

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Ігор АНДРЕЄВ

**РОЗРАХУНОК ТА КОНСТРУЮВАННЯ
ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПОСУДИН ТА
АПАРАТІВ: ВИМОГИ ДО РОЗРАХУНКОВО-
ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського як навчальний
посібник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю
133 «Галузеве машинобудування»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Рецензент: Ігор Мікульонок, д-р техн.
наук, проф., с. н. с., кафедра
хімічного, полімерного і
силікатного
машинобудування “КПІ ім.
Ігоря Сікорського”

Відповідальний редактор Ярослав Корнієнко, д-р техн.
наук, проф.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 6 від 24.06.2022 р.)
за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету
(протокол № 4 від 31.05.2022 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

Ігор Андреев, канд. техн. наук, доц.

РОЗРАХУНОК ТА КОНСТРУЮВАННЯ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПОСУДИН ТА АПАРАТІВ: ВИМОГИ ДО РОЗРАХУНКОВО- ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Розрахунок та конструювання основних елементів посудин та апаратів: вимоги до розрахунково-графічної роботи [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньо-професійної програми «Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв» / Ігор Андреев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 97 с.

Посібник містить вимоги, правила виконання, оформлення розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Розрахунок і конструювання типового обладнання-1. Розрахунок та конструювання основних елементів посудин та апаратів». Наведено алгоритм і приклад виконання розрахунково-графічної роботи і необхідні довідкові дані, які будуть корисні для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування».

© Ігор Андреев, 2022
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ РОЗРАХУКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ	6
2 ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУКОВО-ГРАФІЧНУ РОБОТУ	7
3 СКЛАД, ОБСЯГ І СТРУКТУРА РОЗРАХУКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ	8
4 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ РОЗРАХУКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ	9
5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ. 11	
5.1 Вимоги до форматування пояснювальної записки.....	11
5.2 Виклад тексту пояснювальної записки	12
5.3 Оформлення розрахунків	17
5.4 Оформлення переліку посилань.....	18
5.5 Оформлення додатків	21
6 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ З РОЗРАХУНКОВОЇ ЧАСТИНИ РОЗРАХУКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ	21
6.1 Розрахункові параметри і допустимі напруження.....	21
6.2 Рекомендації щодо виконання розрахунків.....	28
7 АЛГОРИТМ І ПРИКЛАД ПЕРЕВІРОЧНОГО РОЗРАХУНКУ ФЛАНЦЕВОГО З'ЄДНАННЯ.....	29
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	62
ДОДАТОК А. Зразок завдання на розрахунково-графічну роботу	64
ДОДАТОК Б. Завдання на розрахунково-графічну роботу.....	65
ДОДАТОК В. Зразок змісту розрахунково-графічної роботи	68
ДОДАТОК Г. Зразок титульного листа пояснювальної записки розрахунково-графічної роботи.....	69
ДОДАТОК Д. Основні стандартизовані і загальноживані в науково- технічній літературі терміни та визначення	70

ДОДАТОК Е. Допустимі напруження сталей	80
ДОДАТОК Ж. Розрахункові температури елементів фланцевих з'єднань ..	82
ДОДАТОК И. Характеристики прокладок	83
ДОДАТОК К. Площа поперечного перерізу болта (шпильки)	85
ДОДАТОК Л. Фізичні і механічні властивості кріпильних матеріалів	86
ДОДАТОК М. Коефіцієнт β_V для фланцевих з'єднань з приварними в стик фланцями з конічною втулкою	88
ДОДАТОК Н. Модулі поздовжньої пружності в умовах розтягу	89
ДОДАТОК П. Коефіцієнти $\beta_T, \beta_U, \beta_Y, \beta_Z$	90
ДОДАТОК Р. Коефіцієнт β_F для фланцевих з'єднань з приварними в стик фланцями з конічною втулкою	91
ДОДАТОК С. Коефіцієнт ζ	92
ДОДАТОК Т. Шайби за ГОСТ 11371	93
ДОДАТОК У. Номінальні допустимі напруження для болтів (шпильок) ...	95
ДОДАТОК Ф. Коефіцієнт f	97

ВСТУП

Розрахунково-графічна робота виконується студентами під час вивчення навчальної дисципліни «Розрахунок і конструювання типового обладнання-1. Розрахунок та конструювання основних елементів посудин та апаратів» і спрямована на застосування отриманих знань при проектуванні і конструюванні обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв.

На розрахунково-графічну роботу вноситься перевірочний розрахунок фланцевого з'єднання.

1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Метою розрахунково-графічної роботи є набуття практичних умінь при конструюванні та розрахунку посудин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв.

Завданнями розрахунково-графічної роботи є:

– обґрунтування вибору конструкції фланцевого з'єднання посудини або апарата хімічних і нафтопереробних виробництв;

– обґрунтування вибору матеріалів для виготовлення фланцевого з'єднання посудини або апарата;

– визначення розмірів окремих елементів фланцевого з'єднання посудини або апарата за результатами виконаних розрахунків.

2 ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНУ РОБОТУ

Завдання на розрахунково-графічну роботу видається кожному студенту особисто протягом перших двох тижнів навчання.

Темою розрахунково-графічної роботи можуть бути будь-які фланцеві з'єднання посудин та апаратів, конструкції і розрахунок яких викладається студентам при вивченні дисциплін «Розрахунок і конструювання типового обладнання-1. Розрахунок та конструювання основних елементів посудин та апаратів».

Текст завдання підписується студентом, що буде виконувати курсову роботу та керівником розрахунково-графічної роботи.

Зразок оформлення завдання на розрахунково-графічну роботу розміщено у Додатку А.

Вихідні дані до виконання розрахунково-графічної роботи подано у Додатку Б.

З СКЛАД, ОБСЯГ І СТРУКТУРА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Розрахунково-графічна робота складається з пояснювальної записки.

Пояснювальна записка повинна містити вступ, опис конструкції фланцевого з'єднання, технічну характеристику і розрахунки, які підтверджують працездатність і надійність з'єднання, висновки, перелік посилань і додатки (за необхідністю). Орієнтовний обсяг пояснювальної записки 25...40 аркушів формату А4.

Зразок змісту наведено у додатку В.

4 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Вимоги до змісту розрахунково-графічної роботи

Розділ «Вступ»

У вступі коротко надається інформація про актуальність роботи. Далі відповідно до змісту роботи ставляться мета та задачі розробки. В кінці вступу вказується, коли було видано завдання на розрахунково-графічну роботу.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ «Опис конструкції фланцевого з'єднання»

Наводиться опис конструкції фланцевого з'єднання і надається його схема.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ «Технічна характеристика фланцевого з'єднання»

Подаються основні технічні характеристики фланцевого з'єднання (граничні тиск, температура, габаритні розміри, маса та інші параметри).

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ «Розрахунки, які підтверджують працездатність та надійність фланцевого з'єднання»

Розділ містить перевірочний розрахунок фланцевого з'єднання.

Приблизний обсяг розділу – 20...30 аркушів.

Підрозділ «Висновки»

У висновку перераховуються розрахунки, які були виконані відповідно до завдання та мети розрахунково-графічної роботи. Вказуються всі авторські удосконалення, які мали місце при виконанні роботи.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Перелік посилань

В переліку посилань вказуються література, стандарти і патенти, які були використані при виконанні розрахунково-графічної роботи.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Додатки

В додатках можуть бути наведені алгоритми і програми розрахунків, таблиці ідентифікаторів, довідкові дані і т. ін.

5 РЕКОМЕНДАЦІЯ ДО ВИКОНАННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

5.1 Вимоги до форматування пояснювальної записки

Пояснювальна записка виконується згідно вимог єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД) [1].

Пояснювальна записка для розрахунково-графічної роботи розпочинається титульним листом з надписом „Пояснювальна записка” (додаток Г), наступним аркушем є „Завдання на курсову роботу” (додаток А), далі – „Зміст” (додаток В).

Текст пояснювальної записки розділяють на розділи і підрозділи.

Розділи повинні мати порядкові номери в межах усього документа, позначені арабськими цифрами з крапкою. Підрозділи повинні мати нумерацію в межах кожного розділу. Номери підрозділів складаються з номерів розділів або підрозділу, розділених крапкою. Наприкінці номера розділу або підрозділу крапка не ставиться. Розділи, як і підрозділи, можуть складатися з декількох пунктів.

Заголовки повинні чітко і коротко відображати зміст розділів, підрозділів. Заголовки слід друкувати з великої літери без крапки в кінці, не підкреслюючи. Перенесення слів в заголовках не допускаються. Якщо заголовок складається з двох речень, їх розділяють крапкою.

Кожен розділ текстового документа рекомендується починати з нового аркуша (сторінки).

Нумерація сторінок повинна бути наскрізна для всієї записки, включаючи додатки.

Приклад оформлення заголовку:

**4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність
конструкції фланцевого з'єднання**

4.1 Перевірочний розрахунок фланцевого з'єднання

Мета розрахунку

5.2 Виклад тексту пояснювальної записки

Для однозначного тлумачення найрізноманітніших понять необхідно вживати стандартизовані терміни й скорочення, а за їх відсутності – загальноживані в науково-технічній літературі [2]. Основні стандартизовані терміни наведені у додатку Д.

Повне найменування виробу на титульному листі, в основному написі і при першому згадуванні в тексті документа повинне бути однаковим з найменуванням його в основному конструкторському документі (специфікації).

Найменування, що наводяться в тексті пояснювальної записки і на ілюстраціях, повинні бути однаковими.

Текст записки повинен бути коротким, чітким і не допускати різних тлумачень.

В записці повинні застосовуватися науково-технічні терміни, позначення і визначення, встановлені відповідними стандартами, а при їх відсутності – загальноприйняті в науково-технічній літературі.

Умовні літерні позначення, зображення або знаки повинні відповідати прийнятим у чинному законодавстві і державних стандартах. У тексті записки перед позначенням параметра дають його пояснення, наприклад "Тимчасовий опір розриву σ_6 ".

При необхідності застосування умовних позначень, зображень або знаків, невстановлених діючими стандартами, їх слід пояснювати в тексті або в переліку позначень.

В записці слід застосовувати стандартизовані одиниці фізичних величин, їх найменування і позначення. Поряд з одиницями СІ, при

необхідності, в дужках вказують одиниці систем, які раніше застосовувалися і дозволені до застосування. Застосування в одному документі різних систем позначення фізичних величин не допускається.

У тексті числові значення величин з позначенням одиниць фізичних величин і одиниць рахунку слід писати цифрами, а числа без позначення одиниць фізичних величин і одиниць рахунку від одиниці до дев'яти – словами.

Приклади: 1 Провести випробування п'яти труб, кожна довжиною 5 м.
2 Відібрати 15 труб для випробувань на тиск.

Одиниця фізичної величини одного і того ж параметра в межах одного документа повинна бути постійною. Якщо в тексті наводиться ряд числових значень, виражених в одній і тій же одиниці фізичної величини, то її вказують тільки після останнього числового значення, наприклад 1,50; 1,75; 2,00 м.

Якщо в тексті документа призводять діапазон числових значень фізичної величини, виражених в одній і тій же одиниці фізичної величини, то позначення одиниці фізичної величини вказується після останнього числового значення діапазону.

Приклади: 1 Від 1 до 5 мм.
2 Від 10 до 100 кг.
3 Від плюс 10 до мінус 40 ° С.
4 Від плюс 10 до плюс 40 ° С.

Неприпустимо відокремлювати одиницю фізичної величини від числового значення (переносити їх на різні рядки або сторінки).

Дробові числа необхідно приводити у вигляді десяткової дробі, за винятком розмірів у дюймах, які слід записувати $\frac{1}{4}$ "; $\frac{1}{2}$ ".

При неможливості записати числове значення у вигляді десяткового дробу, допускається записувати у вигляді простого дробу в один рядок через косу риску, наприклад $5/32$; $(50A-4C) / (40B + 20)$.

У формулах як символи слід застосовувати позначення, встановлені відповідними державними стандартами. Пояснення символів і числових коефіцієнтів, що входять в формулу, якщо вони не пояснені раніше в тексті, повинні бути приведені безпосередньо під формулою. Пояснення кожного символу слід давати з нового рядка в тій послідовності, в якій символи наведені у формулі. Перший рядок пояснення має починатися зі слова "де" без двокрапки після нього.

Приклад: Густина кожного зразка ρ , кг/м³, обчислюють за формулою

$$\rho = m/V,$$

де m – маса зразка, кг;

V – об'єм зразка, м³.

Формули, які слідують одна за одною і не розділені текстом, розділяють комою.

Переносити формули на наступний рядок допускається тільки на знаках виконуваних операцій, причому знак на початку наступного рядка повторюють. При перенесенні формули на знаку множення застосовують знак "x".

Формули, за винятком формул, які розміщені у додатку, повинні нумеруватися наскрізною нумерацією арабськими цифрами, які записують на рівні формули праворуч у круглих дужках. Одну формулу позначають – (1).

Посилання в тексті на порядкові номери формул дають в дужках, наприклад ... в формулі (1).

Формули, що поміщаються в додатках, повинні нумеруватися окремою нумерацією арабськими цифрами в межах кожного додатка з

додаванням перед кожною цифрою позначення додатка, наприклад формула (В.1).

Допускається нумерація формул в межах розділу. У цьому випадку номер формули складається з номера розділу і порядкового номера формули, розділених крапкою, наприклад (3.1).

Кількість ілюстрацій повинна бути достатньою для пояснення викладеного тексту. Ілюстрації можуть бути розташовані як по тексту документа (можливо ближче до відповідних частин тексту), так і в кінці його. Ілюстрації повинні бути виконані відповідно до вимог стандартів ЄСКД. Ілюстрації, за винятком ілюстрацій додатків, слід нумерувати арабськими цифрами наскрізною нумерацією. Якщо рисунок один, то він позначається "Рисунок 1".

Ілюстрації кожного додатка позначають окремою нумерацією арабськими цифрами з додаванням перед цифрою позначення додатка. Наприклад – Рисунок А.3.

Допускається нумерувати ілюстрації в межах розділу. У цьому випадку номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, між якими ставиться крапка. Наприклад – Рисунок 1.1.

Ілюстрації, при необхідності, можуть мати найменування і пояснювальні дані (текст під рисунком). Слово " Рисунок " і найменування поміщають після пояснювальних даних і розташовують таким чином: Рисунок 1 – Деталі приладу.

Якщо в тексті записки є ілюстрація, на якій зображені складові частини виробу, то на цій ілюстрації повинні бути вказані номери позицій цих складових частин в межах даної ілюстрації, які розташовуються в порядку зростання.

Таблиці застосовують для кращої наочності і зручності порівняння показників. Назва таблиці повинна відображати її зміст, бути точним,

коротким. Назву слід розміщувати над таблицею. При перенесенні частини таблиці на ту ж або інші сторінки назву вміщують тільки над першою частиною таблиці.

Таблиці, за винятком таблиць додатків, слід нумерувати арабськими цифрами наскрізною нумерацією. Таблиці кожного додатка позначають окремою нумерацією арабськими цифрами з додаванням перед цифрою позначення додатка. Якщо в записці одна таблиця, вона повинна бути позначена "Таблиця 1" або "Таблиця В.1", якщо вона приведена в додатку В. Допускається нумерувати таблиці в межах розділу. У цьому випадку номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, між якими ставиться крапка.

На всі таблиці записки повинні бути приведені посилання в тексті записки, при посиланні слід писати слово "таблиця" із зазначенням її номера.

Заголовки граф і рядків таблиці слід писати з великої літери, а підзаголовки граф – з малої літери, якщо вони складають одне речення з заголовком, або з великої літери, якщо вони мають самостійне значення. В кінці заголовків і підзаголовків таблиць крапки не ставлять. Заголовки і підзаголовки граф вказують в однині.

Таблицю, залежно від її розміру, розміщують під текстом, в якому вперше дано посилання на неї, або на наступній сторінці, а при необхідності, в додатку до записки.

Допускається поміщати таблицю вздовж довгої сторони аркуша записки.

Слово "Таблиця" вказують один раз зліва над першою частиною таблиці, над іншими частинами пишуть слова "Продовження таблиці" із зазначенням номера (позначення) таблиці.

5.3 Оформлення розрахунків

Необхідні розрахунки визначаються керівником розрахунково-графічної роботи.

В кожному підрозділі розрахунок проводиться за такою схемою

- 1 Мета розрахунку з вказівкою, що потрібно визначити.
- 2 Розрахункова схема або ескіз виробу (у довільному масштабі).
- 3 Вихідні данні.
- 4 Умови розрахунку.
- 5 Розрахунок.
- 6 Висновки, відповідно до мети.

Приклад виконання підрозділу

4.1 Розрахунок товщини стінки обичайки корпусу апарата

Метою розрахунку є визначення з умови міцності товщини стінки циліндричної обичайки корпусу апарата який працює під внутрішнім надлишковим тиском, а також вибір стандартної труби для виготовлення обичайки.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.1.

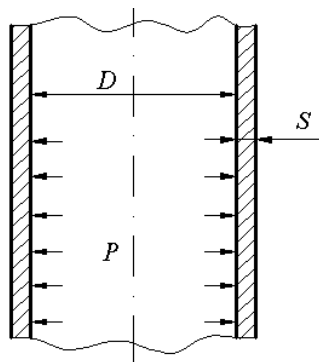


Рисунок 4.1 – Схема циліндричної обичайки корпусу апарата

Вихідні дані для розрахунку:

матеріал обичайки	X18H10T;
розрахунковий тиск всередині апарата p , МПа	0,4;
розрахункова температура T , К	343;
внутрішній діаметр апарата D , м	0,812;
допустиме напруження матеріалу при розрахунковій температурі $[\sigma]$, МПа	134,5;
довжина каналів L , м	25;
швидкість корозії I , мм/рік	0,1;
термін експлуатації τ , років	15;
коефіцієнт міцності зварного шва φ_p	0,9.

Розрахунок ведемо за ГОСТ 34233.2.

Розрахункова товщина циліндричної обичайки

[подається розрахунок]

Висновок: Визначена виконавча товщина стінки обичайки $s = 0,004$ м забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень. Значення робочого тиску $p = 0,4$ МПа не перевищує значення допустимого тиску $[p] = 12,0$ МПа.

5.4 Оформлення переліку посилань

Перелік посилань необхідно оформлювати за ДСТУ 8302:2015 [3]. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання.

Таблиця 5.1. Приклади оформлення посилань

Характеристика джерела	Приклад оформлення
Книги: один автор	Андреев І. А. Конструювання і розрахунок типового устаткування хімічних виробництв. Основні положення. Елементи тонкостінних посудин, навантажених внутрішнім тиском: навч. посіб. Київ: НТУУ „КПІ”, 2011. 272 с.
Книги: два автори	Андреев І. А., Мікульонок І.О. Розрахунок, конструювання та надійність обладнання хімічних виробництв: термінологічний словник. Київ: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2002. 216 с.
Книги: три автори	Андреев І. А., Зубрій О.Г., Мікульонок І.О. Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі й чавуни: навч. посіб. Київ: ІЗМН, 1999. 148 с.
Книги: чотири і більше авторів	Інформатика: навч. посіб. / І. А. Андреев та ін. Київ: Видавничий центр «Принт-центр», 2007. 131 с.
Автор(и) та редактор(и)/упорядники	Дахно І. І., Алієва-Барановська В.М. Право інтелектуальної власності : навч. посіб. / за ред. І. І. Дахна. Київ : ЦУЛ, 2015. 560 с.
Багатотомні видання	Енциклопедія Сучасної України / редкол.: І. М. Дзюба та ін. Київ : САМ, 2016. Т. 17. 712 с.

Продовження табл. 5.1

Патенти	Тарілка масообмінного апарата: пат. 146614 U Україна: МПК B01D 3/20 (2006.01) H01F 7/00 (2021.01). № u202007082; заявл. 04.11.2020; опубл. 03.03.2021, Бюл. № 9. 8 с.
Стандарти	ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.
Частина видання: періодичного видання (журналу, газети)	Андреев І. А., Пінчук А. Є., Крамар О. В. Віброекструзійний плин бетонних сумішей у правильному чотирикутному пірамідальному каналі. Вісник національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, серія „Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження”. 2021. № 3 (20). С. 9–15. DOI: 10.20535/2617-9741.3.2021.241018
Електронні ресурси	<p>1. Андреев І. А. Укріплення отворів в посудинах та апаратах: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 72 с. URL: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42254.</p> <p>2. Андреев І. А. Процес віброекструзії фібробетону: монографія. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 194 с. URL: http://ela.kpi.ua/handle/123456789/17692.</p> <p>3. Andreiev I. A., Koval V. O. Measuring the viscosity of liquids in a conical viscometer. Modern engineering and innovative technologies, Karlsruhe, 2021. Issue 16, Part 1, P.24–28. DOI: 10.30890/2567-5273.2021-16-01-046. URL: https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit16-01/meit16-01.</p>

5.5 Оформлення додатків

Матеріал, що доповнює текст записки, допускається поміщати в додатках. Додатками можуть бути, наприклад, графічний матеріал, таблиці великого формату, розрахунки, описи апаратури і приладів, описи алгоритмів і програм завдань, що вирішуються на ЕОМ, і т. ін.

У тексті записки на всі додатки повинні бути посилання. Ступінь обов'язковості додатків при посиланнях не вказується. Додатки розташовують у порядку посилань на них у тексті записки.

Кожний додаток слід починати з нової сторінки із зазначенням нагорі посередині сторінки слова "Додаток" і його позначення.

Додаток повинен мати заголовок, який записують симетрично щодо тексту з великої літери окремим рядком.

Додатки позначають великими літерами українського алфавіту, починаючи з А, за винятком літер Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ь. Після слова "Додаток" пишеться буква, що позначає його послідовність. Допускається позначення додатків літерами латинського алфавіту, за винятком букв І і О.

Якщо в записці один додаток, тоді він позначається "Додаток А".

Додатки повинні мати спільну з іншою частиною записки наскрізну нумерацію сторінок.

Всі додатки повинні бути перераховані в змісті записки із зазначенням їх номерів і заголовків.

6 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ З РОЗРАХУНКОВОЇ ЧАСТИНИ КУРСОВОЇ РОБОТИ

6.1 Розрахункові параметри і допустимі напруження

Наведені визначення і величини відповідають ГОСТ 34233.1–2017 [4] і СОУ МПП 71.120-217:2009 [5].

Температура

Розрахункову температуру t використовують для визначення фізико-механічних характеристик матеріалу й допустимих напружень, а також при розрахунку на міцність з урахуванням температурного впливу.

Розрахункову температуру визначають на підставі теплотехнічних розрахунків або результатів випробувань, а також на підставі досвіду експлуатації аналогічних посудин.

За розрахункову температуру стінки посудини або апарата припускають найбільше значення температури стінки елемента з урахуванням температурних умов, які очікуються при експлуатації. Якщо робоча температура середовища нижча за 20 °С, тоді за розрахункову температуру для визначення допустимих напружень беруть температуру 20°С.

Якщо неможливо виконати теплові розрахунки або вимірювання та якщо під час експлуатації температура стінки підвищується до температури стичного середовища, то за розрахункову температуру належить брати найбільшу температуру середовища, але не нижче 20 °С.

Для обігрівання відкритим полум'ям, відпрацьованими газами або електронагрівниками розрахункова температура має бути більшою від температури середовища на 20 °С у разі закритого обігрівання й більшою на 50 °С у разі відкритого обігрівання, якщо немає точніших даних.

Тиск

Під *робочим тиском $p_{роб}$* для посудини та апарата належить розуміти максимальний внутрішній надлишковий або зовнішній тиск, що виникає за нормального проходження робочого процесу без урахування гідростатичного тиску середовища та допустимого короточасного

підвищення тиску під час дії запобіжного клапана або інших запобіжних пристроїв.

Під *розрахунковим тиском* p у робочих умовах для елементів посудин і апаратів слід розуміти тиск, на який виконують їх розрахунок на міцність.

Розрахунковий тиск для елементів посудини або апарата беруть зазвичай таким, що дорівнює або вище від робочого тиску.

З підвищенням тиску в посудині або апараті під час дії запобіжних пристроїв більш ніж на 10 %, порівняно з робочим, елементи апарата мають бути розраховані на цей тиск. Якщо в посудині або апараті під час дії запобіжних пристроїв тиск підвищується не більше ніж на 10 %, порівняно з робочим, тоді в розрахунках елементів це не враховується.

Для елементів, що розділяють простори з різними тисками (наприклад, в апаратах з теплообмінними оболонками), як розрахунковий тиск належить брати або послідовно тиск у кожному просторі, або тиск, що потребує більшої товщини стінки. Якщо забезпечується одночасна дія тисків, тоді допускається виконувати розрахунок на різницю цих тисків. Різницю тисків застосовують як розрахунковий тиск також для елементів, які відокремлюють простори з внутрішнім надлишковим тиском від простору з абсолютним тиском, що менший від атмосферного. Якщо немає точних даних про різницю між абсолютним тиском і атмосферним, тоді абсолютний тиск припускають таким, що дорівнює нулю.

Якщо на елемент посудини або апарата діє гідростатичний тиск, що дорівнює 5 % від робочого й більше, то розрахунковий тиск для цього елемента потрібно підвищити на це значення.

Під *пробним тиском* у посудині або апараті належить розуміти тиск, за якого випробовують посудину або апарат.

Для всіх посудин, за винятком литих, пробний тиск визначають за формулою

$$p_{\pi} = 1,25p \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]},$$

де p – розрахунковий тиск, МПа; $[\sigma]_{20}$ – допустиме напруження за температури 20 °С, МПа; $[\sigma]$ – допустиме напруження за розрахункової температури, МПа.

Відношення $[\sigma]_{20}/[\sigma]$ беруть за тим з використаних матеріалів елементів посудини (обичайки, днища, фланці, кріпильні елементи, патрубки та ін.), для якого воно найменше.

Для литих посудин, а також деталей, що виготовлені з литва, пробний тиск визначають за формулою

$$p_{\pi} = 1,5p \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}.$$

Гідравлічні випробування криогенних посудин за наявності вакууму в ізоляційному просторі мають бути проведені пробним тиском (МПа), що визначають за формулою

$$p_{\pi} = 1,25p - 0,1 \text{ МПа.}$$

Під *розрахунковим тиском* в умовах випробування для елементів посудин або апаратів слід розуміти тиск, якому вони піддаються під час пробного випробування, включаючи гідростатичний тиск, якщо він дорівнює 5 % або більше від пробного тиску.

Під *умовним тиском* належить розуміти найбільший надлишковий тиск за температури середовища 293 К (20 °С), відповідно до якого допустима тривала робота обладнання, що має задані розміри, обґрунтовані розрахунками на міцність обраних матеріалів за характеристиками їх міцності, відповідних температурі 293 К (20 °С).

Примітка. Для арматури та з'єднань трубопроводів застосовують номінальний тиск – літерно-числове позначення, що характеризує надлишковий тиск, за якого забезпечується заданий термін експлуатації

арматури та з'єднань трубопроводів за температури робочого середовища 293 К (20 °С). Позначення номінального тиску складається з літерного сполучення «PN» і числової частини, що є значенням тиску в кгс/см².

ДСТУ ISO 72686:2009 установлює такий ряд числових значень позначення номінальних тисків: 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000.

Навантаження

Як *розрахункові зусилля й моменти* беруть діючі для відповідного стану навантаження (наприклад, під час експлуатації, випробування або монтажу) внутрішні зусилля й моменти, що виникають від дії власної маси посудини або апарата, маси робочого середовища, інерційних навантажень, навантажень від реакції опор і приєднаних трубопроводів, сейсмічних, вітрових, снігових та інших зовнішніх навантажень.

Розрахункові зусилля й моменти від вітрових, сейсмічних та інших зовнішніх навантажень визначають за ГОСТ 34283–2017 [6].

Допустиме напруження

Допустиме напруження $[\sigma]$ для розрахунку за граничними навантаженнями посудин і апаратів, що працюють в умовах статичних одноразових навантажень або багаторазових статичних навантажень, коли кількість циклів навантаження від тиску, температурних деформацій або інших дій не перевищує 10^3 , визначають за формулами:

– для вуглецевих і низьколегованих сталей

$$[\sigma] = \eta \min \left(\frac{R_T \text{ або } R_{0,2}}{n_T}; \frac{R_B}{n_B}; \frac{R_{D \cdot 10^5}}{n_D}; \frac{R_{1\% \cdot 10^5}}{n_{II}} \right);$$

– для аустенітних сталей

$$[\sigma] = \eta \min \left(\frac{R_{1,0}}{n_T}; \frac{R_B}{n_B}; \frac{R_{Д \cdot 10^5}}{n_D}; \frac{R_{1\% \cdot 10^5}}{n_{II}} \right).$$

де η – поправковий коефіцієнт; R_T – границя плинності за розрахункової температури, МПа; $R_{0,2}$ – мінімальне значення умовної границі плинності за розрахункової температури (напруження, за якого залишкове видовження становить 0,2 %), МПа; $R_{1,0}$ – мінімальне значення умовної границі плинності за розрахункової температури (напруження, за якого залишкове видовження становить 1 %), МПа; R_B – мінімальне значення тимчасового опору (границі міцності) за розрахункової температури, МПа; $R_{Д \cdot 10^5}$ – середнє значення границі тривалої міцності за 10^5 год. за розрахункової температури, МПа; $R_{1\% \cdot 10^5}$ – середня 1 %-ва границя повзучості за 10^5 год за розрахункової температури, МПа; n_T – коефіцієнт запасу міцності за границею плинності; n_B – коефіцієнт запасу міцності за границею міцності; n_D – коефіцієнт запасу міцності за границею тривалої міцності; n_{II} – коефіцієнт запасу міцності за границею повзучості.

Визначаючи кількість циклів навантаження, не враховують коливання навантаження близько 15 % від розрахункового.

Границю повзучості використовують для визначення допустимого напруження у випадках, коли немає даних про границю тривалої міцності або в умовах експлуатації треба обмежити величину деформації (переміщення).

Для умов випробування допустимі напруження для вуглецевих і низьколегованих сталей визначають за формулою

$$[\sigma] = \eta \frac{R_T^{20} \text{ або } R_{0,2}^{20}}{n_T},$$

а для аустенітних сталей за формулою

$$[\sigma] = \eta \frac{R_{0,2}^{20} \text{ або } R_{1,0}^{20}}{n_T}$$

Індекс «20» у наведених розрахункових формулах означає, що наведені границі міцності визначають за температури 20 °С.

Значення коефіцієнтів запасу міцності n_T , n_B , n_D , n_P мають відповідати поданим у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Значення коефіцієнтів запасу міцності залежно від умов навантаження

Умова навантаження	Коефіцієнт запасу міцності			
	n_T	n_B	n_D	n_P
Робочі умови	1,5	2,4	1,5	1,0
Умови випробування:				
гідравлічні випробування	1,1	–	–	–
пневматичні випробування	1,2	–	–	–
Умови монтажу	1,1	–	–	–

Для посудин та апаратів груп 3, 4 коефіцієнт запасу міцності за границею міцності n_B допускають таким, що дорівнює 2,2.

Розрахунок на міцність для умов випробувань виконувати не треба, якщо розрахунковий тиск в умовах випробування буде меншим, ніж розрахунковий тиск у робочих умовах, помножений на $1,35 [\sigma]_{20} / [\sigma]$.

Поправочний коефіцієнт для допустимих напружень $\eta = 1$ за винятком сталевих виливок; для виливок, що підлягають індивідуальному методу неруйнівного контролю $\eta = 0,8$; для інших виливок $\eta = 0,7$.

Для сталей, що широко використовують у хімічному, нафтохімічному й нафтопереробному машинобудуванні, допустимі напруження для робочих умов, якщо $\eta = 1$, наведено у Додатку Е.

Дозволяється допустиме напруження за температури 20 °С визначати за вищенаведеними формулами відповідно до гарантованих значень механічних характеристик згідно зі стандартами або технічними умовами

на сталі з урахуванням товщини листового прокату. У разі підвищених температур допустимі напруження з урахуванням товщини прокату і груп міцності сталі дозволяється визначати відповідно до затвердженої нормативно-технічної документації.

Для посудин і апаратів високого тиску допустиме напруження при розрахунку за граничними навантаженнями конструктивних елементів з вуглецевих, низьколегованих і середньолегованих сталей визначають за формулою:

$$[\sigma] = \min\left(\frac{R_T \text{ або } R_{0,2}}{n_T}; \frac{R_B}{n_B}\right).$$

Коефіцієнти запасу міцності повинні відповідати тим, що наведені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2. Значення коефіцієнтів запасу міцності

Умова навантаження	Коефіцієнт запасу міцності	
	n_T	n_B
Робочі умови	1,5	2,4
Умови випробування:	1,1	–

6.2 Рекомендації щодо виконання розрахунків

Для виконання необхідних розрахунків рекомендується використовувати дійсні в наш час стандартні розрахункові залежності, які наведені в сучасних стандартах і посібниках [7, 8].

Алгоритм і приклад перевірного розрахунку фланцевого з'єднання наведені у наступному розділі.

7 АЛГОРИТМ І ПРИКЛАД ПЕРЕВІРОЧНОГО РОЗРАХУНКУ ФЛАНЦЕВОГО З'ЄДНАННЯ

Таблиця 7.1. Алгоритм і приклад перевірного розрахунку фланцевого з'єднання

(У прикладі наведено розрахунок за 14 варіантом Додатка Б)

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
1.	Розрахункові температури фланця t_f , кільця t_k і болтів t_b , °С	Розрахункові температури фланця t_f , кільця t_k і болтів t_b визначаються за таблицями Додатка Ж.	Для плоского неізолюваного фланця визначаються температури t_f і t_b : $t_f = 0,96t = 0,96 \cdot 150 = 144 \text{ °С}$, $t_b = 0,95t = 0,95 \cdot 150 = 142,5 \text{ °С}$
29	Ефективна ширина прокладки b_o , м	При ширині прокладки $b_n \leq 15$ мм ефективна ширина прокладки $b_o = b_n$. Якщо ширина прокладки $b_n > 15$ мм, тоді ефективна ширина прокладки $b_o = 3,8\sqrt{b_n}$ (b_n підставляють в мм). Для прокладок овального або восьмигранного перерізу: $b_o = b_n$.	$b_o = 3,8\sqrt{b_n} =$ $= 19 \text{ мм} = 0,019 \text{ м}$
3.	Питомий тиск обтиснення прокладки $q_{обт}$, МПа	$q_{обт}$ визначається за таблицею Додатка И.	Для гумової плоскої прокладки за ГОСТ 7338 з твердістю по Шору А до 65 одиниць $q_{обт} = 2$ МПа
4.	Зусилля, яке необхідне для деформування прокладки при затягуванні фланця $P_{обт}$, МН	$P_{обт} = 0,5\pi D_{сн} b_o q_{обт}$	$P_{обт} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 2,275 \cdot 0,019 \cdot 2 = 0,1357 \text{ м}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
5.	Коефіцієнт прокладки m	m визначається за таблицею Додатка И.	Для гумової плоскої прокладки за ГОСТ 7338 з твердістю по Шору А до 65 одиниць $m = 0,5$
6.	Зусилля на прокладку в робочих умовах, яке необхідне для забезпечення герметичності R_n фланцевого з'єднання, МН	$R_n = \pi D_{cn} b_o m p $	$R_n = 3,14 \cdot 2,275 \cdot 0,025 \cdot 0,5 \cdot 0,54 = 0,0482 \text{ МН}$
7.	Площа поперечного перерізу болта (шпильки) $f_{\bar{o}}$, m^2	$f_{\bar{o}}$ визначається за таблицею Додатка К залежно від діаметра болта d	Для болтів без проточки з діаметром $d = 30$ мм площа поперечного перерізу болта (шпильки) $f_{\bar{o}} = 5,2 \cdot 10^{-4}$, m^2
8.	Сумарна площа перерізу болтів (шпильок) по внутрішньому діаметру різьблення або напруженому перерізу найменшого діаметра $A_{\bar{o}}$, m^2	$A_{\bar{o}} = n f_{\bar{o}}$	$A_{\bar{o}} = 68 \cdot 5,2 \cdot 10^{-4} = 3,536 \cdot 10^{-2} m^2$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
9.	Рівнодіюче навантаження від тиску Q_D , МН	$Q_D = \frac{\pi D_{\text{сп}}^2}{4} p$	$Q_D = \frac{3,14 \cdot 2,275^2}{4} 0,54 = 2,194 \text{ МН}$
10.	Приведене навантаження Q_{FM} , МН, яке виникає від дії зовнішньої сили F і згинаючого моменту M	$Q_{FM} = F \pm \frac{4M}{D_{\text{сп}}}$	—
11.	Коефіцієнт обтиснення прокладки $K_{\text{обж}}$	$K_{\text{обж}}$ визначається за таблицею Додатка И.	Для гумової плоскої прокладки за ГОСТ 7338 з твердістю по Шору А до 65 одиниць $K_{\text{обж}} = 0,04$
12.	Умовний модуль стищення прокладки E_n , МПа	E_n визначається за таблицею Додатка И.	Для гумової плоскої прокладки за ГОСТ 7338 з твердістю по Шору А до 65 одиниць $E_n = 3 \left(1 + \frac{b_n}{2h_n} \right) = 3 \left(1 + \frac{0,025}{2 \cdot 0,003} \right) = 15,5 \text{ МПа}$
13.	Податливість прокладки y_n , м/Н	$y_n = \frac{h_n K_{\text{обж}}}{\pi E_n D_{\text{сп}} b_n}$	$y_n = \frac{0,003 \cdot 0,04}{3,14 \cdot 15,5 \cdot 2,275 \cdot 0,025} = 4,335 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{МН}}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
14.	Відстань між опорними поверхнями гайки і головки болта або опорними поверхнями гайок $L_{\delta 0}$, м	$L_{\delta 0}$ визначається залежно від конструкції фланця	Для плоских фланців $L_{\delta 0} = 2h + h_n = 2 \cdot 0,086 + 0,003 = 0,175$ м
15.	Ефективна довжина болта (шпильки) L_{δ} , м	$L_{\delta} = L_{\delta 0} + 0,28d$ – для болта; $L_{\delta} = L_{\delta 0} + 0,56d$ – для шпильки	$L_{\delta} = L_{\delta 0} + 0,28d = 0,175 + 0,28 \cdot 0,03 = 0,184$ м
32 17.	Модуль поздовжньої пружності в умовах розтягу матеріалу болта (шпильки) E_{δ}^{20} при 20° С, МПа Модуль поздовжньої пружності в умовах розтягу матеріалу болта (шпильки) E_{δ} за розрахункової температури, °С, МПа	E_{δ}^{20} визначається за таблицею Додатка Л E_{δ} визначається за таблицею Додатка Л	Для болтів зі сталі 35 при $t_{\delta} = 20$ °С: $E_{\delta}^{20} = 2,13 \cdot 10^5$ МПа Для болтів зі сталі 35 при $t_{\delta} = 142,5$ °С: $E_{\delta} = 2,049 \cdot 10^5$ МПа
18.	Податливість болтів (шпильок) y_{δ} , м/Н	$y_{\delta} = \frac{L_{\delta}}{E_{\delta}^{20} f_{\delta} n}$	$y_{\delta} = \frac{0,184}{2,13 \cdot 10^5 \cdot 5,2 \cdot 10^{-4} \cdot 68} = 2,44 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{Н}}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
19.	Розрахунковий коефіцієнт β_V	Коефіцієнт β_V для фланцевих з'єднань з приварними в стик фланцями з конічною втулкою визначається за графіком (Додаток М). Для фланцевих з'єднань з приварними в стик фланцями з прямою втулкою, плоскими фланцями і вільними фланцями $\beta_V = 0,55$	$\beta_V = 0,55$
20.	Модуль поздовжньої пружності в умовах розтягу матеріалу фланця при температурі 20 °С E_{20} , МПа Модуль поздовжньої пружності в умовах розтягу матеріалу фланця за розрахункової температури, E , МПа	E_{20} визначається за таблицею Додатка Н E визначається за таблицею Додатка Н	Для фланців зі сталі 09Г2С при $t_\phi = 20$ °С: $E_{20} = 1,99 \cdot 10^5$ МПа Для фланців зі сталі 09Г2С при $t_\phi = 144$ °С: $E = 1,866 \cdot 10^5$ МПа
21.	Параметр довжини втулки l_0 , м.	$l_0 = \sqrt{DS_0}$	$l_0 = \sqrt{2,2 \cdot 0,018} = 0,199$ м

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
22.	Співвідношення розмірів тарілки фланця K	$K = \frac{D_n}{D}$	$K = \frac{2,4}{2,2} = 1,09$
23.	Коефіцієнт β_T	β_T визначається за графіком Додатка П або розраховується за формулою: $\beta_T = \frac{K^2(1 + 8,55 \lg K) - 1}{(1,05 + 1,945 K^2)(K - 1)}$	$\beta_T = \frac{1,09^2(1 + 8,55 \lg 1,09) - 1}{(1,05 + 9,45 \cdot 1,09^2)(1,09 - 1)} = 1,8787$
24.	Коефіцієнт β_U	β_U визначається за графіком Додатка П або розраховується за формулою: $\beta_U = \frac{K^2(1 + 8,55 \lg K) - 1}{1,36(K^2 - 1)(K - 1)}$	$\beta_U = \frac{1,09^2(1 + 8,55 \lg 1,09) - 1}{1,36(1,09^2 - 1)(1,09 - 1)} = 24,709$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
25.	Коефіцієнт β_F	Для фланцевих з'єднань з приварними встик фланцями з прямою втулкою, плоскими фланцями і вільними фланцями $\beta_F = 0,91$. Для фланцевих з'єднань з приварними встик фланцями з конічною втулкою коефіцієнт β_F визначається за графіком Додатка Р	$\beta_F = 0,91$
26.	Коефіцієнт λ	$\lambda = \frac{\beta_F h + l_0}{\beta_T l_0} + \frac{\beta_V h^3}{\beta_U l_0 S_0^2}$	$\lambda = \frac{0,91 \cdot 0,086 + 0,199}{1,8787 \cdot 0,199} + \frac{0,55 \cdot 0,086^3}{24,709 \cdot 0,199 \cdot 0,018^2} = 0,961$
27.	Кутова податливість фланця при зтяжці y_Φ , 1/(Н·м)	$y_\Phi = \frac{0,91 \beta_V}{E_{20} \lambda S_0^2 l_0}$	$y_\Phi = \frac{0,91 \cdot 0,55}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 0,961 \cdot 0,018^2 \cdot 0,199} = 0,0406 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}}$
28.	Кутова податливість кільця вільного фланця при зтяжці y_K , 1/(Н·м)	$y_K = \frac{1}{E_K^{20} h_K^3 \psi_K},$ де $\psi_K = 1,28 \lg \frac{D_{н.к}}{D_K}$	—

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
36 29.	Кутова податливість фланця, який навантажений зовнішнім згинаючим моментом для приварних встик фланців і плоских фланців $y_{\phi,н}$, 1/(Н·м)	$y_{\phi,н} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \frac{D_6}{E_{20} D_H h^3}$	—
30.	Кутова податливість фланця, який навантажений зовнішнім згинаючим моментом для буртувільного фланця $y_{\phi,н}$, 1/(Н·м)	$y_{\phi,н} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \frac{D_s}{E_{20} D_H h^3}$	—

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
31.	Кутова податливість фланця, який навантажений зовнішнім згинаючим моментом для кільця вільного фланця $y_{\phi.c}$, 1/(Н·м)	$y_{\phi.c} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \frac{D_6}{E_K^{20} D_{н.к} h_K^3}$	–
32.	Кутова податливість фланця зі сферичною кришкою, яка не відбортована $y_{кр}$, 1/(Н·м)	$y_{кр} = \frac{[1 - \omega_1(1 + 1,285\lambda_1)] (D_{н} + D)}{E_{20} h^3} \left(\frac{D_{н} + D}{D_{н} - D}\right), \text{ де}$ $\omega_1 = \frac{1}{1 + 1,285\lambda_1 + 1,63\lambda_1 \left(\frac{h}{S_0}\right)^2 \lg \frac{D_{н}}{D}};$ $\lambda_1 = \frac{h}{D} \sqrt{\frac{R_c}{S_0}}$	–

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
33.	Кутова податливість плоскої кришки $y_{кр}$, 1/(Н·м)	$y_{кр} = \frac{X_{кр}}{E_{кр} \delta_{кр}^3}, \text{ де}$ $X_{кр} = \frac{0,67[K_{кр}^2(1+8,55\lg K_{кр})-1]}{(K_{кр}-1) \left[K_{кр}^2 - 1 + \left(1,857K_{кр}^2 + 1\right) \frac{K_{кр}^3}{d_{кр}^3} \right]}$ $K_{кр} = \frac{D_{н}}{D_{сп}}$	—
34.	Плечі дії сил у болтах (шпильках) для фланців з конічною втулкою, які приварені в стик і для плоских фланців b , м	$b = 0,5(D_{\delta} - D_{cn})$	$b = 0,5(2,34 - 2,275) = 0,0325 \text{ м}$
35.	Плечі дії сил у болтах (шпильках) для фланців з вільними кільцями, м	$a = 0,5(D_{\delta} - D_S)$ $b = 0,5(D_S - D_{cn})$	—

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
36.	Відносна довжина втулки фланця x . Визначається для конічної втулки фланця	$x = \frac{1}{\sqrt{DS_0}}$	—
37.	Відношення товщини втулки в перерізі S_1 до товщини в перерізі S_0 . Визначається для конічної втулки фланця	$\beta = \frac{S_1}{S_0}$	—
38.	Коефіцієнт ζ . Визначається для конічної втулки фланця	Визначається за графіком (Додаток С) або розраховується за формулою: $\zeta = 1 + (\beta - 1) \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}}$	—
39.	Еквівалентна товщина конічної втулки фланця $S_{\text{э}}$, м	Для конічної втулки фланця, яка приварена в стик: $S_{\text{э}} = \zeta S_0$. Еквівалентна товщина плоских фланців і фланців з вільними кільцями: $S_{\text{э}} = S_0$.	$S_{\text{э}} = S_0 = 0,018 \text{ м}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
40.	Плече зусилля від дії тиску на фланець e , м	$e = 0,5(D_{cn} - D - S_{\Sigma})$	$e = 0,5(2,275 - 2,2 - 0,018) = 0,0285$ м
41.	Жорсткість фланцевого з'єднання γ Н/м	<p>Для фланців з конічною втулкою, які приварені в стик і для плоских фланців:</p> $\gamma = \frac{1}{y_n + y_{\delta} \frac{E_{\delta}^{20}}{E_{\delta}} + \left(y_{\phi 1} \frac{E_1^{20}}{E_1} + y_{\phi 2} \frac{E_2^{20}}{E_2} \right) b^2}$ <p>Для фланців з вільними кільцями:</p> $\gamma = \frac{1}{y_n + y_{\delta} \frac{E_{\delta}^{20}}{E_{\delta}} + 2y_k \frac{E_k^{20}}{E_k} a^2 + \left(y_{\phi 1} \frac{E_1^{20}}{E_1} + y_{\phi 2} \frac{E_2^{20}}{E_2} \right) b^2}$ <p>Для фланця з кришкою:</p> $\gamma = \frac{1}{y_n + y_{\delta} \frac{E_{\delta}^{20}}{E_{\delta}} + \left(y_{\phi} \frac{E^{20}}{E} + y_{xp} \frac{E_{xp}^{20}}{E_{xp}} \right) b^2}$	$\gamma = \frac{1}{4,335 \cdot 10^5 + 2,44 \cdot 10^{-5} \frac{2,13 \cdot 10^5}{2,049 \cdot 10^5} + \dots} \rightarrow$ $\rightarrow \dots \frac{1}{\left(0,0406 \frac{1,99 \cdot 10^5}{1,866 \cdot 10^5} + 0,0406 \frac{1,99 \cdot 10^5}{1,866 \cdot 10^5} \right) 0,0325^2} =$ $= 6250 \frac{\text{МН}}{\text{м}}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
42.	Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання, яке навантажене внутрішнім тиском або зовнішньою осьюою силою α	<p>Для фланців з конічною втулкою приварених в стик або плоских фланців з плоскою прокладкою:</p> $\alpha = 1 - \frac{y_{\text{п}} - (y_{\text{ф1}} \cdot e_1 + y_{\text{ф2}} \cdot e_2)b}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + (y_{\text{ф1}} + y_{\text{ф2}})b^2}$ <p>Для з'єднання фланця з плоскою прокладкою з кришкою:</p> $\alpha = 1 - \frac{y_{\text{п}} - (y_{\text{ф}} \cdot e + y_{\text{кр}} \cdot b)b}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + (y_{\text{ф}} + y_{\text{кр}})b^2}$ <p>Для фланців з овальними і восьмигранними прокладками і для вільних фланців $\alpha = 1$.</p>	$\alpha = 1 - \frac{4,335 \cdot 10^{-5} - (0,0406 \cdot 0,0285 + 0,0406 \cdot 0,0285)0,0325}{4,335 \cdot 10^{-5} + 2,44 \cdot 10^{-5} + (0,0406 + 0,0406)0,0325^2} = 1,2075.$
43.	Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання, яке навантажене зовнішнім згинаючим моментом α_M	<p>Для приварних в стик і плоских фланців:</p> $\alpha_M = \frac{y_{\delta} + 2y_{\text{ф.н}}b \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сн}}} \right)}{y_{\delta} + y_{\text{н}} \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\text{сн}}} \right)^2 + 2y_{\text{ф.н}}b^2}$ <p>Для фланців з вільними кільцями:</p> $\alpha_M = \frac{y_{\delta} + 2y_{\text{ф.с}}a^2 + 2y_{\text{ф.н}}b \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сн}}} \right)}{y_{\delta} + y_{\text{н}} \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\text{сн}}} \right)^2 + 2y_{\text{ф.с}}a^2 + 2y_{\text{ф.н}}b^2}$	—

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
44	Температурний коефіцієнт лінійного розширення матеріалу болта (шпильки) α_b , $1/^\circ\text{C}$	α_b визначається за табл. Л.2 Додатка Л	Для болтів зі сталі 35 при $t_b = 142,5^\circ\text{C}$: $\alpha_b = 11,9 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$
45	Температурний коефіцієнт лінійного розширення матеріалу фланця α_f , $1/^\circ\text{C}$	α_f визначається за табл. Л.2 Додатка Л	Для фланців зі сталі 09Г2С при $t_f = 144^\circ\text{C}$: $\alpha_f = 12,2 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$
42 46	Температурний коефіцієнт лінійного розширення матеріалу шайби $\alpha_{ш}$, $1/^\circ\text{C}$	$\alpha_{ш}$ визначається за табл. Л.2 Додатка Л	Для шайби зі сталі 35 при $t_{ш} = 142,5^\circ\text{C}$: $\alpha_{ш} = 11,9 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$
47	Товщина шайби $h_{ш}$, м	$h_{ш}$ обирається за табл. Т.1 Додатка Т	Для діаметра болта $d = 0,03$ м: $h_{ш} = 0,004$ м

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула Приклад розрахунку
48	Навантаження, яке викликане обмеженістю температурних деформацій Q_t , МН	<p>Для фланців, які приварені в стик і для плоских фланців:</p> $Q_t = \gamma \left[\frac{(\alpha_{\phi 1} h_1 + \alpha_{ш1} h_{ш}) (t_{\phi 1} - 20) + (\alpha_{\phi 2} h_2 + \alpha_{ш2} h_{ш}) (t_{\phi 2} - 20) -}{-\alpha_{\delta} (h_1 + h_2) (t_{\delta} - 20)} \right]$ $Q_t = 6250[(12,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,086 + 11,9 \cdot 10^{-6} \cdot 0,004)(144 - 20) + (12,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,086 + 11,9 \cdot 10^{-6} \cdot 0,004) \cdot (144 - 20) - 11,9 \cdot 10^{-6} (0,086 + 0,086)(142,5 - 20)] = 0,13125 \text{ МН}$ <p>В з'єднаннях з вільними фланцями: $Q_t =$</p> $= \gamma \left[\frac{(\alpha_{\phi 1} h_1 + \alpha_{ш1} h_{ш}) (t_{\phi 1} - 20) + (\alpha_{\phi 2} h_2 + \alpha_{ш2} h_{ш}) (t_{\phi 2} - 20) + 2\alpha_{\kappa} h_{\kappa} (t_{\kappa} - 20) -}{-\alpha_{\delta} (h_1 + h_2 + 2h_{\kappa}) (t_{\delta} - 20)} \right]$ <p>В з'єднанні з кришкою:</p> $Q_t = \gamma \left[\frac{(\alpha_{\phi} h + \alpha_{ш1} h_{ш}) (t_{\phi} - 20) + (\alpha_{\kappa p} h_{\kappa p} + \alpha_{ш2} h_{ш}) (t_{\kappa p} - 20) -}{-\alpha_{\delta} (h + h_{\kappa p}) (t_{\delta} - 20)} \right],$ <p>У випадку, якщо між фланцями затиснута трубна решітка або інша закладена деталь:</p> $Q_t = \gamma \left[\frac{(\alpha_{\phi 1} h_1 + \alpha_{ш1} h_{ш}) (t_{\phi 1} - 20) + (\alpha_{\phi 2} h_2 + \alpha_{ш2} h_{ш}) (t_{\phi 2} - 20) + \alpha_p h_p (t_p - 20) -}{-\alpha_{\delta} (h_1 + h_2 + h_p) (t_{\delta} - 20)} \right],$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
44 49.	Розрахункове навантаження на болти (шпильки) при затягуванні, яке необхідне для забезпечення в робочих умовах тиску на прокладку, достатнього для герметизації фланцевого з'єднання $P_{б1}$, МН	$P_{б1} = \max \left\{ \begin{array}{l} \alpha(Q_D + F) + R_{П} + \frac{4\alpha_M M }{D_{СП}} \\ \alpha(Q_D + F) + R_{П} + \frac{4\alpha_M M }{D_{СП}} - Q_z \end{array} \right\}$	$P_{б1} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2075(2,194 + 0) + 0,0482 + 0 \\ 1,2075(2,194 + 0) + 0,0482 + 0 - 0,13125 \end{array} \right\} =$ $= \max\{2,697; 2,566\} = 2,697 \text{ МН}$
50.	Номінальне допустиме напруження для болтів (шпильок) в робочих умовах $[\sigma]_н$, МПа	$[\sigma]_н$ визначається за табл. У1 Додатку У залежно від матеріалу болтів (шпильок) і розрахункової температури болтів (шпильок) t_{δ}	Для кріпильних деталей зі сталі 35 при розрахунковій температурі $t_{\delta} = 142,5$ °С номінальне допустиме напруження $[\sigma]_н = 123$ МПа

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
51.	Розрахункове навантаження на болти (шпильки) при затягуванні, яке необхідне для забезпечення обтиснення прокладки і мінімального початкового натягнення болтів (шпильок) P_{62} , МН	$P_{62} = \max\{P_{обт}; 0,4A_6[\sigma]_H^6\}$	$P_{62} = \max\{0,1357; 0,4 \cdot 3,536 \cdot 10^{-2} \cdot 123\} = 1,74 \text{ МН}$
52.	Розрахункове навантаження на болти (шпильки) при затягуванні фланцевого з'єднання P_6^M , МН	$P_6^M = \max\{P_{61}; P_{62}\}$	$P_6^M = \max\{2,697; 1,74\} = 2,697 \text{ МН}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
53.	Розрахункове навантаження на болти (шпильки) фланцевих з'єднань у робочих умовах P_6^p , МН	$P_6^p = F_6^m + (1 - \alpha)(Q_d + F) + Q_t + \frac{4(1 - \alpha_M) M }{D_{СП}}$	$P_6^p = 2,697 + (1 - 1,2075)(2,194 + 0) + 0,13125 + 0 = 2,373 \text{ МН}$
Перевірка міцності болтів (шпильок) і прокладки			
46 54.	Розрахункове напруження в болтах (шпильках) фланцевих з'єднань при затягуванні σ_{61} , МПа	$\sigma_{61} = \frac{P_6^m}{A_6}$	$\sigma_{61} = \frac{2,697}{3,536 \cdot 10^{-2}} = 76,27 \text{ МПа}$
55.	Розрахункове напруження в болтах (шпильках) фланцевих з'єднань в робочих умовах σ_{62} , МПа	$\sigma_{62} = \frac{P_6^p}{A_6}$	$\sigma_{62} = \frac{2,373}{3,536 \cdot 10^{-2}} = 67,11 \text{ МПа}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
56.	Коефіцієнт умов роботи $K_{y.p}$	$K_{y.p} = 1,0$ для робочих умов і $K_{y.p} = 1,35$ для умов випробувань.	$K_{y.p} = 1,0$ для робочих умов і $K_{y.p} = 1,35$ для умов випробувань.
57.	Коефіцієнт умов затягування $K_{y.z}$	$K_{y.z} = 1,0$ для звичайного затягування, яке не контролюється; $K_{y.z} = 1,1$ при затягуванні з контролем по крутному моменту; $K_{y.z} = 1,3$ при затягуванні за допомогою одночасного витягу шпильок, який контролюється.	Для звичайного затягування, яке не контролюється $K_{y.z} = 1,0$
47 58.	Коефіцієнт, який враховує навантаження від температурних деформацій $K_{y.m}$	$K_{y.m} = 1$, якщо навантаження від температурних деформацій не враховується; $K_{y.m} = 1,3$ при розрахунку фланців з урахуванням навантаження від температурних деформацій	Навантаження від температурних деформацій не враховується $K_{y.m} = 1,0$
59.	Допустиме напруження для болтів (шпильок) при затягуванні $[\sigma]_M^b$, МПа	$[\sigma]_M^b = \xi \cdot K_{y.p} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.t} [\sigma]_H^b$, де $\xi = 1,2$ – коефіцієнт збільшення допустимих напружень при затягуванні	$[\sigma]_M^b = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 123 = 147,6$ МПа
60.	Умова міцності болтів (шпильок) фланцевих з'єднань при затягуванні	$\sigma_{b1} \leq [\sigma]_M^b$	$76,27$ МПа < $147,6$ МПа Умова міцності болтів (шпильок) фланцевих з'єднань при затягуванні виконується

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
61.	Допустиме напруження для болтів (шпильок) в робочих умовах і при випробуваннях $[\sigma]_p^6$, МПа	$[\sigma]_p^6 = K_{y.p} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.t} [\sigma]_H^6$	$[\sigma]_p^6 = 1,35 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 123 = 166$ МПа
62.	Умова міцності болтів (шпильок) фланцевих з'єднань в робочих умовах	$\sigma_{62} \leq [\sigma]_p^6$	67,11 МПа < 166 МПа Умова міцності болтів (шпильок) фланцевих з'єднань в робочих умовах виконується
63.	Розрахунковий питомий тиск q , МПа	$q = \frac{\max\{P_6^M; P_6^P\}}{\pi D_{cn} b_n}$	$q = \frac{\max\{2,697; 2,373\}}{3,14 \cdot 2,275 \cdot 0,025} = 15,1$ МПа
64.	Допустимий питомий тиск $[q]$, МПа	$[q]$ визначають за таблицею Додатка И	Для гумової плоскої прокладки за ГОСТ 7338 з твердістю по Шору А до 65 одиниць $[q] = 18$ МПа
65.	Умова міцності для м'яких прокладок	$q \leq [q]$	15,1 МПа < 18 МПа. Умова міцності виконується

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
Розрахунок фланців на статичну міцність			
49 66.	Коефіцієнт, який враховує вигин тарілки фланця між болтами (шпильками) C_F	$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi D_{\delta}}{n_{\delta}}}{2d + \frac{6h}{m + 0,5}}} \right\}$	$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{3,14 \cdot 2,34}{68}}{2 \cdot 0,03 + \frac{6 \cdot 0,086}{0,5 + 0,5}}} \right\} =$ $= \max \{1; 0,433\} = 1$
67.	Розрахунковий згинаючий момент, який діє на фланець при затягуванні при застосуванні приварного в стик фланця, плоского фланця і бурта вільного фланця M^M , МН·м	$M^M = C_F P_{\delta}^M b$	$C_F = 1 \cdot 2,697 \cdot 0,0325 = 0,0877 \text{ МН}\cdot\text{м}$
68.	Розрахунковий згинаючий момент, який діє на кільце вільного фланця при затягуванні M_K^M , МН·м	$M_K^M = C_F P_{\delta}^M a$	—

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку	
69.	Розрахунковий згинаючий момент, який діє на фланець в робочих умовах при застосуванні приварного в стик фланця, плоского фланця і бурта вільного фланця M^P , МН·м	$M^P = C_F \max \left\{ \begin{array}{l} [P_6^P b + (Q_D + Q_{FM}) e]; \\ [Q_D + Q_{FM}] e \end{array} \right\}$ $M^P = 1 \cdot \max \left\{ \begin{array}{l} [2,373 \cdot 0,0325 + (2,194 + 0)0,0285]; \\ [2,194 + 0]0,0285 \end{array} \right\} =$ $= 1 \cdot \max\{0,1397; 0,0625\} = 0,1397 \text{ МН} \cdot \text{м}$		
50	70.	Розрахунковий згинаючий момент, який діє на кільце вільного фланця в робочих умовах M_K^P , МН·м	$M_K^P = C_F P_6^P e$	–
71.	Коефіцієнт збільшення згинаючих напружень в перерізі S_0 приварного в стик фланця f	f визначається за графіком (Додаток Ф)	–	
72.	Зведений діаметр приварного в стик фланця з конічною або прямою втулкою D^* , м	$D^* = D$, якщо $D \geq 2S_1$; $D^* = D + S_0$, якщо $D < 2S_1$ і $f > 1$; $D^* = D + S_1$, якщо $D < 2S_1$ і $f = 1$.	–	
73.	Зведений діаметр плоского фланця D^*	$D^* = D$	$D^* = 2,2 \text{ м}$	

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
74.	Меридіональне згинаюче напруження у конічній втулці приварного в стик фланця в перерізі S_1 при затягуванні σ_1^M , МПа	$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda(S_1 - C)^2 D^*}$	—
75.	Меридіональне згинаюче напруження у конічній втулці приварного в стик фланця в перерізі S_0 при затягуванні σ_0^M , МПа	$\sigma_0^M = f \sigma_1^M$	—
76.	Меридіональне згинаюче напруження у втулці приварного в стик фланця з прямою втулкою, в обичайці плоского фланця або в обичайці бурта вільного фланця при затягуванні $\sigma_0^M = \sigma_1^M$, МПа	$\sigma_0^M = \sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda(S_0 - C)^2 D^*}$	$\sigma_0^M = \sigma_1^M = \frac{0,0877}{0,961(0,018 - 0,0012)^2 \cdot 2,2} = 146,97 \text{ МПа}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
77.	Радіальне напруження в тарілці приварного встик фланця, плоского фланця і бурта вільного фланця в умовах залягування σ_R^M , МПа	$\sigma_R^M = \frac{(1,33\beta_F h + l_0)M^M}{\lambda h^2 l_0 D}$	$\sigma_R^M = \frac{(1,33 \cdot 0,91 \cdot 0,086 + 0,199)0,0877}{0,961 \cdot 0,086^2 \cdot 0,199 \cdot 2,2} = 8,54 \text{ МПа}$
52 78.	Розрахунковий коефіцієнт β_Y ,	Коефіцієнт β_Y визначається за графіком (Додаток П) або розраховується за формулою: $\beta_Y = \frac{1}{K-1} \left(0,69 + 5,72 \frac{K^2 \lg K}{K^2 - 1} \right)$	$\beta_Y = \frac{1}{1,09-1} \left(0,69 + 5,72 \frac{1,09^2 \lg 1,09}{1,09^2 - 1} \right) = 22,69$
79.	Розрахунковий коефіцієнт β_Z	Коефіцієнт β_Z визначається за графіком (Додаток П) або розраховується за формулою: $\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1}$	$\beta_Z = \frac{1,09^2 + 1}{1,09^2 - 1} = 11,63$
80.	Окружне напруження в тарілці приварного встик фланця, плоского фланця і бурта вільного фланця в умовах залягування σ_T^M , МПа	$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y M^M}{h^2 D} - \beta_Z \sigma_R^M$	$\sigma_T^M = \frac{22,69 \cdot 0,0877}{0,086^2 \cdot 2,2} - 11,63 \cdot 8,54 = 22,98 \text{ МПа}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
81.	Окружне напруження в кільці вільного фланця в умовах затягування σ_K^M , МПа	$\sigma_K^M = \frac{\beta_Y M_K^M}{h_K^2 D_K}$	—
82.	Меридіональне згинаюче напруження у конічній втулці приварного встик фланця в перерізі S_1 в робочих умовах σ_1^P , МПа	$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda (S_1 - C)^2 D^*}$	—
83.	Меридіональне згинаюче напруження у конічній втулці приварного встик фланця в перерізі S_0 в робочих умовах σ_0^P , МПа	$\sigma_0^P = f \sigma_1^P.$	—

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
84.	Меридіональне згинаюче напруження для приварного в стик фланця з прямою втулкою, в обичайці плоского фланця або в обичайці бурта вільного фланця в робочих умовах σ_0^P , МПа	$\sigma_0^P = \sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda(S_0 - C)^2 D^*}$	$\sigma_0^P = \sigma_1^P = \frac{0,1397}{0,961(0,018 - 0,0012)^2 \cdot 2,2} = 234,12 \text{ МПа}$
54	85. Меридіональне мембранне напруження у конічній втулці приварного в стик фланця в перерізі S_1 в робочих умовах $\sigma_{1\text{мм}}^P$, МПа	$\sigma_{1\text{мм}}^P = \frac{0,785D^2p + F \pm \frac{4[M]}{D + S_1}}{\pi(D + S_1)(S_1 - C)}$	—
86.	Меридіональне мембранне напруження у конічній втулці приварного в стик фланця в перерізі S_0 , приварного в стик фланця з прямою втулкою, в обичайці плоского фланця або в обичайці бурта вільного фланця в робочих умовах $\sigma_{0\text{мм}}^P$, МПа	$\sigma_{0\text{мм}}^P = \frac{0,785D^2p + F \pm \frac{4[M]}{D + S_0}}{\pi(D + S_0)(S_0 - C)}$	$\sigma_{0\text{мм}}^P = \frac{0,785 \cdot 2,2^2 \cdot 0,54 + 0 \pm 0}{3,14(2,2 + 0,018)(0,018 - 0,0012)} = 17,535 \text{ МПа}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
87.	Окружне мембранне напруження від дії тиску у втулці приварного в стик фланця, в обичайці плоского фланця або в обичайці бурта вільного фланця в перерізі S_0 в робочих умовах σ_{0mo}^P , МПа	$\sigma_{0mo}^P = \frac{pD}{2(S_0 - c)}$	$\sigma_{0mo}^P = \frac{0,54 \cdot 2,2}{2(0,018 - 0,0012)} = 35,36 \text{ МПа}$
55 88.	Радіальне напруження у тарілці приварного в стик фланця, плоского фланця і в бурті вільного фланця в робочих умовах σ_R^P , МПа	$\sigma_R^P = \frac{(1,33\beta_F h + l_0)}{\lambda h^2 l_0 D} M^P$	$\sigma_R^P = \frac{(1,33 \cdot 0,91 \cdot 0,086 + 0,199)}{0,961 \cdot 0,086^2 \cdot 0,199 \cdot 2,2} 0,1397 = 13,607 \text{ МПа}$
89.	Окружне напруження у тарілці приварного в стик фланця, плоского фланця і в бурті вільного фланця в робочих умовах σ_T^P , МПа	$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y M^P}{h^2 D} - \beta_Z \sigma_R^P$	$\sigma_T^P = \frac{22,69 \cdot 0,1397}{0,086^2 \cdot 2,2} - 11,63 \cdot 13,607 = 36,56 \text{ МПа}$
90.	Окружне напруження у кільці вільного фланця в робочих умовах σ_K^P , МПа	$\sigma_K^P = \frac{\beta_Y M_K^P}{h_K^2 D_K}$	—

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
91.	Коефіцієнт K_T	Коефіцієнт $K_T = 1,3$ при розрахунку з урахуванням обмеженості температурних деформацій. При розрахунку без врахування обмеженості температурних деформацій $K_T = 1$.	$K_T = 1,3$
92.	Коефіцієнт K_S	Коефіцієнт $K_S = 1$ при $K \leq 1,4$. $K_S = 1,2$ при $K \geq 2$. Для проміжних значень при $1,4 < K < 2$ значення K_S визначають за допомогою лінійної інтерполяції.	$K_S = 1$, тому що $K = 0,9$
56 93.	Допустиме напруження за розрахункової температури $[\sigma]$, МПа	$[\sigma]$ визначають за таблицею Е.1 Додатка Е	Для фланців зі сталі 09Г2С при $t_\phi = 144$ °С, товщині фланця $h > 32$ мм: $[\sigma] = 155$ МПа
94.	Допустиме значення загальних мембранних і згинаючих напружень $[\sigma]_M$, МПа	При розрахункових температурах нижчих за температур, при яких допустимі напруження встановлюють за границями тривалої міцності або повзучості значення $[\sigma]_M$ визначають за формулою: $[\sigma]_M = 1,5[\sigma].$ При розрахункових температурах, при яких допустимі напруження встановлюють за границями тривалої міцності або повзучості значення $[\sigma]_M$ визначають за формулою: $[\sigma]_M = [\sigma].$	$[\sigma]_M = 1,5 \cdot 155 = 232,5$ МПа

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
95.	Умова статичної міцності приварних в стик фланців з конічною втулкою в перерізі S_1 при затягуванні	$\max \left\{ \left \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left \sigma_1^M + \sigma_T^M \right \right\} \leq K_S K_T [\sigma]_M$	–
96.	Умова статичної міцності приварних в стик фланців з конічною втулкою в перерізі S_1 в робочих умовах	$\max \left\{ \begin{array}{l} \left \sigma_1^P - \sigma_{1MM}^P + \sigma_R^P \right ; \\ \left \sigma_1^P - \sigma_{1MM}^P + \sigma_T^P \right ; \\ \left \sigma_1^P + \sigma_{1MM}^P \right \end{array} \right\} \leq K_S K_T [\sigma]_M$	–
57	97. Допустиме значення сумарних умовних пружних напружень $[\sigma]_R$, МПа.	<p>При розрахункових температурах нижчих за температур, при яких допустимі напруження встановлюють за границями тривалої міцності або повзучості значення $[\sigma]_R$ визначають за формулою:</p> $[\sigma]_R = 3[\sigma].$ <p>При розрахункових температурах, при яких допустимі напруження встановлюють за границями тривалої міцності або повзучості значення $[\sigma]_R$ визначають за формулою:</p> $[\sigma]_R = 1,4[\sigma].$	$[\sigma]_R = 3 \cdot 155 = 465 \text{ МПа}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
98.	Умова статичної міцності приварних встик фланців з конічною втулкою в перерізі S_0 при затягуванні	$\sigma_0^M \leq 1,3[\sigma]_R$.	–
99.	Умова статичної міцності приварних встик фланців з конічною втулкою в перерізі S_0 в робочих умовах	$\max \left\{ \begin{array}{l} \sigma_0^P \pm \sigma_{0MM}^P ; \\ 0,3\sigma_0^P \pm \sigma_{0MM}^P + \sigma_T^P ; \\ 0,7\sigma_0^P \pm (\sigma_{0MM}^P - \sigma_{0Mo}^P) \end{array} \right\} \leq 1,3[\sigma]_R$	–
100.	Умова статичної міцності приварних встик фланців з прямою втулкою, плоских фланців і буртів вільних фланців в перерізі S_0 при затягуванні	$\max \left\{ \sigma_0^M + \sigma_R^M ; \sigma_0^M + \sigma_T^M \right\} \leq K_S K_T [\sigma]_0,$ де $[\sigma]_0 = [\sigma]_M$	$\max \left\{ 146,97 + 8,54 ; 146,97 + 22,98 \right\} \leq 1 \cdot 1,3 \cdot 232,5$ $169,95 \text{ МПа} < 302,25 \text{ МПа}$ Умова статичної міцності при затягуванні виконується
101.	Умова статичної міцності приварних встик фланців з прямою втулкою, плоских фланців і буртів вільних фланців в перерізі S_0 в робочих умовах	$\max \left\{ \begin{array}{l} \sigma_0^P - \sigma_{0MM}^P + \sigma_R^P ; \\ \sigma_0^P - \sigma_{0MM}^P + \sigma_T^P ; \\ \sigma_0^P + \sigma_{0MM}^P \end{array} \right\} \leq K_S K_T [\sigma]_0$	$\max \left\{ \begin{array}{l} 234,12 - 17,535 + 13,607 ; \\ 234,12 - 17,535 + 36,56 ; \\ 234,12 + 17,535 \end{array} \right\} \leq 1 \cdot 1,3 \cdot 232,5$ $253,145 \text{ МПа} < 302,205 \text{ МПа}$ Умова статичної міцності в робочих умовах виконується

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
102.	Умова міцності для фланців всіх типів в перерізі S_0	$\max\{ \sigma_{0MO}^P ; \sigma_{0MM}^P \} \leq [\sigma]$	$\max\{35,36; 17,535\} \leq 155$ 35,36 МПа < 155 МПа Умова міцності виконується
103.	Умова статичної міцності для тарілок приварних в стик фланців, плоских фланців і буртів вільних фланців при затягуванні	$\max\{ \sigma_R^M ; \sigma_T^M \} \leq K_T [\sigma]$.	$\max\{8,54; 22,98\} \leq 1,3 \cdot 155$ 22,98 МПа < 201,5 МПа Умова статичної міцності при затягуванні виконується
104.	Умова статичної міцності для тарілок приварних в стик фланців, плоских фланців і буртів вільних фланців в робочих умовах	$\max\{ \sigma_R^P ; \sigma_T^P \} \leq K_T [\sigma]$.	$\max\{13,607; 36,56\} \leq 1,3 \cdot 155$ 36,56 МПа < 201,5 МПа Умова статичної міцності в робочих умовах виконується
105.	Умова статичної міцності для кілець вільних фланців при затягуванні	$\sigma_K^M \leq K_T [\sigma]_K^{20}$.	—
106.	Умова статичної міцності для кілець вільних фланців в робочих умовах	$\sigma_K^P \leq K_T [\sigma]_K$.	—
Перевірка умови герметичності фланцевого з'єднання за кутом повороту фланця			
107.	Коефіцієнт K_\ominus	$K_\ominus = 1$ для робочих умов; $K_\ominus = 1,3$ для умов випробування.	$K_\ominus = 1$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
108.	Допустимий кут повороту приварного в стик фланця $[\Theta]$	$[\Theta] = 0,006$ рад. при $D \leq 400$ мм, $[\Theta] = 0,013$ рад. при $D > 2000$ мм. Якщо $400 \text{ мм} < D \leq 2000 \text{ мм}$, тоді допустимий кут повороту фланця $[\Theta]$ визначають за допомогою лінійної інтерполяції. Допустимий кут повороту плоского фланця і бурта вільного фланця $[\Theta] = 0,013$ рад.	$[\Theta] = 0,013$ рад.
109.	Модуль поздовжньої пружності в умовах розтягу матеріалу фланця при розрахунковій температурі E , МПа	E визначається за таблицею Н.1 Додатка Н	Для фланців зі сталі 09Г2С при розрахунковій температурі $t_\phi = 144$ °С: $E = 1,87 \cdot 10^5$ МПа
110.	Перевірка умови герметичності приварного в стик фланця, плоского фланця і бурта вільного фланця в робочих умовах	$\Theta = M^p y_\phi \frac{E^{20}}{E} \leq K_\Theta [\Theta]$	$\Theta = 0,1397 \cdot 0,0406 \frac{1,99 \cdot 10^5}{1,866 \cdot 10^5} \leq 1 \cdot 0,013$ $0,006 < 0,013$ <p>Умова герметичності фланця виконується</p>

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
111.	Модуль поздовжньої пружності в умовах розтягу матеріалу вільного фланця при температурі 20 °С E_K^{20} , МПа	E_K^{20} визначається за таблицею Н.1 Додатка Н	—
112.	Модуль поздовжньої пружності в умовах розтягу матеріалу вільного фланця при розрахунковій температурі E_K , МПа	E_K визначається за таблицею Н.1 Додатка Н	—
113.	Допустимий кут повороту кільця вільного фланця $[\Theta]_K$, рад.	Допустимий кут повороту кільця вільного фланця $[\Theta]_K = 0,02$	$[\Theta]_K = 0,02$
114.	Перевірка умови герметичності вільного фланця в робочих умовах	$\Theta = M_{K y_K}^p \frac{E_K^{20}}{E_K} \leq K_{\Theta} [\Theta]_K$	—

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ГОСТ 2.105–95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам. (Межгосударственный стандарт). [Чинний від 1996-07-01]. Вид. офіц. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. 85 с.

2. Андреев І. А., Мікульонок І. О. Розрахунок, конструювання та надійність обладнання хімічних виробництв: термінологічний словник. Київ: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2002. 216 с.

3. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.

4. ГОСТ 34233.1–2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Общие требования. (Межгосударственный стандарт). [Чинний від 2018-08-01]. Вид. офіц. М.: Стандартиформ, 2018. 30 с.

5. СОУ МПП 71.120–217:2009. Посудини та апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови. (стандарт Міністерства промислової політики України). [Чинний від 2009-07-07]. Вид. офіц. К.: Міністерство промислової політики України, 2009. 339 с.

6. ГОСТ 34283–2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность при ветровых, сейсмических и других внешних нагрузках. (Межгосударственный стандарт). [Чинний від 2018-08-01]. Вид. офіц. М.: Стандартиформ, 2018. 26 с.

7. ГОСТ 34233.4-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. (Межгосударственный стандарт). [Чинний від 2018-08-01]. Вид. офіц. М.: Стандартиформ, 2018. 41 с.

8. Андреев І. А. Роз'ємні міцно-щільні з'єднання: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньо-професійної програми «Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 138 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35927>.

9. ГОСТ 11371-78. Шайбы. Технические условия (Межгосударственный стандарт). [Чинний від 1979-01-01]. Вид. офіц. М.: Стандартиформ, 2006. 5 с.

ДОДАТОК А

Зразок завдання на розрахунково-графічну роботу

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”

ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

ЗАВДАННЯ

на розрахунково-графічну роботу з дисципліни

«Розрахунок і конструювання типового обладнання-1. Розрахунок та конструювання основних елементів посудин та апаратів»

Виконавець: студент групи _____

шифр групи ім'я і прізвище

- 1. Тема роботи:** Перевірочний розрахунок фланцевого з'єднання
- 2. Термін здачі студентом закінченої роботи:** _____ 202_ р.
- 3. Вихідні дані до проекту:** Різновид фланців і болтів - ..., матеріал фланців і болтів - ..., тип і матеріал прокладки - ..., умови застосування фланцевого з'єднання і т. ін.
- 4. Перелік питань, які мають бути розроблені:** Перевірка міцності болтів (шпильок) і прокладки. Розрахунок фланців на статичну міцність. Перевірка умови герметичності фланцевого з'єднання за кутом повороту фланця.
- 4. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:** фланцеве з'єднання.

Завдання прийняв до виконання студент _____

підпис, дата

Керівник курсової роботи _____

посада, ім'я і прізвище підпис, дата

ДОДАТОК Б

Завдання на розрахунково-графічну роботу з дисципліни «Розрахунок і конструювання типового обладнання-1. Розрахунок та конструювання основних елементів посудин та апаратів»

Розрахувати неізольовані, плоскі приварні фланці з ущільнювальною поверхнею типу «шип – паз». Перевірити міцність болтів (шпильок) і прокладки, виконати розрахунки фланців на статичну міцність і фланцевого з'єднання на герметичність.

Вихідні дані для розрахунку.

Болти без проточки. Матеріал болтів – сталь 35.

Матеріал фланців – сталь 09Г2С.

Матеріал плоскої неметалевої прокладки – гума за ГОСТ 7338 з твердістю по Шору А до 65 одиниць.

Фланці не навантажені зовнішньою силою і зовнішнім згинаючим моментом. Затягування фланців не контролюється.

Розрахунок виконати для робочих умов.

Таблиця Б.1. Вихідні дані до розрахунку фланцевого з'єднання

Варіант	Розрахунковий тиск p , МПа	Виконавча товщина стінки посудини S , м	Сума додатків до розрахункової товщини стінки C , м	Розрахункова температура t , °С	Зовнішній діаметр фланця D_i , м	Середній діаметр прокладки D_{cn} , м
1	1,1	0,009	0,001	170	1,1	0,955
2	1,0	0,01	0,0012	160	1,2	1,055
3	1,1	0,01	0,001	165	1,2	1,055
4	0,8	0,013	0,0016	155	1,4	1,265
5	1,0	0,012	0,001	165	1,4	1,265
6	0,7	0,012	0,001	150	1,6	1,465

Продовження табл. Б.1

Варіант	Розрахунковий тиск p , МПа	Виконавча товщина стінки посудини S , м	Сума додатків до розрахункової товщини стінки C , м	Розрахункова температура t , °С	Зовнішній діаметр фланця D_f , м	Середній діаметр прокладки D_{cn} , м
7	0,9	0,013	0,001	160	1,6	1,465
8	0,6	0,013	0,0009	150	1,8	1,665
9	0,8	0,014	0,001	100	1,8	1,675
10	0,63	0,014	0,001	150	2,0	1,875
11	0,7	0,014	0,0009	150	2,0	1,875
12	0,54	0,015	0,001	140	2,2	2,075
13	0,74	0,017	0,0007	155	2,2	2,085
14	0,54	0,016	0,0012	150	2,4	2,275
15	0,64	0,017	0,001	155	2,4	2,275
16	0,44	0,017	0,0007	140	2,6	2,475
17	0,54	0,02	0,001	150	2,9	2,64
18	0,5	0,022	0,001	160	2,2	2,085
19	0,45	0,022	0,001	165	2,2	2,085
20	0,4	0,022	0,001	160	2,2	2,085

Продовження табл. Б.1

Варіант	Внутрішній діаметр D , м	Діаметр болта (шпильки) d , мм	Кількість болтів (шпильок) n_b	Товщина фланця h , м	Товщина прокладки h_n , м	Ширина прокладки b_f , м
1	0,9	20	44	0,056	0,003	0,015
2	1,0	20	48	0,056	0,003	0,015
3	1,0	20	48	0,056	0,003	0,015
4	1,2	20	56	0,066	0,003	0,015
5	1,2	20	56	0,066	0,003	0,015
6	1,4	20	64	0,070	0,003	0,015
7	1,4	20	64	0,070	0,003	0,015
8	1,6	20	72	0,070	0,003	0,015
9	1,6	30	48	0,080	0,003	0,015
10	1,8	30	56	0,076	0,003	0,015
11	1,8	30	56	0,080	0,003	0,015
12	2,0	24	76	0,080	0,003	0,015
13	2,0	30	60	0,090	0,003	0,015
14	2,2	30	68	0,086	0,003	0,025
15	2,2	30	68	0,090	0,003	0,025
16	2,4	30	72	0,086	0,003	0,025
17	2,6	30	72	0,104	0,003	0,025
18	2,0	30	76	0,090	0,003	0,025
19	2,0	30	76	0,090	0,003	0,025
20	2,0	30	76	0,090	0,003	0,025

Продовження табл. Б.1

Варіант	Ефективна довжина болта (шпильки) L_b , м	Товщина втулки фланця S_0 , м	Діаметр кола розташування болтів (шпильок) D_b , м
1	0,124	0,012	1,0
2	0,124	0,012	1,1
3	0,124	0,012	1,1
4	0,144	0,014	1,31
5	0,144	0,014	1,31
6	0,152	0,014	1,51
7	0,152	0,014	1,51
8	0,152	0,014	1,71
9	0,174	0,016	1,73
10	0,166	0,016	1,93
11	0,174	0,016	1,93
12	0,173	0,016	2,12
13	0,184	0,018	2,14
14	0,186	0,018	2,34
15	0,194	0,018	2,34
16	0,186	0,018	2,54
17	0,222	0,022	2,76
18	0,2	0,024	2,12
19	0,2	0,024	2,12
20	0,2	0,024	2,12

ДОДАТОК В

Зразок змісту розрахунково-графічної роботи

Зміст

Вступ.....	
1 Огляд конструкцій фланцевих з'єднань посудин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв	
1.1 Літературний огляд.....	
1.2 Патентний огляд.....	
2 Опис конструкції фланцевого з'єднання.....	
3 Технічна характеристика фланцевого з'єднання	
4 Розрахунки, які підтверджують працездатність та надійність фланцевого з'єднання	
4.1 Визначення розрахункових параметрів і навантажень у фланцевому з'єднанні	
4.2. Перевірка міцності болтів (шпильок) і прокладки	
4.3. Розрахунок фланців на статичну міцність	
4.4. Перевірка умови герметичності фланцевого з'єднання за кутом повороту фланця	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	
Додаток А. [Назва]	

						ЛН...XXXXXX.001 ПЗ				
Зм	Арк	№ доквм	Підпис	Дат	[Назва РГР]			Літ.	Арк	Архивів
Розроб.										
Перев.										
Н.Контр.										
Зате.										
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ, МАХНВ				

ДОДАТОК Г

Зразок титульного листа
пояснювальної записки розрахунково-графічної роботи

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до розрахунково-графічної роботи з дисципліни

«Розрахунок і конструювання типового обладнання-1. Розрахунок та
конструювання основних елементів посудин та апаратів»

на тему:

ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ФЛАНЦЕВОГО З'ЄДНАННЯ

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

за освітньо-професійною програмою

«Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових
виробництв»

Виконав студент групи _____

шифр групи

ім'я і прізвище

підпис, дата

Керівник проекту _____

посада, ім'я і прізвище

підпис, дата

Київ 2022

ДОДАТОК Д

Основні стандартизовані і загальноживані в науково-технічній літературі терміни та визначення

Галузь застосування багатозначного терміну в цьому розділі подана в круглих дужках світлим шрифтом після терміну. Позначка не є частиною терміну. Стандартизовані терміни наведено напівжирним шрифтом, їх коротка форма, а також терміни-синоніми, які подані як довідкові і не є стандартизованими, – світлим, а недопустимі до вживання синоніми – курсивом. Узята в круглі дужки частина терміну може бути вилучена в разі використання терміну в документах із стандартизації. Використання термінів-синонімів не рекомендується. Недозволені до вживання терміни-синоніми наведені у лівій колонці в круглих дужках після основного терміну з позначкою "Нд". Наявність квадратних дужок означає, що до неї включено два (три) терміни, які мають спільні терміноелементи.

Агрегат

Складальна одиниця, що має повну взаємозамінність, яку можна скласти окремо від інших частин виробу чи виробу в цілому і яка може виконувати призначену функцію у виробі або діяти самостійно (ДСТУ 2390–94)

Апарат

хімічних виробництв

•Аппарат химических производств

Ємність, призначена для ведення хімічних, теплових та інших технологічних процесів, а також для зберігання та транспортування газоподібних, рідких та інших речовин

Арматура

(трубопровідна загальнопромислового призначення)

Сукупність пристроїв і приладів, установлюваних на трубопроводах та ємностях, які забезпечують керування потоком робочого середовища шляхом змінювання прохідного перерізу (ДСТУ 2611–94)

Балон

Посудина, яка має одну або дві горловини для установлення клапанів, фланців або штуцерів і призначена для транспортування, зберігання й використання стиснених, зріджених або розчинених під тиском газів (ДНАОП 0.00-1.07–94)

Бочка	Посудина циліндричної або іншої форми, яку можна перекочувати з одного місця на інше й ставити на торці без додаткових опор і яка призначена для транспортування, зберігання рідких та інших речовин (ДНАОП 0.00-1.07-94)
Вид навантажування	Класифікаційне угруповання способів навантажування, що утворюють в об'єкті заданий напружено-деформований стан (ДСТУ 2824-94)
Вікно оглядове	Пристрій, який дозволяє здійснювати спостереження за робочим середовищем (ДНАОП 0.00-1.07-94)
Вісь напружень головна	Пряма, перпендикулярна головній площадці (ДСТУ 2825-94)
Втома (матеріалу)	Процес поступового накопичення пошкоджень, утворення та розвитку тріщин у матеріалі під дією циклічного навантажування (ДСТУ 2825-94) Процес поступового нагромадження пошкоджень матеріалу під дією змінних напружень, який призводить до зміни властивостей, появи тріщин, їх розвитку та руйнування матеріалу (ДСТУ 2860-94)
Втрати корозійні	Кількість металу, що перетворюється на продукти корозії за визначений час (ДСТУ 3830-98), (ДСТУ 2733-94)
Вузол	Складальна одиниця, яка може складатися окремо від інших складових частин виробу чи виробу в цілому та виконувати певну функцію у виробі одного призначення лише разом з іншими складовими частинами (ДСТУ 2390-94)
Границя витривалості (Нд. Межа витривалості)	Максимальне за абсолютним значенням напруження циклу, за якого ще не відбувається втомне руйнування матеріалу протягом заданої кількості циклів навантажування (ДСТУ 2825-94)
Границя корозійної втоми	Найбільше механічне напруження, яке після певної кількості циклів навантаження та заданих корозійних умов ще не зруйнує метал (ДСТУ 3830-98)
Границя міцності (Нд Межа міцності)	Умове напруження, що відповідає найбільшому навантаженню, досягнутому до поділу зразка на частини (ДСТУ 2825-94)

Границя плинності (умовна)	Напруження, за якого залишкова деформація зразка досягає обумовленої нормативно-технічними документами величини (ДСТУ 2825–94)
Границя плинності фізична (Нд Межа плинності, границя текучості, межа текучості)	Найменше умовне напруження, за якого зразок деформується без помітного збільшення навантаження (ДСТУ 2825–94)
Границя повзучості (Нд.Межа повзучості)	Напруження, за якого швидкість деформації повзучості або деформація повзучості за визначений час (за умовою) дорівнює заданій (ДСТУ 2825–94)
Границя пропорційності (Нд Межа пропорційності)	Найбільше умовне напруження, за якого з обумовленим відхиленням зберігається лінійна залежність між напруженнями і деформаціями у зразку (ДСТУ 2825–94)
Границя пружності (Нд Межа пружності)	Найбільше умовне напруження, за якого з обумовленим відхиленням зберігається пружність у разі деформування зразка (ДСТУ 2825–94)
Границя тривалої міцності (Нд Межа довгочасної міцності)	Напруження, за якого зразок досягає поділу на частини за обумовлений час дії навантаження (ДСТУ 2825–94)
Деформація	Відносна величина взаємного зміщення точок об'єкта в результаті його деформування (ДСТУ 2825–94)
Деформування	Процес взаємного зміщення точок об'єкта під час його навантажування (ДСТУ 2825–94)
Дифузор	Фасонна частина для плавного збільшення перерізу трубопроводу (ДСТУ 2388–94)
Діаметр номінальний	Параметр, що використовується як характеристика, загальна для всіх компонентів трубопроводів, крім таких, що характеризуються зовнішнім діаметром або діаметром різьби (ДСТУ 2485–94). Номінальний діаметр приблизно дорівнює внутрішньому діаметра трубопроводу в міліметрах і не має розмірності. Позначення номінального діаметра складається з літерного сполучення DN і числа, що вибирається з ряду, наведеного в ГОСТ 28338–89, яке приблизно дорівнює внутрішньому діаметра трубопроводу в міліметрах (так, номінальний діаметр компонентів трубопроводів з внутрішнім діаметром приблизно 125 мм повинен позначатися DN125)

Днище	Незнімна частина корпусу посудини, яка обмежує внутрішню порожнину з торця (ДНАОП 0.00-1.07-94)
Довговічність	Властивість об'єкта виконувати потрібні функції до переходу в граничний стан при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту (ДСТУ 2860-94)
Елемент посудини	Складальна одиниця посудини, призначена для виконання однієї з основних функцій посудини (ДНАОП 0.00-1.07-94)
Заглушка	Знімна деталь, яка дозволяє герметично закривати отвори штуцера або бобишки (ДНАОП 0.00-1.07-94)
З'єднання зварне; звар	Нерознімне з'єднання заготовок, яке виконується зварюванням (ДСТУ 3761.3-98)
З'єднання пресове	З'єднання складових частин виробу з гарантованим натягом, який утворюється внаслідок того, що розмір охоплюваної деталі більший від відповідного розміру охоплювальної деталі (ДСТУ 2390-94)
З'єднання різьбове	З'єднання складових частин виробу із застосуванням деталі, що має різьбу (ДСТУ 2390-94)
З'єднання розвальцьоване	З'єднання складових частин виробу шляхом розширення охоплюваної деталі або стиснення охоплювальної деталі (ДСТУ 2390-94)
З'єднання рознімне (Нд З'єднання розбірне)	З'єднання, яке розбирається без порушення цілісності складових частин виробу (ДСТУ 2390-94)
З'єднання спаяне	З'єднання, утворене паянням (ДСТУ 3761.4-98)
З'єднання фальцьоване	З'єднання складових частин виробу шляхом сумісного загинання їхніх країв (ДСТУ 2390-94)
З'єднання фланцеве	Нерухоме рознімне з'єднання оболонок, герметичність якого забезпечується шляхом стискання ущільнювальних поверхонь безпосередньо одна з одною або за допомогою розміщених між ними прокладок із більш м'якого матеріалу, стиснених кріпильними деталями (ДНАОП 0.00-1.07-94). З'єднання складових частин виробу із застосуванням фланців (ДСТУ 2390-94)
Змійовик	Теплообмінний пристрій, виконаний у вигляді зігнутої труби (ДНАОП 0.00-1.07-94)

Клапан (Нд Вентиль)	Вид арматури, в якій перекривальний (регулювальний) елемент зворотно-поступально переміщується паралельно до осі потоку робочого середовища, що проходить крізь прохідний перетин (ДСТУ 2611–94)
Коефіцієнт Пуассона	Відношення абсолютних величин поперечної та поздовжньої лінійних деформацій за лінійного напруженого стану до границі пропорційності (ДСТУ 2825–94)
Коліно	Фасонна частина прямого трубопроводу, яка змінює напрямок руху потоку (ДСТУ 2388–94)
Компенсатор температурний	Пристрій для компенсації різниці температурних розширень корпусу й теплообмінних труб (ДСТУ 2582–94)
Конфузор	Фасонна частина для плавного зменшення перерізу трубопроводу (ДСТУ 2388–94)
Концентрація деформацій	Підвищення деформацій у місцях зміни форми або порушень, суцільності матеріалу (ДСТУ 2444–94)
Концентрація напружень	Підвищення напружень у місцях зміни форми або порушень, суцільності матеріалу (ДСТУ 2444–94)
Корпус	Основна складальна одиниця, яка складається з обичайок і днища (днищ) (ДНАОП 0.00.-1.07–94)
Кран (трубопровідний)	Вид арматури, в якій перекривальний (регулювальний) елемент, що має форму тіла обертання або частини його з отвором для пропускання потоку робочого середовища, повертається довкола власної осі, довільно розташованій відносно напрямку потоку, що проходить крізь прохідний перетин (поворотів перекривального (регулювального) елемента може передувати зворотно-поступальний рух) (ДСТУ 2611–94)
Кришка	Знімна частина посудини, яка закриває її внутрішню порожнину (ДНАОП 0.00.-1.07–94)
Люк	Пристрій, який забезпечує доступ у внутрішню порожнину посудини (ДНАОП 0.00.-1.07–94)
Машина	Механічний пристрій, що здійснює рухи для перетворення енергії, матеріалів та інформації [4] або пристрій, що виконує механічні рухи для перетворення енергії та матеріалів з метою заміни чи полегшення

фізичної й розумової праці людини (ДСТУ 2410–94)

Місткість	Об'єм внутрішньої порожнини посудини, що визначається за заданими на кресленнях номінальними розмірами (ДНАОП 0.00–1.07–94)
Міцність	Властивість матеріалу чинити опір навантаженням без руйнування (міцність матеріалу оцінюють границею міцності (тимчасовим опором) – максимальним умовним напруженням, яке витримує зразок) (ДСТУ 2860–94). Здатність матеріалу витримувати напруження без руйнування (ДСТУ 2825–94)
Модуль пружності під час зсуву (Нд Модуль зсуву)	Відношення дотичного напруження до відповідної кутової деформації за чистого зсуву до границі пропорційності (ДСТУ 2825–94)
Модуль пружності під час розтягу (Нд Модуль Юнга)	Відношення нормального напруження до відповідної лінійної деформації за лінійного напруженого стану до границі пропорційності (ДСТУ 2825–94)
Момент згинальний	Момент внутрішніх сил у перерізі об'єкта відносно осі, заданої в площині перерізу (ДСТУ 2825–94)
Момент крутний	Момент внутрішніх сил у перерізі об'єкта відносно заданої осі, нормальної щодо площини перерізу (ДСТУ 2825–94)
Навантаження	Чинник або сукупність чинників, дія яких на об'єкт призводить до зміни його напружено-деформованого стану (ДСТУ 2825–94)
Напруження	Вектор внутрішніх сил, що діють на одиницю площі данної елементарної площадки під час стягування її у точку (ДСТУ 2825–94)
Напруження головне	Нормальне напруження, що діє на головній площадці (ДСТУ 2825–94)
Напруження граничне	Найменше значення напруження, яке призводить до недопустимих деформацій об'єкта або його руйнування (ДСТУ 2825–94)
Напруження допустиме	Відношення граничного напруження до коефіцієнта запасу міцності, регламентованого нормативними документами (ДСТУ 2825–94)

Напруження дотичне	Складова вектора напруження, що лежить у площині елементарної площадки його дії (ДСТУ 2825–94)
Напруження нормальне	Складова вектора напруження, спрямована по нормалі до елементарної площадки його дії (ДСТУ 2825–94)
Обичайка	Оболонка замкнутого (звичайно циліндричного) профілю, відкрита з торців (ДНАОП 0.00-1.07–94)
Оболонка	Об'єкт, обмежений двома поверхнями, відстань між якими значно менша від інших його розмірів (ДСТУ 2825–94)
Опір втомі	Властивість матеріалу протистояти втомі (ДСТУ 2442–94), (ДСТУ 2444–94), (ДСТУ 2860–94)
Опір розвитку тріщини	Міра опору матеріалу сталому росту тріщини під час одноразового (короткочасного) навантаження, що виражається величиною одного з параметрів механіки руйнування (ДСТУ 2442–94)
Опора	Пристрій для встановлення посудини в робочому положенні й передавання навантажень від посудини на фундамент або несучу конструкцію (ДНАОП 0.00-1.07–94)
Площадка головна	Елементарна площадка, на якій дотичні напруження відсутні (ДСТУ 2825–94)
Повзучість	Необоротне зростання деформацій у матеріалі з часом під дією навантаження (ДСТУ 2825–94)
Посудина	Герметично закрита ємкість, призначена для ведення хімічних, теплових та інших технологічних процесів, а також для зберігання та транспортування газоподібних, рідких та інших речовин. Межами посудини є вхідні та вихідні штуцери (ДНАОП 0.00-1.07–94)
Пружність	Здатність матеріалу повністю відновлювати недеформований стан після усунення напружень (ДСТУ 2825–94)
Пучок трубний	Частина теплообмінника, яка складається з теплообмінних труб, трубних решіток і перегородок (ДСТУ 2582–94)
Резервуар	Стаціонарна посудина, призначена для зберігання газоподібних, рідких та інших речовин (ДНАОП 0.00-1.07–94)
Релаксація напружень	Довільне зменшення напружень у матеріалі, пов'язане з перерозподілом між пружною й

	пластичною деформаціями (ДСТУ 2328–93), (ДСТУ 2825–94)
Решітка трубна	Деталь теплообмінника (випарного апарата тощо) з отворами для вставлення й закріплення в них теплообмінних труб (ДСТУ 2582–94)
Розподіл навантаження [напруження, деформації]	Сукупність значень, навантаження [напруження, деформації] чи їх частостей, яка визначає міру імовірності кожної величини (ДСТУ 2444–94)
Сила зовнішня	Механічна дія на об'єкт розрахунку з боку об'єкта, усуненого під час розрахункової схематизації (ДСТУ 2825–94)
Сила нормальна	Поздовжня складова рівнодійної внутрішніх сил у перерізі об'єкта (ДСТУ 2825–94)
Сила поверхнева	Зовнішня сила, розподілена по поверхні об'єкта розрахунку (ДСТУ 2825–94)
Сила поперечна	Дотична складова рівнодійної внутрішніх сил у перерізі об'єкта (ДСТУ 2825–94)
Стрижень	Об'єкт, довжина якого значно перевищує інші його розміри (ДСТУ 2825–94)
Тиск внутрішній	Надлишковий тиск, який діє на внутрішню поверхню стінки посудини (ДНАОП 0.00-1.07–94)
Тиск дозволений	Максимально допустимий тиск посудини, встановлений за результатами розрахунку на міцність і технічного огляду або діагностування (ДНАОП 0.00-1.07–94)
Тиск зовнішній	Надлишковий тиск, який діє на зовнішню поверхню стінки посудини (ДНАОП 0.00-1.07–94)
Тиск надлишковий	Різниця абсолютного тиску й тиску навколишнього середовища, показаного барометром (ДНАОП 0.00-1.07–94)
Тиск номінальний (Нд Тиск умовний)	Літерно-числове позначення, що характеризує надлишковий тиск, за якого забезпечується заданий термін служби арматури та з'єднань трубопроводів за температури робочого середовища 293 К (20 °С) (ДСТУ 3543–97). Позначення тиску складається з літерного сполучення «PN» та числової частини, що є значенням тиску в кг/см ² , на якій проведено розрахунок на міцність арматури та з'єднань трубопроводів за характеристиками

Тиск пробний	міцності вибраних матеріалів, що відповідають температурі 293 К (20 °С) (наприклад, PN10) Надлишковий тиск, при якому повинно проводитись гідравлічне випробування посудини або її елементів на міцність (щільність) (ДНАОП 0.00-1.07-94)
Тиск робочий	Максимальний надлишковий тиск за нормальних умов експлуатації (ДНАОП 0.00-1.07-94)
Тиск розрахунковий	Максимальний надлишковий тиск, на який здійснюється розрахунок посудини на міцність (ДНАОП 0.00-1.07-94)
Тиск умовний	Розрахунковий тиск при температурі 20 °С, який використовується при розрахунку на міцність стандартних посудин (вузлів, деталей, арматури) (ДНАОП 0.00-1.07-94).
Труба	Виріб відносно великої довжини кільцеподібної, овальної, багатокутної чи іншої форми порожнистого поперечного перерізу з повністю замкненим контуром (ДСТУ 2643-94)
Трубчатка	Частина теплообмінника, яка складається з трубного пучка й корпусу (кожуха) (ДСТУ 2582-94)
Цистерна	Пересувна посудина, яка постійно встановлена на рамі залізничного вагона, на шасі автомобіля (причепи) або на інших засобах пересування, та призначена для перевезення й зберігання газоподібних, рідких та інших речовин (ДНАОП 0.00-1.07-94)
Шайба	Кріпильний виріб з отвором, який підкладається під гайку або головку болта чи гвинта для збільшення опорної поверхні або запобігання самовідгвинчуванню (ДСТУ 2412-94)
Швидкість деформації	Швидкість зміни форми або розмірів тіла (ДСТУ 2328-93) Зміна деформації за одиницю часу (ДСТУ 2824-94), (ДСТУ 2825-94)
Швидкість деформування	Швидкість взаємного зміщення точок об'єкта під час його деформування (ДСТУ 2824-94), (ДСТУ 2825-94)
Швидкість навантаження	Зміна величини параметра механіки руйнування за одиницю часу (ДСТУ 2442-94)
Швидкість навантажування	Зміна навантаження за одиницю часу (ДСТУ 2824-94), (ДСТУ 2825-94)

Шпилька	Кріпильний виріб у формі стрижня з різьбою на обох кінцях, на усій довжині стрижня або на одному кінці стрижня (див. також ДСТУ 2412–94)
Шплінт	Кріпильний виріб у формі стрижня з дроту напівкруглого перерізу, складеного удвічі з кінцями різної довжини та утворенням головки (див. також ДСТУ 2412–94)
Штифт	Кріпильний виріб у формі циліндричного чи конічного стрижня, який служить для фіксації деталей при складанні (див. також ДСТУ 2412–94)
Штуцер	Елемент, призначений для приєднання до посудини трубопроводів, трубопровідної арматури, контрольно-вимірювальних приладів тощо (ДНАОП 0.00-1.07–94); штуцер звичайно складається з патрубка та фланця

ДОДАТОК Е

Допустимі напруження сталей

Властивості сталей подані за ГОСТ 34233.1–2017

Таблиця Е.1. Допустимі напруження для вуглецевих і низьколегованих марганцевистих і марганцевекрем'янистих сталей

Розрахункова температура стінки посудини або апарата, °С	Допустиме напруження [σ], МПа, для сталей марок													
	Ст3		09Г2С, 16ГС				20, 20К		10	10Г2, 09Г2	17ГС, 17Г1С, 10Г2С1			
	Товщина, мм													
	до 20	понад 20	до 32	понад 32	до 160									
	Розрахунковий ресурс, год.													
	10 ⁵	2 · 10 ⁵	10 ⁵	2 · 10 ⁵	10 ⁵	2 · 10 ⁵	10 ⁵	2 · 10 ⁵	10 ⁵	2 · 10 ⁵	10 ⁵	2 · 10 ⁵	10 ⁵	2 · 10 ⁵
20	154	140	196	183	147	130	180	183						
100	149	134	177	160	142	125	160	160						
150	145	131	171	154	139	122	154	154						
200	142	126	165	148	136	118	148	148						
250	131	120	162	145	132	112	145	145						
300	115	108	151	134	119	100	134	134						
350	105	98	140	123	106	88	123	123						
375	93	93	133	116	98	82	108	116						
400	85	68	122	105	92	74	77	61	92	78	105			
410	81	65	104	104	86	69	75	60	86	73	104			
420	75	60	92	92	80	64	72	57	80	68	92			
430	71*	57*	86	73	86	73	75	60	68	54	75	64	86	73
440	–	–	78	66	78	66	67	53	60	48	67	57	78	66
450	–	–	71	53	71	53	61	49	53	42	61	46	71	53
460	–	–	64	48	64	48	55	44	47	37	55	41	64	48
470	–	–	56	42	56	42	49	39	42	33	49	37	56	42
475	–	–	53	40	53	40	46	36	37	29	46	34	53	40

*Для розрахункової температури стінки 425 °С.

Примітки. 1. Якщо розрахункові температури нижчі від 20 °С, допустимі напруження беруть такими самими, як і за температури 20 °С для допустимого застосування матеріалу за цієї температури.

2. Для проміжних розрахункових температур стінки допустиме напруження визначають лінійною інтерполяцією з округленням результатів до 0,5 МПа у бік меншого значення.

3. Для сталі марки 20, якщо $R_T^{20} < 220$ МПа допустимі напруження, що зазначені в таблиці, помножують на відношення $R_T^{20} / 220$.

4. Для сталі марки 10Г2, якщо $R_{0,2}^{20} < 270$ МПа допустимі напруження, що зазначені в таблиці, помножують на відношення $R_{0,2}^{20} / 270$.

ДОДАТОК Ж

Розрахункові температури елементів фланцевих з'єднань

Таблиця Ж.1. Розрахункові температури елементів сталевих фланцевих
з'єднань [7]

Тип фланцевого з'єднання	Ізольовані фланці			Неізольовані фланці		
	t_{ϕ}	t_{κ}	t_{δ}	t_{ϕ}	t_{κ}	t_{δ}
Плоскі, приварні в стик	t	–	$0,97t$	$0,96t$	–	$0,95t$
З вільними кільцями	t	$0,97t$	$0,90t$	$0,96t$	$0,90t$	$0,81t$

В таблиці 4.4: t_{δ} – розрахункова температура болтів, °С; t_{κ} – розрахункова температура кільця, °С; t_{ϕ} – розрахункова температура фланця, °С.

Таблиця Ж.2. Розрахункові температури елементів алюмінієвих фланцевих
з'єднань [7]

Тип фланцевого з'єднання	Ізольовані фланці			Неізольовані фланці		
	t_{ϕ}	t_{κ}	t_{δ}	t_{ϕ}	t_{κ}	t_{δ}
Плоскі, приварні в стик	t	–	$0,95t$	$0,92t$	–	$0,84t$
З вільними кільцями	t	$0,95t$	$0,90t$	$0,92t$	$0,87t$	$0,75t$

ДОДАТОК И

Характеристики прокладок

Таблиця И.1. Характеристики основних типів прокладок [7]

Тип і матеріал прокладки	Коефіцієнт прокладки m	Питомий тиск обтиснення прокладки $q_{обт}$, МПа.	Допустимий питомий тиск $[q]$, МПа	Коефіцієнт обтиснення $K_{обж}$	Умовний модуль стиснення прокладки $E_{п} \cdot 10^{-5}$, МПа
Плоска неметалева прокладка із: стали за ГОСТ 7338 з твердістю по Шору А до 65 одиниць	0,5	2,0	18,0	0,04	$0,3 \cdot 10^{-4} \left(1 + \frac{b_n}{2h_n}\right)$
стали за ГОСТ 7338 з твердістю по Шору А більш 65 одиниць	1,0	4,0	20,0	0,09	$0,4 \cdot 10^{-4} \left(1 + \frac{b_n}{2h_n}\right)$
пароніту за ГОСТ 481 при товщині не більш 2...3 мм	2,5	20,0 ¹⁾	130,0	0,90	0,02
картону азбестового за ГОСТ 2850 при товщині 1...3 мм	2,5	20,0	130,0	0,90	0,02
фторопласту 4 при товщині 1...3 мм	2,5	10,0	40,0	1,00	0,02
терморасширенного графітового матеріалу (типу "Графлекс") з обтюратором	2,0	4,0 ²⁾	200,0	1,00	0,02
терморасширенного графітового матеріалу (типу "Графлекс") без обтюратора	2,5	4,0 ²⁾	120,0, якщо $h_n = 2$ мм; 100,0, якщо $h_n = 3$ мм	1,00	0,02
Плоска металева прокладка із: алюмінію марки АД за ГОСТ 21631	4,0	60,0			
латуні марки Л63 за ГОСТ 2208	4,75	90,0			
сталі марки 05кп за ГОСТ 9045	5,5	125,0			

Продовження табл. И.1

Тип і матеріал прокладки	Коефіцієнт прокладки m	Питомий тиск обтиснення прокладки $q_{обт}$, МПа.	Допустимий питомий тиск $[q]$, МПа	Коефіцієнт обтиснення $K_{обж}$	Умовний модуль стиснення прокладки $E_{п} \cdot 10^{-5}$, МПа
Плоска прокладка з азбесту за ГОСТ 2850 у оболонці з : алюмінію	3,25	38,0	—	—	—
міді і латуні	3,5	46,0	—	—	—
сталі марки 05кп	3,75	53,0	—	—	—
сталі марки 12X18H10T	3,75	63,0	—	—	—
Плоска спіральна-навіта прокладка із стрічкою з: неіржавіючої сталі	3,0	69,0	—	—	—
вуглецевої сталі	2,5	69,0	—	—	—
Кільце з овальним або восьмигранним перерізом із: сталі марки 05кп за ГОСТ 9045 або 08X13 за ГОСТ 5632	5,5	125,0	—	—	—
сталі марки 08X18H10T	6,5	180,0	—	—	—
<p>¹⁾Для середовищ з високою проникаючою здатністю (водню, гелію, легких нафтопродуктів, зріджених газів і т. ін.) $q_{обт} = 35,0$ МПа.</p> <p>²⁾Для прокладок ТРГ величина питомого тиску обтиснення прокладки $q_{обт}$ дійсна лише за відсутності консистентних мастил на привальних поверхнях фланців</p>					

ДОДАТОК К

Площа поперечного перерізу болта (шпильки)

Таблиця К.1. Площа поперечного перерізу болта (шпильки)

Діаметр болта (шпильки), мм	M10	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
Площа поперечного перерізу болтів (шпильок) без проточки $f_b \cdot 10^6, \text{ м}^2$	52,2	76,2	144,0	225,0	281,5	324,0	430,0	520,0
Площа поперечного перерізу болтів (шпильок) з проточкою $f_b \cdot 10^6, \text{ м}^2$	47,8	70,9	133,0	201,0	254,5	314,0	380,0	452,0
Діаметр болта (шпильки), мм	M36	M42	M48	M52	M56	M60	M64	M68
Площа поперечного перерізу болтів (шпильок) без проточки $f_b \cdot 10^6, \text{ м}^2$	760,0	1045,0	1376,0	1652,0	1905,0	2227,0	2520,0	2888,0
Площа поперечного перерізу болтів (шпильок) з проточкою $f_b \cdot 10^6, \text{ м}^2$	707,0	962,0	1257,0	1521,0	1810,0	2124,0	2290,0	2463,0

ДОДАТОК Л

Фізичні і механічні властивості кріпильних матеріалів

Таблиця Л.1. Модулі поздовжньої пружності кріпильних матеріалів

Марка сталі або сплаву	Модуль поздовжньої пружності $E \cdot 10^{-5}$, МПа при температурі t , °С									
	20	100	200	300	400	450	500	550	600	650
10, 20, 25, 30, 35, 40	2,13	2,10	1,98	1,90	1,85	1,82	1,79	–	–	–
35Х, 40Х, 15ХМ, 30ХМА, 35ХМ	2,18	2,15	2,08	2,01	1,92	1,86	1,79	–	–	–
12Х1МФ, 25Х1МФ, 25Х2М1Ф, 20Х1М1Ф1ТР, 20Х1М1Ф1БР, 20ХНЗА	2,15	2,12	2,08	2,02	1,94	1,89	1,83	1,77	1,70	–
20Х13, 15Х11МФ, 20Х12ВНМФ, 18Х11МНФБ, 1Х12Н2ВМФ, 18Х12ВМБФР	2,28	2,22	2,13	2,05	1,93	1,89	1,84	1,75 ¹⁾	1,70	
12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 08Х16Н13М2Б, 31Х19Н9МВБТ, ХН35ВТ	2,05	2,02	1,97	1,90	1,81	1,80	1,73	1,70	1,65	1,60
07Х16Н6	2,08	2,01	1,92	1,83	1,73	1,68	1,62			
07Х21Г7АН5	2,13	2,00	1,93	1,89	1,83	–	–	–	–	–
10Х11Н22Т3МР (ЭИ696М)	1,9	1,81	1,69	1,58	1,48	1,42	1,37	1,33	1,31	1,30
Д16	0,71	0,67	0,59	–	–	–	–	–	–	–

¹⁾ При $t = 565$ °С модуль поздовжньої пружності $E = 1,73 \cdot 10^5$ МПа.

Таблиця Л.2. Коефіцієнти лінійного розширення кріпильних матеріалів

Марка сталі або сплаву	Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha_t 10^6, 1/^\circ\text{C}$ при температурі $t, ^\circ\text{C}$					
	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500	20–600
10, 20, 25, 30, 35	11,1	11,9	–	13,4	–	–
40	11,3	12,0	13,3	13,3	–	–
20X13	10,4	10,9	11,4	11,8	–	–
14X17H2	10,6	10,8	11,0	11,1	11,3	–
35X, 40X, 38XA	13,4	13,3	–	14,8	–	–
20XH3A	11,0	12,0	13,0	13,5	14,0	14,5
30XMA	12,3	12,6	12,9	13,9	–	14,4
25X1MФ	11,3	12,7	–	13,9	–	14,6
25X2M1Ф	12,5	12,9	13,3	13,7	14,0	14,7
18X12BMБФР	11,2	11,3	11,4	11,8	12,0	–
37X12H8Г8МБФ	15,9	18,0	19,2	21,5	22,4	21,0
12X18H10T, 10X17H13M2T	16,6	17,0	18,0	18,0	18,0	–
45X14H14B2M	–	17,0	–	18,0	–	18,0
XH35BT	14,8	15,1	15,5	15,9	16,1	16,6
08X15H24BA4TP	14,5	15,5	16,3	16,8	17,2	17,4
07X16H16	11,2	11,9	12,1	12,5	12,9	–
07X21Г7АН5	15,4	16,0	16,8	17,3	–	–
Д16	22,7	23,4	–	–	–	–

ДОДАТОК М

Коефіцієнт β_V для фланцевих з'єднань з приварними встик фланцями з кінчною втулкою

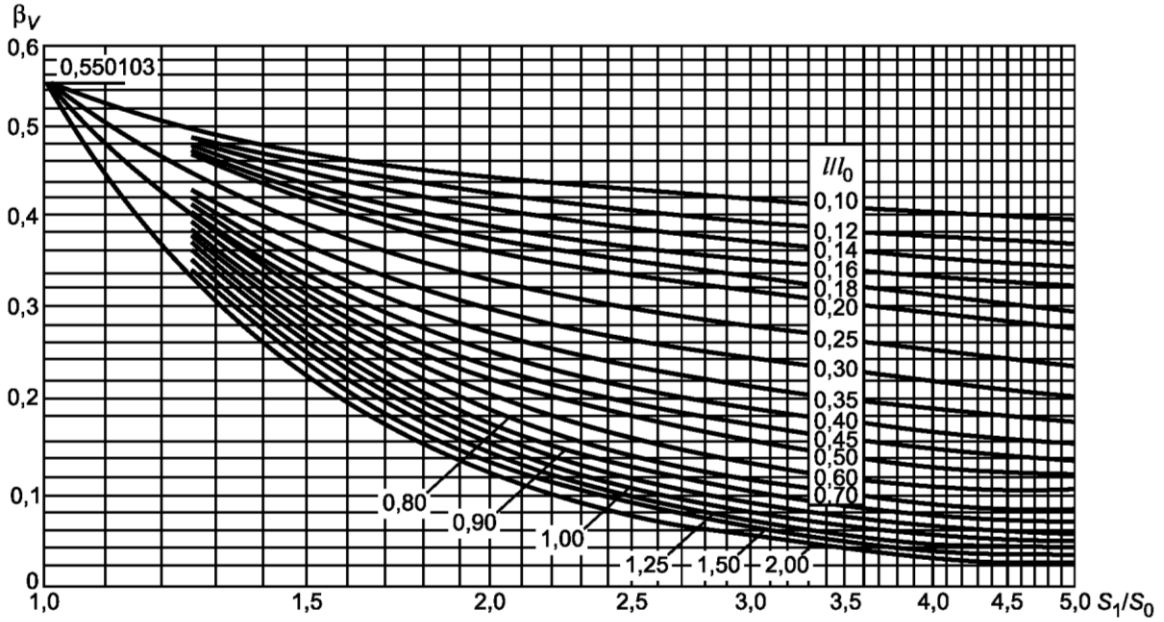


Рисунок М.1 – Графік для визначення коефіцієнта β_V для фланцевих з'єднань з приварними встик фланцями з кінчною втулкою

ДОДАТОК Н

Модулі поздовжньої пружності в умовах розтягу

Таблиця Н.1. Модулі поздовжньої пружності в умовах розтягу за
ГОСТ 34233.1–2017

Матеріал	Модуль поздовжньої пружності $E \cdot 10^{-5}$, МПа, при температурі, °С													
	20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
Вуглецеві й низьколеговані сталі	1,99	1,91	1,86	1,81	1,76	1,71	1,64	1,55	1,40	–	–	–	–	–
Теплотривкі й корозієстійкі хромисті сталі	2,15	2,15	2,05	1,98	1,95	1,90	1,84	1,78	1,71	1,63	1,54	1,40	–	–
Жароміцні і жаростійкі аустенітні сталі і сплави на залізонікелевій основі	2,00	2,00	1,99	1,97	1,94	1,90	1,85	1,80	1,74	1,67	1,60	1,52	1,43	1,32
Алюміній і його сплави	0,72	0,69	0,67	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Мідь	1,24	1,21	1,19	1,17	1,15	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Сплави на основі міді	1,05	1,02	1,00	0,98	0,97	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Титан	1,15	1,10	1,06	1,01	0,95	0,88	–	–	–	–	–	–	–	–
Сплави титану	1,10	1,06	1,02	0,96	0,90	0,83	0,76	0,70	–	–	–	–	–	–

ДОДАТОК П

Коефіцієнти $\beta_T, \beta_U, \beta_Y, \beta_Z$

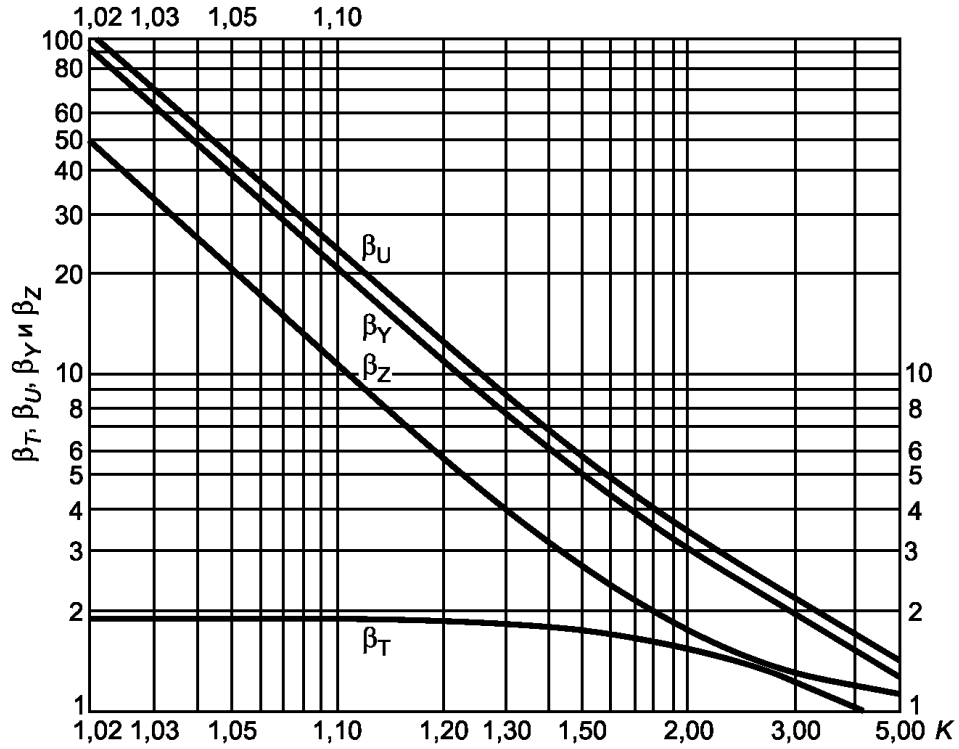


Рисунок П.1 – Графік для визначення коефіцієнтів $\beta_T, \beta_U, \beta_Y, \beta_Z$
(K – відношення зовнішнього діаметра тарілки фланця до внутрішнього діаметра)

ДОДАТОК Р

Коефіцієнт β_F для фланцевих з'єднань з приварними встик фланцями
з кінчною втулкою

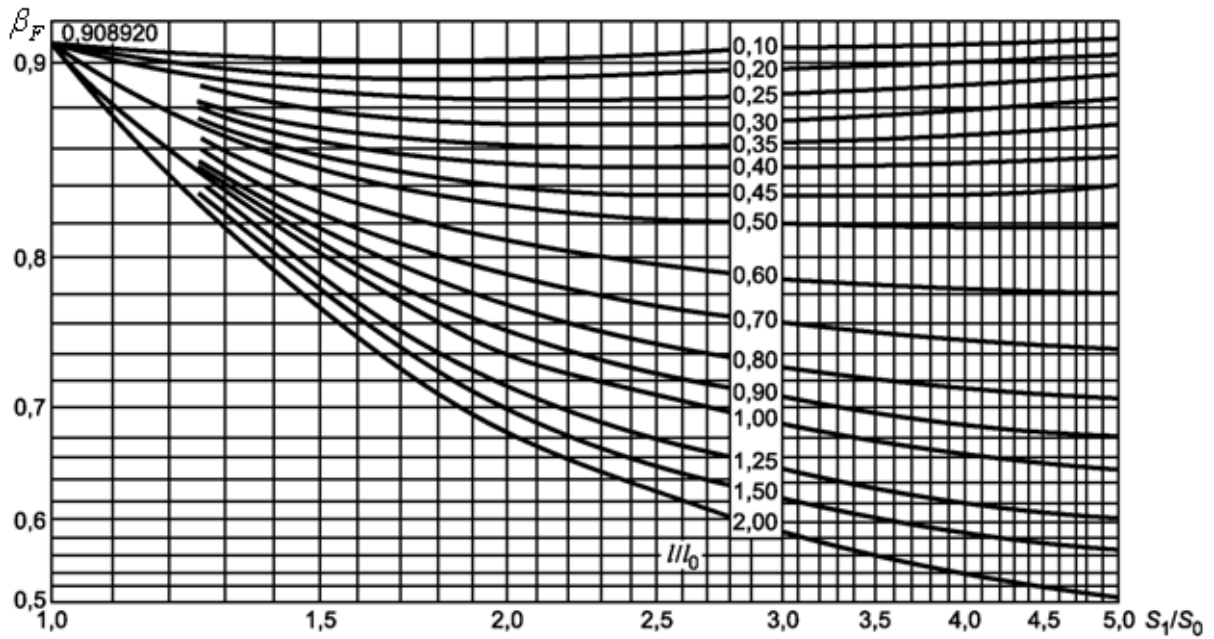


Рисунок Р.1 – Графік для визначення коефіцієнта β_F для фланцевих з'єднань з приварними встик фланцями з кінчною втулкою

ДОДАТОК С

Коефіцієнт ζ

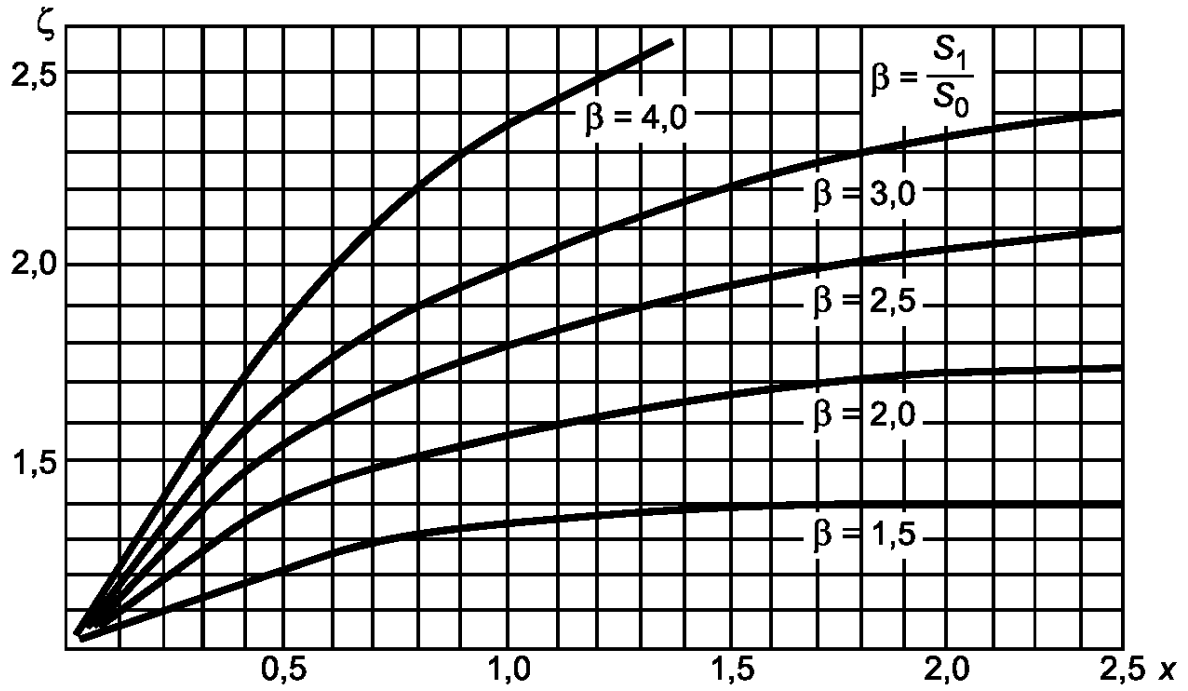


Рисунок С.1 – Графік для знаходження коефіцієнта ζ

ДОДАТОК Т
Шайби за ГОСТ 11371

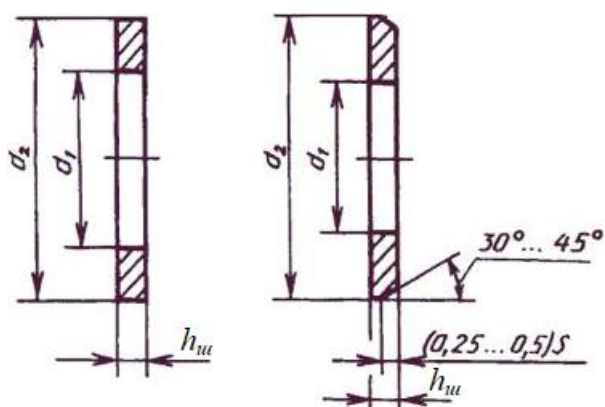


Рисунок Т.1 – Шайби виконання 1 (а) і виконання 2 (б)

Таблиця Т.1. Розміри шайб [9]

Діаметр різьби кріпильної деталі d , мм	d_1 , мм		d_2 , мм	$h_{ш}$, мм
	Клас точності			
	С	А		
1,0	1,2	1,1	3,5	0,3
1,2	1,4	1,3	4,0	
1,4	1,6	1,5		
1,6	1,8	1,7		
2,0	2,4	2,2		
2,5	2,9	2,7	6,0	0,5
3,0	3,4	3,2	7,0	
3,5	—	3,7	8,0	
4,0	4,5	4,3	9,0	0,8
5,0	5,5	5,3	10,0	1,0
6,0	6,6	6,4	12,0	1,6
8,0	9,0	8,4	16,0	
10,0	11,0	10,5	20,0	
12,0	13,5	13,0	24,0	2,5
14,0	15,5	15,0	28,0	
16,0	17,5	17,0	30,0	
18,0	20,0	19,0	34,0	3,0
20,0	22,0	21,0	37,0	
22,0	24,0	23,0	39,0	
24,0	26,0	25,0	44,0	

Продовження табл. Т.1

Діаметр різьби кріпильної деталі d , мм	d_1 , мм		d_2 , мм	$h_{ш}$, мм
	Клас точності			
	С	А		
27,0	30,0	28,0	50,0	4,0
30,0	33,0	31,0	56,0	
33,0	–	34,0	60,0	5,0
36,0	39,0	37,0	66,0	
39,0	–	40,0	72,0	6,0
42,0	45,0	43,0	78,0	7,0
48,0	52,0	50,0	92,0	8,0

ДОДАТОК У

Номінальні допустимі напруження для болтів (шпильок)

Таблиця У1. Номінальні допустимі напруження для болтів (шпильок)

Розрахункова температура болтів (шпильок), °С	Номінальне допустиме напруження болтів (шпильок), МПа							
	Марки матеріалу							
	35, 40	12X18H10T, 10X17H13M2T	45X14H14B2M	20X13	35X, 40X, 38XA, 37X12H8Г8МБФ, 20ХН3А	30ХМА	25Х1МФ	Алюмінієвий сплав Д16
20	130,0	110,0	160,0	195,0	230,0	230,0	238,0	83
100	126,0	105,0	150,0	182,0	230,0	230,0	227,0	80
200	120,0	98,0	150,0	165,0	225,0	200,0	217,0	76
250	107,0	95,0	144,0	158,0	222,0	182,0	210,0	–
300	97,0	90,0	139,0	150,0	222,0	174,0	199,0	–
350	86,0	86,0	128,0	147,0	185,0	166,0	185,0	–
375	80,0	85,0	128,0	146,0	175,0	166,0	180,0	–
400	75,0	83,0	128,0	145,0	160,0	166,0	175,0	–
425	68,0	82,0	125,0	143,0	156,0	161,0	168,0	–
450	–	80,0	123,0	142,0	–	156,0	161,0	–
475	–	79,0	120,0	140,0	–	–	132,0	–
500	–	78,0	118,0	–	–	–	73,0	–
510	–	75,0	117,0	–	–	–	62,0	–
520	–	73,0	116,0	–	–	–	–	–
530	–	70,0	115,0	–	–	–	–	–
540	–	65,0	114,0	–	–	–	–	–
550	–	63,0	113,0	–	–	–	–	–
600	–	56,0	–	–	–	–	–	–

Продовження табл. У.1

Розрахункова температура болтів (шпильок), °С	Номінальне допустиме напруження болтів (шпильок), МПа							
	Марки матеріалу							
	25Х2М1Ф	20Х1МФ1БР	18Х12ВМБРФ	14Х17Н2	07Х16Н6	07Х21Г7АН5	ХН35ВТ	08Х15Н24ВА4ТР
20	238,0	238,0	238,0	232,0	321,0	191,0	208,0	231,0
100	232,0	234,0	234,0	230,0	314,0	145,5	196,0	226,0
200	231,0	224,0	231,0	220,0	312,5	144,5	186,0	221,0
250	224,0	213,0	227,0	218,0	309,5	131,0	186,0	219,0
300	220,0	202,0	227,0	209,0	307,0	118,0	186,0	217,0
350	213,0	185,0	220,0	207,0	307,0	115,5	186,0	215,0
375	209,0	183,0	216,0	–	–	114,0	186,0	214,0
400	206,0	182,0	213,0	–	–	113,0	186,0	213,0
425	202,0	178,0	208,0	–	–	–	186,0	213,0
450	199,0	175,0	203,0	–	–	–	186,0	213,0
475	195,0	171,0	196,0	–	–	–	186,0	213,0
500	139,0	145,0	172,0	–	–	–	186,0	208,0
510	128,0	138,0	164,0	–	–	–	185,0	205,0
520	117,0	131,0	156,0	–	–	–	184,0	202,0
530	107,0	124,0	147,0	–	–	–	183,0	199,0
540	64,0	117,0	139,0	–	–	–	181,0	196,0
550	–	110,0	131,0	–	–	–	180,0	195,0
560	–	103,0	122,0	–	–	–	165,0	183,0
570	–	–	–	–	–	–	150,0	171,0
580	–	–	–	–	–	–	135,0	169,0
590	–	–	–	–	–	–	120,0	157,0
600	–	–	–	–	–	–	115,0	147,0
610	–	–	–	–	–	–	110,0	–
620	–	–	–	–	–	–	105,0	–
630	–	–	–	–	–	–	100,0	–
640	–	–	–	–	–	–	94,0	–
650	–	–	–	–	–	–	88,0	–

ДОДАТОК Ф

Коефіцієнт f

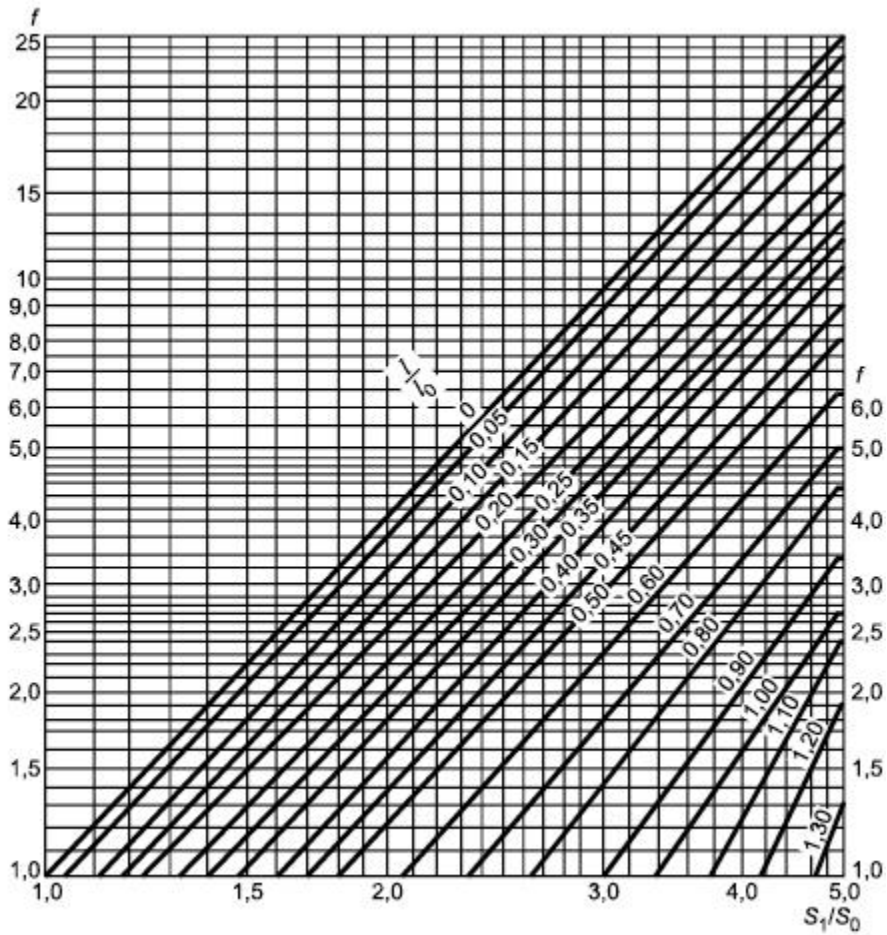


Рисунок Ф.1 – Графік для визначення коефіцієнта f