів і профільованих листів (EN 1993-1-3:2006, IDT)»
EN 1993-1-4:2006 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-4: General rules – Supplementary rules for stainless steels	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-4:2012 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-4. Загальні положення. Додаткові правила для нержавіючої сталі (EN 1993-1-4:2006, IDT)»
EN 1993-1-5:2005 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: Plated structural elements	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-5:2012 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-5. Пластинчасті конструктивні елементи (EN 1993-1-5:2006, IDT)»
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 1993-1-8:2005 Eurocode 3. Design of steel structures. Design of joints	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8:2011 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-8. Проектування з’єднань (EN 1993-1-8:2005, IDT)»
EN 1993-1-9:2005 Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-9:	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-9:2012 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій.

Fatigue		Частина 1-9. Витривалість (EN 1993-1-9:2005, IDT)»

EN 1993-1-10:2005 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-10: Material toughness and through-thickness properties	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-10:2012 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-10. Ударна в’язкість (EN 1993-1-10:2005, IDT)»
EN 1993-1-12:2007 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-12: Additional rules for the extension of EN 1993 up to steel grades S 700	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-12:2012 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-12. Додаткові правила до EN 1993 для сталей класів вище S 700 (EN 1993-1-12:2007, 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 1991 Eurocode 1 – Action on structures – All parts	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1991 «Єврокод 1. Дії на конструкції», всі частини

Код УКНД: 91.080.10

Ключові слова: проектування, довговічність, граничні стани, матеріали, міцність, пластина, сегмент пластини, стійкість, напружено-деформований стан.

Ректор Донбаської національної академії будівництва і архітектури, д.т.н., проф. (науковий керівник) Є. Горохов

Проректор з наукової роботи, д.т.н., проф., відповідальний виконавець розробки В. Мущанов