

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

Розрахунок і конструювання несучих елементів конструкцій

**Рекомендації до виконання
розрахунково-графічної роботи**

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування
обладнання хімічної інженерії»
спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Укладачі: І. А. Андреев, О. В. Гусарова

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО
2024

УДК 621.01–66.05

Укладачі: *Андреев Ігор Анатолійович*, канд. техн. наук, доц.
Гусарова Олена Віталіївна, канд. техн. наук, ст. викл.

Рецензент *Сорокова Наталія Миколаївна*, д-р. техн. наук., с. н. с., проф.

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

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 5 від 29.02.2024 р.)
за поданням вченої ради інженерно-хімічного факультету
(протокол № 2 від 26.02.2024 р.)*

Розрахунок і конструювання несучих елементів конструкцій [Електронний ресурс]: рек. до виконання розрахунк.-граф. роботи: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» спец. 133 Галузеве машинобудування / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: І. А. Андреев, О. В. Гусарова. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 75 с.

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

УДК 621.01–66.05

Реєстр. № 23/24-342. Обсяг 1,3 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024

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 ДО РОЗРАХУНКОВО- ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ	22
6.1 Розрахункові параметри і допустимі напруження.....	22
6.2 Рекомендації щодо виконання розрахунків.....	29
7 АЛГОРИТМ І ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ОБИЧАЙКИ В МІСЦІ РОЗТАШУВАННЯ СІДЛОВОЇ ОПОРИ	30
7.1 Розрахункові моделі та схеми посудин.....	30
7.2 Алгоритм і приклад розрахунку несучої здатності обичайки в місці розташування сідлової опори.....	34
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	52
ДОДАТОК А. Зразок завдання на розрахунково-графічну роботу	54
ДОДАТОК Б. Завдання на розрахунково-графічну роботу.....	55
ДОДАТОК В. Зразок змісту розрахунково-графічної роботи	58

ДОДАТОК Г. Зразок титульного листа пояснювальної записки розрахунково-графічної роботи.....	59
ДОДАТОК Д. Основні стандартизовані і загальноживані в науково- технічній літературі терміни та визначення	60
ДОДАТОК Е. Допустимі напруження сталей	70
ДОДАТОК Ж. Коефіцієнти міцності зварних швів	72
ДОДАТОК К. Модулі поздовжньої пружності в умовах розтягу.....	73
ДОДАТОК Л. Коефіцієнти ϑ_1 і ϑ_2	74
ДОДАТОК М. Зведена довжина циліндричної обичайки.....	75

ВСТУП

Розрахунково-графічна робота виконується студентами під час вивчення навчальної дисципліни «Розрахунок і конструювання несучих елементів конструкцій» і спрямована на застосування отриманих знань при проектуванні і конструюванні обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв.

На розрахунково-графічну роботу вноситься перевірочний розрахунок несучої здатності обичайки в місці розташування сідлової опори.

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 опори посудини або апарата хімічних і нафтопереробних виробництв;
- обґрунтування вибору матеріалів для виготовлення опорного вузла посудини або апарата;
- визначення розмірів окремих елементів опорного вузла 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 несучі елементи посудин та апаратів, конструкції і розрахунок яких викладається студентам при вивченні дисциплін «Розрахунок і конструювання несучих елементів конструкцій».

Текст завдання підписується студентом, що буде виконувати розрахунково-графічну 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 опорного вузла, технічну характеристику і розрахунки, які підтверджують працездатність і надійність вузла, 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 опорного вузла»

Наводиться опис конструкції опорного вузла і надається його схема.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ «Технічна характеристика опорного вузла»

Подаються основні технічні характеристики опорного вузла (граничні тиск, температура, габаритні розміри, маса та інші параметри).

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ «Розрахунки, які підтверджують працездатність та надійність опорного вузла»

Розділ містить розрахунок несучої здатності обичайки в місці розташування сідлової опори.

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

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

5 РЕКОМЕНДАЦІЇ 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 розрахунково-графічну 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 опорного вузла**

4.1 Розрахунок несучої здатності обичайки під опорою

Мета розрахунку

5.2 Виклад тексту пояснювальної записки

Для однозначного тлумачення найрізноманітніших понять необхідно вживати стандартизовані терміни й скорочення, а за їх відсутності – загальноповживані 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/м^3 , обчислюють за формулою

$$\rho = m/V,$$

де m – маса зразка, кг ;

V – об'єм зразка, м^3 .

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.

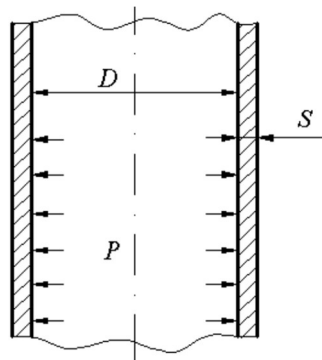


Рисунок 4.1 – Схема циліндричної обичайки корпусу апарата

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 стінки при розрахунковій температурі $[\sigma]$, МПа	134,5;
довжина каналів L , м	25;
швидкість корозії P , 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. Віброкструзійний 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 віброкструзії 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.modern techno.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 ДО РОЗРАХУНКОВО- ГРАФІЧНОЇ 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 короткочасного 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

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

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

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

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

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

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

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

– для аустенітних сталей

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

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_{Π} – 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 - 9].

Значення коефіцієнтів міцності зварних швів за ГОСТ 34233.1–2017 [4] наведено в додатку Ж.

Значення модулів поздовжньої пружності в умовах розтягу за ГОСТ 34233.1–2017 [4] наведено в додатку К.

Алгоритм і приклад розрахунку несучої здатності обичайки в місці розташування сідлової опори наведені у наступному розділі.

7 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ОБИЧАЙКИ В МІСЦІ РОЗТАШУВАННЯ СІДЛОВОЇ ОПОРИ

7.1 Розрахункові моделі та схеми посудин

Сідлові опори застосовуються для горизонтальних посудин або апаратів. Кількість сідлових опор визначається розрахунком залежно від довжини і маси посудини. Розрахункові моделі посудин наведені на рис. 7.1.

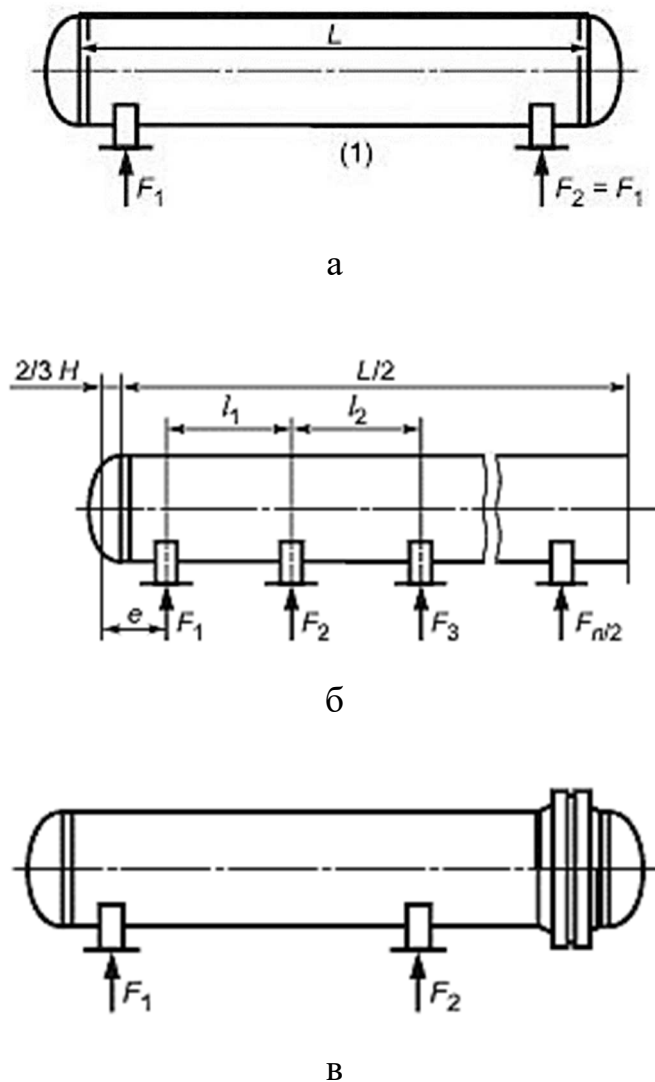


Рисунок 7.1 – Розрахункові моделі посудин, що опираються симетрично на 2 опори (а), симетрично на 3 або більше опор (б) і такої, що опирається на опори несиметрично (в)

Одна з опор нерухома (приварна), решта – рухомі (кріпляться болтами, а отвори під фундаментні болти виконуються овальними). Така конструкція дозволяє посудині вільно подовжуватися при високих температурах.

Відстань між нерухомою та рухомими опорами вибирається така, щоб температурне подовження посудини між суміжними опорами не перевищувала 35 мм.

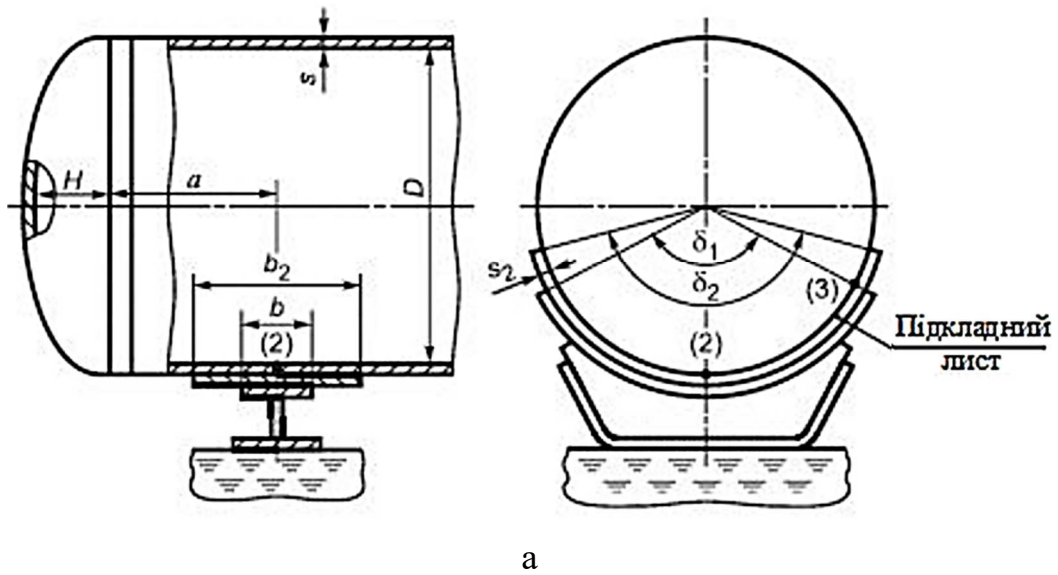
Регульовальні болти допускають навантаження на одну опору при незаповненій посудині не більше 160 кН.

Зварювання деталей сідлових опор між собою виконується суцільним одностороннім нахлистовим або кутовим двостороннім швом. Зварювання опори суцільним одностороннім швом без підкладного (опорного) листа безпосередньо до корпусу посудини допускається лише для посудин з зовнішніми діаметрами від 159 до 630 мм.

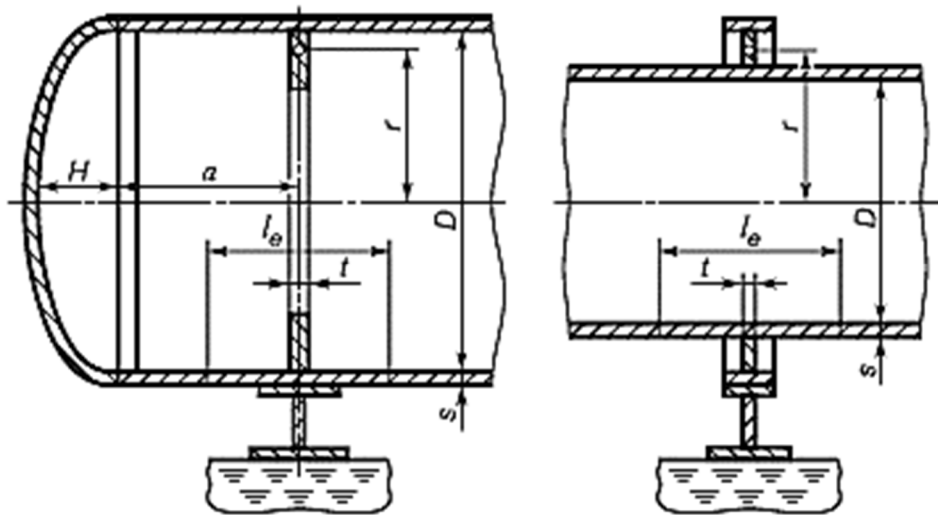
Фундаментні болти рухомої опори повинні мати контргайки і не затягуватися. При цьому зазор між гайкою та опорою має бути 1...2 мм.

Дуже важкі посудини встановлюють на катки, тому що зусилля опору може бути дуже великим.

За основну розрахункову схему для визначення опорних зусиль, моментів і поперечних зусиль приймають балку змінного кільцевого перерізу, шарнірно оперту в місцях розташування опор і навантажену в загальному випадку розподіленими і зосередженими зусиллями залежно від конструкції посудини. Розрахункові зусилля і моменти визначають методами будівельної механіки.



а



б

Рисунок 7.2 – Циліндрична обичайка не підкріплена кільцями жорсткості (а) і циліндрична обичайка підкріплена кільцями жорсткості (б)

На рис. 7.3 подані можливі розрахункові схеми для циліндричної посудини постійного перерізу з еліптичними днищами, симетрично опертої на дві, три і більше опори.

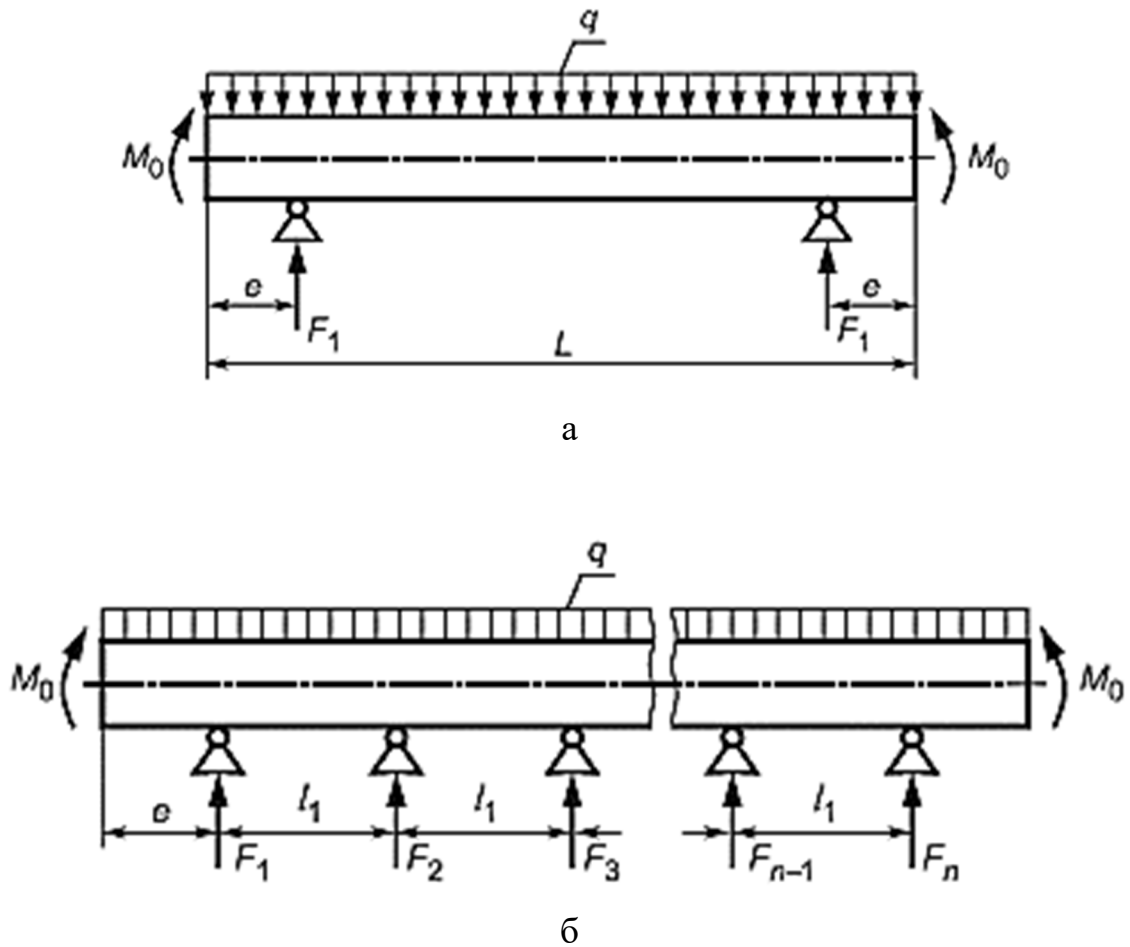


Рисунок 7.3 – Розрахункові схеми: однопролітна балка (а), багатопролітна балка (б)

Якщо застосовуються симетрично розташовані опори, то навантаження від маси посудини і її вмісту приймають такою, що розподілена рівномірно, навіть якщо одна опора дасть більшу осадку, ніж інша.

Конструктивні схеми посудин для визначення розрахункової довжини l_R наведено на рисунку 7.4.

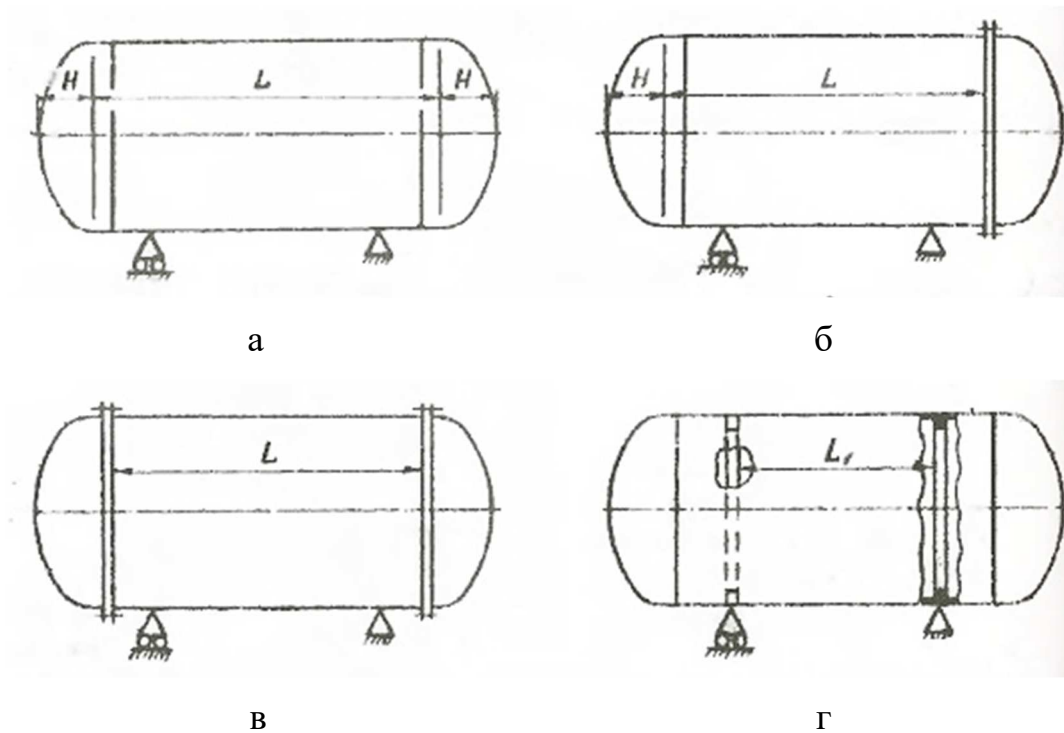


Рисунок 7.4 – Конструктивні схеми розрахункової довжини l_R : а) опуклі днища, приварені з двох боків до циліндричної обичайки ($l_R = L + \frac{4H}{3}$); б) опукле днище, з одного боку приварене до циліндричної обичайки, з другого – за допомогою фланця ($l_R = L + \frac{2H}{3}$); в) опуклі днища, приєднані до обичайки за допомогою фланців ($l_R = L$); г) у місцях опор приварені кільця жорсткості ($l_R = L_1$)

7.2 Алгоритм і приклад розрахунку несучої здатності обичайки в місці розташування сідлової опори

Перевірити для робочих умов несучу спроможність (міцність та стійкість) циліндричної обичайки горизонтального апарата, який спирається на сідлові опори за розрахунковою моделлю «б» (див. рис. 7.1, б). Число опор $n = 3$.

Апарат навантажено внутрішнім тиском середовища $p = 0,4$ МПа. Внутрішній діаметр апарата $D = 2$ м, товщина стінки $S = 0,004$ м, додаток до розрахункової товщини $C = 0,0011$ м. Довжина циліндричної частини корпусу $L = 10,9$ м (див. рис. 7.1, б). Відстань від краю циліндричної частини

до осі крайньої опори $a = 1,35$ м (див. рис. 7.2, а). Відстань між опорами $l_1 = l_2 = 4,1$ м. Кут охоплення обичайки опорним листом $\delta_1 = 120^\circ$, ширина опорного листа $b = 0,3$ м (див. рис. 7.2, а). Розрахункова схема – багатопролітна балка (рис. 7.3, б). Конструктивна схема апарата – «а» (див. рис. 7.4, а).

Днище апарата еліптичне стандартне. Внутрішня висота опуклої частини днища $H = 0,5$ м. Матеріал корпусу апарата – сталь ВСтЗсп: $[\sigma] = 140$ МПа, $E = 1,9 \cdot 10^5$ МПа. Вага заповненого середовищем апарата $G = 0,35$ МН.

У разі необхідності приварити підкладний лист шириною $b_2 = 0,45$ м, товщиною $S_2 = S = 0,004$ м, з кутом охоплення посудини $\delta_2 = 150^\circ$.

Зварювання деталей сідлових опор між собою виконується кутовим двостороннім швом автоматичним зварюванням, довжина швів, що контролюються, становить 50 % від загальної довжини.

Коефіцієнт міцності зварного шва $\varphi = 0,9$. Відстань від опори до найближчого зварного шва $f = 0,11$ м. Коефіцієнт запасу стійкості $n_y = 2,4$.

Приклад розрахунку несучої здатності обичайки в місці розташування сідлової опори за ГОСТ 34233.5-2017 [7] наведено в таблиці 7.1.

Теоретичні відомості та алгоритм розрахунку несучої здатності обичайки в місці розташування сідлової опори наведено в [9].

При перевірці умови міцності визначаються допустимі навантаження $[p]$, $[F]$, $[M]$, $[Q]$, які слід розраховувати відповідно до ГОСТ 34233.2-2017 [10].

Опори повинні відповідати ОСТ 26-2091-93 Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов. Конструкция, размеры и технические требования [11].

Таблиця 7.1 Алгоритм і приклад розрахунку несучої здатності обичайки в місці розташування сідлової опори

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
1	Допустиме напруження матеріалу обичайки за розрахункової температури $[\sigma]$, МПа	$[\sigma]$ визначають за таблицями Додатку Е залежно від матеріалу, з якого виконана обичайка і за розрахункової температури	Для сталі марки ВСтЗсп допустиме напруження $[\sigma]=140$ МПа
2	Коефіцієнт міцності зварного шва φ	φ визначають за таблицею Ж.1 Додатку Ж залежно від виду зварного шва та довжини швів, що контролюються	Для кутового двостороннього шва з автоматичним зварюванням, коли довжина швів, що контролюються, становить 50 % від загальної довжини $\varphi = 0,9$
3	Модуль пружності в умовах розтягу за розрахункової температури E , МПа	E визначають за таблицями Додатку К залежно від матеріалу, з якого виконана обичайка і розрахункової температури	Для сталі марки ВСтЗсп $E = 1,9 \cdot 10^5$ МПа
4	Перевірка застосування розрахункових формул	$60^\circ \leq \delta_1 \leq 180^\circ;$ $\frac{S - C}{D} \leq 0,05;$ $S_2 \geq S;$	$60^\circ \leq 120^\circ \leq 180^\circ$ $\frac{0,004 - 0,0011}{2} = 0,0014 \leq 0,05$ $S_2 = 0,004 \text{ м} = S$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
		$\delta_2 \geq \delta_1 + 20^\circ$	$\delta_2 = 150^\circ > 120^\circ + 20^\circ$ Умови виконуються
5	Розподілене вагове навантаження для наведеної на рис. 7.3, б балки, q , МН/м	$q = \frac{G}{L + \frac{4}{3}H}$	$q = \frac{0,35}{10,9 + \frac{4}{3} \cdot 0,5} = 0,0303 \text{ МН/м}$
6	Розрахунковий згинальний момент, що діє на консольну частину обичайки, M_o , МН · м	$M_o = q \frac{D^2}{16}$	$M_o = 0,0303 \frac{2^2}{16} = 0,0076 \text{ МН} \cdot \text{м}$
7	Опорне вертикальне зусилля без урахування додаткових зовнішніх сил (для симетричних схем розташування опор, наведених на рис. 7.3, б), F_i , МН	$F_i = \frac{G}{n}$	$F_1 = F_2 = F_3 = \frac{0,35}{3} = 0,1167 \text{ МН}$

Продовження табл. 7.1

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
8	Довжина вільно виступаючої частини еквівалентної посудини, e , м.	$e = a + \frac{2}{3}H$	$e = 1,35 + \frac{2}{3}0,5 = 1,68 \text{ м}$
9	Згинальні моменти M_l і M_n над 1-ю і n -ю опорами (для схеми балки, наведеної на рис. 7.3, б), МН·м	$M_1 = M_n = \max\left(\frac{qe^2}{2} - M_o; \frac{ql_1^2}{8}\right)$	$M_1 = M_3 = \max\left(\frac{0,0303 \cdot 1,68^2}{2} - 0,0076; \frac{0,0303 \cdot 4,1^2}{8}\right) =$ $= \max(0,0353; 0,0636)$ $M_1 = M_3 = 0,0636 \text{ МН} \cdot \text{м}$
10	Згинаючий момент M_i над опорами, МН·м	$M_i = \frac{ql_1^2}{8}$	$M_2 = \frac{0,0303 \cdot 4,1^2}{8} = 0,0636 \text{ МН} \cdot \text{м}$ $M_i = \max(M_1; M_2; M_3) = 0,0636 \text{ МН} \cdot \text{м}$
11	Поперечне зусилля в перерізі оболонки над опорами, Q_i , МН	$Q_i = 0,5F_i$	$Q_i = 0,5 \cdot 0,1167 = 0,0583 \text{ МН}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
12	Коефіцієнт міцності зварного шва φ	Якщо $f > \sqrt{D(S - c)}$, то $\varphi = 1,0$ Якщо $f \leq \sqrt{D(S - c)}$, то φ за умовою задачі	$\sqrt{2(0,004 - 0,0011)} = 0,0762$ м $0,11 > 0,0762$ $\varphi = 1,0$
13	Для такої розрахункової схеми перевірка несучої спроможності обичайки у перерізі між опорами не робиться. Максимальний момент M_y між опорами для схеми розташування опор, представленої на рисунку 7.3, б, визначати не потрібно.		
14	Далі розрахунок ведеться аналогічно, як і для варіанту з 2-ма сідловими опорами, без підкладного листа та кільця жорсткості.		
15	Параметр, що визначається відстанню від середини опори до днища, γ	$\gamma = 2,83 \frac{a}{D} \sqrt{\frac{S - C}{D}}$	$\gamma = 2,83 \frac{1,35}{2} \sqrt{\frac{0,004 - 0,0011}{2}} = 0,0727$
16	Параметр, який визначається шириною поясу опори, β_1	$\beta_1 = 0,91 \frac{b}{\sqrt{D(S - C)}}$	$\beta_1 = 0,91 \frac{0,3}{\sqrt{2(0,004 - 0,0011)}} = 3,5847$
17	Коефіцієнти, що враховують вплив ширини поясу опори, K_{10} та K_{11}	$K_{10} = \max \left\{ \frac{\exp(-\beta_1) \sin \beta_1}{\beta_1}; 0,25 \right\}$	$K_{10} = \max \left\{ \frac{\exp(-3,5847) \sin 3,5847}{3,5847}; 0,25 \right\} = \max \{-0,0033; 0,25\} = 0,25$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
		$K_{11} = \frac{1 - \exp(-\beta_1)\cos\beta_1}{\beta_1}$	$K_{11} = \frac{1 - \exp(-3,5847)\cos 3,5847}{3,5847} = 0,286$
18	Коефіцієнти, що враховують вплив кута охоплення K_{12}, K_{13}, K_{14} <i>Примітка - кут δ_1 беремо у радіанах!</i>	$K_{12} = \frac{1,15 - 0,1432\delta_1}{\sin(0,5\delta_1)},$ $K_{13} = \frac{\max\left\{1,7 - \frac{2,1\delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0,5\delta_1)},$ $K_{14} = \frac{1,45 - 0,43\delta_1}{\sin(0,5\delta_1)}$	$K_{12} = \frac{1,15 - 0,1432 \cdot 2,0944}{\sin(0,5 \cdot 2,0944)} = 0,9816$ $K_{13} = \frac{\max\left\{1,7 - \frac{2,1 \cdot 2,0944}{3,14}; 0\right\}}{\sin(0,5 \cdot 2,0944)} = \frac{\max\{0,3; 0\}}{\sin(0,5 \cdot 2,0944)} = \frac{0,3}{\sin(0,5 \cdot 2,0944)} = 0,3464$ $K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot 2,0944}{\sin(0,5 \cdot 2,0944)} = 0,6344$
19	Коефіцієнти, що враховують вплив відстані від середини опори до днища та кута	$K_{15} = \min\left\{1,0; \frac{0,8\sqrt{\gamma} + 6\gamma}{\delta_1}\right\}$	$K_{15} = \min\left\{1,0; \frac{0,8\sqrt{0,0727} + 6 \cdot 0,0727}{2,0944}\right\} = \min\{1,0; 0,3114\} = 0,3114$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
	охоплення, K_{15}, K_{16}	$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6\gamma)^2} \sqrt{\frac{\pi}{3\delta_1}}$	$K_{16} =$ $= 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot 0,0727)^2} \sqrt{\frac{3,14}{3 \cdot 2,0944}} =$ $= 0,6139$
20	Коефіцієнт, що враховує вплив ширини поясу опори та кута охоплення, K_{17}	$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{S-C}} \left(\frac{b}{D}\right) \delta_1}$	$K_{17} =$ $= \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{2}{0,004 - 0,0011}} \left(\frac{0,3}{2}\right) 2,0944}$ $= 0,3752$
21	Загальне мембранне меридіональне напруження вигину від вагових навантажень, що діє в області опорного вузла, $\overline{\sigma_{mx}}$, МПа	$\overline{\sigma_{mx}} = \frac{4M_i}{\pi D^2(S-C)}$	$\overline{\sigma_{mx}} = \frac{4 \cdot 0,0636}{3,14 \cdot 2^2(0,004 - 0,0011)} =$ $= 6,9789 \text{ МПа}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
22	Коефіцієнти ϑ_1 , які відображують відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину у точках 2 та 3 (див. рис. 7.2, а), Додаток Л, табл. Л.1.	<p>- у точці 2</p> $\vartheta_1 = -\frac{0,23K_{13}K_{15}}{K_{10}K_{12}}$ <p>- у точці 3</p> $\vartheta_1 = -\frac{0,53K_{11}}{K_{14}K_{16}K_{17}\sin(0,5\delta_1)}$	<p>- у точці 2</p> $\vartheta_1 = -\frac{0,23 \cdot 0,3464 \cdot 0,3114}{0,25 \cdot 0,9816} = -0,1011$ <p>- у точці 3</p> $\vartheta_1 = -\frac{0,53 \cdot 0,286}{0,6344 \cdot 0,6139 \cdot 0,3752 \cdot \sin(0,5 \cdot 2,0944)} = -1,1976$
23	Коефіцієнти ϑ_2 , які враховують ступінь навантаження загальними мембранними напруженнями у точках 2 та 3 (див. рис. 7.2, а), Додаток Л, табл. Л.1.	<p>За ϑ_2 приймають одне із значень $\vartheta_{2,1}$ або $\vartheta_{2,2}$, для якого граничне напруження вигину буде найменшим.</p> <p>Якщо тиск внутрішній надлишковий, то p підставляється зі знаком «+». Якщо тиск зовнішній надлишковий, то p підставляється зі знаком «-».</p> <p>- у точці 2</p> $\vartheta_{2,1} = -\bar{\sigma}_{mx} \frac{1}{K_2[\sigma]}$	<p>- у точці 2</p> $\vartheta_{2,1} = -6,9789 \frac{1}{1,25 \cdot 140} = -0,0399$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
		$\vartheta_{2,2} = \left[\frac{pD}{4(S-C)} - \bar{\sigma}_{mx} \right] \cdot \frac{1}{K_2[\sigma]}$ <p>- у точці 3</p> $\vartheta_{2,1} = 0$ $\vartheta_{2,2} = \frac{pD}{2(S-C)} \cdot \frac{1}{K_2[\sigma]}$ <p>де $K_2 = 1,25$ для робочих умов, $K_2 = 1,05$ для умов випробувань і монтажу.</p>	$\vartheta_{2,2} = \left[\frac{0,4 \cdot 2}{4(0,004 - 0,0011)} - 6,9789 \right] \cdot \frac{1}{1,25 \cdot 140} = 0,3542$ <p>- у точці 3</p> $\vartheta_{2,1} = 0$ $\vartheta_{2,2} = \frac{0,4 \cdot 2}{2(0,004 - 0,0011)} \cdot \frac{1}{1,25 \cdot 140} = 0,7882$
24	Коефіцієнт K_1 .	<p>При розрахунку коефіцієнту K_1, якщо $\vartheta_2 < 0$, то беруть його абсолютне значення (по модулю), а знак для ϑ_1 змінюють на протилежний. Далі обирають менше значення K_1.</p> $K_1 = \frac{1 - \vartheta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \vartheta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \vartheta_1 \vartheta_2\right)^2 + (1 - \vartheta_2^2)\vartheta_1^2}}$	<p>- у точці 2</p> <p>Оскільки $\vartheta_{2,1} < 0$, то $\vartheta_2 = \vartheta_{2,1} = 0,0399$, а $\vartheta_1 = 0,1011$, тоді</p> $K_1 = 1,448$ <p>Оскільки $\vartheta_{2,2} > 0$, то $\vartheta_2 = \vartheta_{2,2} = 0,3542$, а $\vartheta_1 = -0,1011$, тоді</p> $K_1 = 2,2043$ $K_1 = \min\{1,448; 2,2043\} = 1,448$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
			- у точці 3 $\vartheta_2 = \vartheta_{2,1} = 0, \vartheta_1 = -1,1976$ $K_1 = 0,6267$ Оскільки $\vartheta_{2,2} > 0$, то $\vartheta_2 = \vartheta_{2,2} = 0,7882$, а $\vartheta_1 = -1,1976$ $K_1 = 0,8856$ $K_1 = \min\{0,6267; 0,8856\} = 0,6267$
Перевірка умови міцності			
25	Граничне напруження вигину в місці кріплення опор, $[\sigma_i]$, МПа	$[\sigma_i] = K_1 K_2 [\sigma]$	- у точці 2 $[\sigma_i]_2 = 1,448 \cdot 1,25 \cdot 140 = 253,4$ МПа - у точці 3 $[\sigma_i]_3 = 0,6267 \cdot 1,25 \cdot 140 = 109,7$ МПа
26	Допустиме опорне зусилля від напруження в меридіональному напрямку (точка 2) $[F]_2$, МН	$[F]_2 = \frac{0,7[\sigma_i]_2(S - C)\sqrt{D(S - C)}}{K_{10}K_{12}}$	$[F]_2 =$ $= \frac{0,7 \cdot 253,4 \cdot (0,004 - 0,0011) \sqrt{2(0,004 - 0,0011)}}{0,25 \cdot 0,9816} =$ $= 0,1596$ МН

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
27	Допустиме опорне зусилля від напруження в коловому напрямку (точка 3), $[F]_3$, МН	$[F]_3 = \frac{0,9[\sigma_i]_3(S - C)\sqrt{D(S - C)}}{K_{14}K_{16}K_{17}}$	$[F]_3 = \frac{0,9 \cdot 109,7 \cdot (0,004 - 0,0011) \sqrt{2(0,004 - 0,0011)}}{0,6344 \cdot 0,6139 \cdot 0,3752} = 0,1492 \text{ МН}$
28	Умова міцності для обичайки без підкладних листів в місці опори	$F_i \leq \min\{[F]_2; [F]_3\}$	$\min\{0,1596; 0,1492\} = 0,1492 \text{ МН}$ $0,1167 \text{ МН} < 0,1492 \text{ МН}$ Умова міцності виконується
Перевірка умови стійкості			
29	Ефективна осьова сила від місцевих мембранних напружень, що діють в області опори, F_e , МН	$F_e = 0,25F_i \pi K_{13} K_{15} \sqrt{\frac{D}{S - C}}$	$F_e = 0,25 \cdot 0,1167 \cdot 3,14 \cdot 0,3464 \cdot 0,3114 \sqrt{\frac{2}{0,004 - 0,0011}} = 0,2596 \text{ МН}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
30	Допустима осьова стиску-юча сила з умови міцності, $[F]_{\sigma}$, МН	$[F]_{\sigma} = \pi(D + S - C)(S - C)[\sigma].$	$[F]_{\sigma} = 3,14 \cdot (2 + 0,004 - 0,0011) \cdot (0,004 - 0,0011) \cdot 140 = 2,5547 \text{ МН}$
31	Допустима осьова стиску-юча сила з умови стійкості в границях пружності якщо $l_R/D \leq 10$, $[F]_{E1}$, МН де розрахункова довжина l_R , м: - для конструктивної схеми «а» (рис. 7.4, а) - для конструктивної схеми «б» (рис. 7.4, б)	$\frac{l_R}{D} \leq 10$ $[F]_{E1} = \frac{310 \cdot 10^{-6} E}{n_y} D^2 \left[\frac{100(S - C)}{D} \right]^{2,5}.$ $l_R = L + \frac{4}{3} H$ $l_R = L + \frac{2H}{3}$	Для конструктивної схеми «а»: $\frac{l_R}{D} = \frac{11,57}{2} = 5,785 < 10$ $[F]_{E1} = \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,9 \cdot 10^5}{2,4} 2^2 \left[\frac{100(0,004 - 0,0011)}{2} \right]^{2,5} = 0,7859 \text{ МН}$ $l_R = 10,9 + \frac{4}{3} \cdot 0,5 = 11,57 \text{ м}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
	- для конструктивної схеми «в» (рис. 7.4, в) - для конструктивної схеми «г» (рис. 7.4, г)	$l_R = L$ $l_R = L_1$	– –
32	Допустима осьова стискаюча сила з умов загальної стійкості в границях пружності, $[F]_{E2}$, МН (визначається якщо $l_R/D > 10$)	$[F]_{E2} = \pi(D + S - C)(S - C) \frac{E}{n_y} \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2$ де λ – гнучкість, див. п. 40	–
33	Допустима осьова стискаюча сила з умови стійкості в границях пружності якщо $l_R/D > 10$	$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}; [F]_{E2} \}$	–

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
34	Гнучкість, λ	$\lambda = \frac{2,83l_{np}}{D + S - C}.$ <p>Зведена довжина циліндричної обичайки l_{np} визначається залежно від закріплення обичайки (Додаток М, табл. М.1).</p>	–
35	Допустима осьова стиску-юча сила з умов міцності і стійкості, $[F]$, МН	$[F] = \frac{[F]_{\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\sigma}}{[F]_E}\right)^2}}.$	$[F]_E = [F]_{E1} = 0,7859 \text{ МН}$ $[F] = \frac{2,5547}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,5547}{0,7859}\right)^2}} = 0,7512 \text{ МН}$
36	Допустима поперечна сила з умови міцності, $[Q]_{\sigma}$, МН	$[Q]_{\sigma} = \frac{\pi D(S - C)}{4} [\sigma].$	$[Q]_{\sigma} = \frac{3,14 \cdot 2 \cdot (0,004 - 0,0011)}{4} \cdot 140$ $= 0,6377 \text{ МН}$
37	Допустима поперечна сила з умови стійкості в границях пружності, $[Q]_E$, МН	$[Q]_E = \frac{2,4E(S - C)^2}{n_y} \left[0,18 + 3,3 \frac{D(S - C)}{l_R^2} \right]$	$[Q]_E =$ $= \frac{2,4 \cdot 1,9 \cdot 10^5 (0,004 - 0,0011)^2}{2,4} \left[0,18 + 3,3 \frac{2 \cdot (0,004 - 0,0011)}{11,57^2} \right] =$ $= 0,2879 \text{ МН}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
38	Допустима поперечна сила з умов міцності і стійкості, $[Q]$, МН	$[Q] = \frac{[Q]_{\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\sigma}}{[Q]_E}\right)^2}}$	$[Q] = \frac{0,6377}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,6377}{0,2879}\right)^2}} = 0,2624 \text{ МН}$
39	Допустимий згинаючий момент з умов міцності, $[M]_{\sigma}$, МН·м	$[M]_{\sigma} = \frac{\pi}{4} D(D + S - C)(S - C)[\sigma]$	$[M]_{\sigma} = \frac{3,14}{4} \cdot 2 \cdot (2 + 0,004 - 0,0011) \cdot (0,004 - 0,0011) \cdot 140 = 1,2773 \text{ МН} \cdot \text{м}$
40	Допустимий згинаючий момент з умов стійкості в границях пружності, $[M]_E$, МН·м	$[M]_E = \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} D^3 \left[\frac{100(S - C)}{D} \right]^{2,5}$	$[M]_E = \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot 1,9 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 2^3 \cdot \left[\frac{100(0,004 - 0,0011)}{2} \right]^{2,5} = 0,4513 \text{ МН} \cdot \text{м}$
41	Допустимий згинаючий момент з умов міцності і стійкості, $[M]$, МН·м	$[M] = \frac{[M]_{\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\sigma}}{[M]_E}\right)^2}}$	$[M] = \frac{1,2773}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,2773}{0,4513}\right)^2}} = 0,4255 \text{ МН} \cdot \text{м}$

№ п/п	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Приклад розрахунку
42	Для посудин навантажених зовнішнім тиском, при перевірці умови міцності визначають допустимий зовнішній тиск з урахуванням умов міцності і стійкості для робочих умов $[p]$.	<p>де</p> $[p] = \frac{[p]_{\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{\sigma}}{[p]_E}\right)^2}}$ $[p]_{\sigma} = \frac{2[\sigma](S - C)}{D + S - C},$ $[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} E}{n_y B_1} \cdot \frac{D}{l_R} \left[\frac{100(S - C)}{D} \right]^{2,5}$ $B_1 = \min \left\{ 1; \frac{9,45 D}{l_R} \sqrt{\frac{D}{100(S - C)}} \right\}.$	<p>—</p> <p>—</p> <p>—</p> <p>—</p>
43	Перевірка умови стійкості циліндричної обичайки в області опорного вузла: - для посудини навантаженої внутрішнім	$\frac{ F_e }{[F]} + \frac{ M_i }{[M]} + \left(\frac{Q_i}{[Q]} \right)^2 \leq 1$	$\frac{ 0,2596 }{0,7512} + \frac{ 0,0636 }{0,4255} + \left(\frac{0,0583}{0,2624} \right)^2 =$ $= 0,3456 + 0,1494 + 0,0494 < 1$

<p>надлишковим тиском - для посудини навантаженої зовнішнім надлишковим тиском</p>	$\frac{ p }{[p]} + \frac{ F_e }{[F]} + \frac{ M_i }{[M]} + \left(\frac{Q_i}{[Q]}\right)^2 \leq 1$	<p>Умова стійкості виконується</p> <p style="text-align: center;">—</p>
<p>Перевірили несучу спроможність обичайки без підкладного листа та кільця жорсткості в області опорного вузла. Умови міцності та стійкості циліндричної обичайки виконуються. Підкладний лист та кільце жорсткості не потрібні.</p>		
<p>Якщо не виконується умова міцності або умова стійкості, чи обидві умови, підкріпити опорний вузол підкладним листом.</p> <p>У разі необхідності приварити підкладний лист шириною $b_2 = 0,45$ м, товщиною $S_2 = 0,004$ м, з кутом охоплення посудини $\delta_2 = 150^\circ$ і провести розрахунок за пп. 48 – 78, табл. 4.3 з [9].</p>		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ГОСТ 2.105–95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам. (Міждержавний 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. (Міждержавний 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. (Міждержавний стандарт). [Чинний від 2018-08-01]. Вид. офіц. М.: Стандартиформ, 2018. 26 с.

7. ГОСТ 34233.5-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Расчёт обечаяк и днищ от воздействия опорных нагрузок. (Міждержавний стандарт). [Чинний від 2018-08-01]. Вид. офіц. М.: Стандартиформ, 2019. 33 с.

8. Андреев І. А. Конструювання і розрахунок опорних вузлів посудин і апаратів хімічних виробництв: навч. посіб. для студ. спеціальності 133

«Галузеве машинобудування». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 94 с.
URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45669>.

9. Розрахунок несучої здатності обичайки в місці розташування сідлової опори [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» спеціальності 133 Галузеве машинобудування / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: І. А. Андреев, О. В. Гусарова. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 101 с.

10. ГОСТ 34233.2–2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. Расчёт цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. (Міждержавний стандарт). [Чинний від 2018-08-01]. Вид. офіц. М.: Стандартиформ, 2018. 54 с.

11. ОСТ 26-2091-93 (на заміну ОСТ 26-2091-80) Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов. Конструкция, размеры и технические требования. (Отраслевой стандарт). [Чинний від 1993-07-01]. Вид. офіц.: Роскоммаш, 1993. 37 с. Код за Державним класифікатором ДК 004-008 - 71.120.99.

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 несучих елементів конструкцій»

Виконавець: студент групи _____

шифр групи ім'я і прізвище

1. Тема роботи: Розрахунок несучої здатності обичайки в місці розташування сідлової опори.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: _____ 202_ р.

3. Вихідні дані до проєкту: Кількість сідлових опор $n = 3$, симетричне спірання. Внутрішній діаметр апарата ... м, довжина циліндричної частини ... м. Вага заповненого середовищем апарата ... МН. Внутрішній тиск середовища ... МПа, розрахункова температура ... °С. Матеріал корпусу апарата та опори

4. Перелік питань, які мають бути розроблені: перевірка несучої спроможності циліндричної обичайки в місці розташування сідлової опори; перевірка умови міцності; перевірка умови стійкості; перевірка необхідності застосування підкладного листа.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: сідлова опора.

Завдання прийняв до виконання студент _____

підпис, дата

Керівник розрахунково-графічної

роботи _____

посада, ім'я і прізвище підпис, дата

ДОДАТОК Б

Завдання на розрахунково-графічну роботу з дисципліни «Розрахунок і конструювання несучих елементів конструкцій»

Перевірити несучу спроможність циліндричної обичайки горизонтального апарата, який симетрично спирається на сідлові опори. Число опор $n = 3$.

Апарат навантажено внутрішнім тиском середовища p , МПа. Внутрішній діаметр апарата D , м, товщина стінки S , м, додаток до розрахункової товщини C , м. Довжина циліндричної частини корпусу L , м. Відстань від краю циліндричної частини до осі крайньої опори a , м. Відстань між опорами $l_1 = l_2$, м. Кут охоплення обичайки опорним листом δ_1 , ширина опорного листа b , м. Розрахункова схема – багатопролітна балка. Конструктивна схема апарата – «а» (див. рис. 7,4а).

Днище апарата еліптичне стандартне. Внутрішня висота опуклої частини днища H , м. Вага заповненого середовищем апарата G , МН.

Ширину b для сідлової опори прийняти для апаратів з діаметром ≤ 1400 мм – 0,25 м, а для апаратів з діаметром ≥ 1600 мм – 0,3 м.

Зварювання деталей сідлових опор між собою виконується кутовим двостороннім швом автоматичним зварюванням. Довжина швів, що контролюються, становить 45% від загальної довжини. Відстань від опори до найближчого зварного шва $f = 0,11$ м. Коефіцієнт запасу стійкості $n_y = 2,4$.

Вихідні дані до розрахунку наведено в таблиці Б.1.

У разі необхідності приварити підкладний лист шириною b_2 , м, товщиною $S_2 = S$, м, з кутом охоплення посудини $\delta_2 = 150^\circ$. Параметри підкладного листа (за необхідності), прийняти відповідно до таблиці Б.2.

Опори повинні відповідати ОСТ 26-2091-93 Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов. Конструкция, размеры и технические требования.

Таблиця Б.1. Вихідні дані до розрахунку несучої здатності обичайки в місці розташування сідлової опори

№ вар.	D , м	p , МПа	S , м	C , м	L , м	l_1 , м	a , м	H , м	G , МН	δl , град	Марка сталі	t , °С
1	0,8	1,1	0,009	0,0010	6	1,7	1,3	0,2	0,15	90	09Г2С	170
2	1,0	1,0	0,010	0,0012	7	2,2	1,3	0,25	0,24	90	20К	160
3	1,0	1,1	0,010	0,0010	7	2,2	1,3	0,25	0,35	90	16ГС	165
4	1,2	0,8	0,011	0,0016	7,2	2,3	1,3	0,3	0,245	90	20	155
5	1,2	1,0	0,012	0,0010	7,2	2,3	1,3	0,3	0,355	90	09Г2С	165
6	1,2	0,7	0,012	0,0010	7,4	2,4	1,3	0,3	0,24	90	Ст3	150
7	1,6	0,9	0,013	0,0010	7,4	2,4	1,3	0,4	0,3	90	16ГС	160
8	1,6	0,6	0,013	0,0009	7,4	2,4	1,3	0,4	0,55	90	20	150
9	1,6	0,8	0,014	0,0010	7,4	2,4	1,3	0,4	0,5	90	09Г2С	100
10	1,8	0,63	0,014	0,0010	7,6	2,5	1,3	0,45	0,3	90	20	150
11	1,8	0,7	0,014	0,0009	7,6	2,5	1,3	0,45	0,5	90	20К	150
12	2,0	0,54	0,015	0,0010	8	2,65	1,35	0,5	0,45	120	Ст3	140
13	2,0	0,74	0,017	0,0007	8	2,65	1,35	0,5	0,75	120	20К	155
14	2,2	0,54	0,016	0,0012	10	3,65	1,35	0,55	0,45	140	10	150
15	2,2	0,64	0,017	0,0010	10	3,65	1,35	0,55	1	140	Ст3	155
16	2,4	0,44	0,017	0,0007	10,2	3,75	1,35	0,6	0,75	140	10	140
17	2,6	0,54	0,020	0,0010	11	4,15	1,35	0,65	1,4	140	Ст3	150
18	2,0	0,5	0,022	0,0014	8,6	2,95	1,35	0,5	0,76	120	09Г2С	170
19	2,0	0,45	0,026	0,0009	8,2	2,75	1,35	0,5	0,46	120	16ГС	175
20	2,0	0,4	0,028	0,0010	8,2	2,75	1,35	0,5	0,76	120	09Г2С	160
21	0,8	1	0,009	0,0012	6	1,7	1,3	0,2	0,3	90	20К	170

Продовження табл. Б.1

№ вар.	D , м	p , МПа	S , м	C , м	L , м	l_1 , м	a , м	H , м	G , МН	δ_1 , град	Марка сталі	t , °С
22	2,4	0,5	0,017	0,0009	10,2	3,75	1,35	0,6	1,2	140	Ст3	140
23	2,6	0,6	0,02	0,0012	11	4,15	1,35	0,65	0,75	140	09Г2С	150

Таблиця Б.2. Ширина підкладного листа b_2 , мм (за ОСТ 26-2091-93, [11])

D , мм	b_2 , мм	D , мм	b_2 , мм
600	220	2000	450
800		2200	
1000	360	2400	
1200	400	2600	
1600		2800	
1800		3000	

ДОДАТОК В

Зразок змісту розрахунково-графічної роботи

Зміст				
Вступ.....				
1 Огляд конструкцій опорних вузлів посудин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв				
1.1 Літературний огляд.....				
1.2 Патентний огляд.....				
2 Опис конструкції опорного вузла				
3 Технічна характеристика опорного вузла				
4 Розрахунки, які підтверджують працездатність та надійність опорного вузла.....				
4.1 Визначення розрахункових параметрів і навантажень в опорному вузлі				
4.2 Перевірка умови міцності				
4.3 Перевірка умови стійкості				
Висновки.....				
Перелік посилань.....				
Додаток А. [Назва]				
Додаток Б. [Назва]				

					ЛН...XXXXXX.001 ПЗ			
Зм	Арк	№ доквм	Підпис	Дат	[Назва РГР]	Літ.	Арк	Аркшів
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 несучих елементів конструкцій»
на тему:

**РОЗРАХУНОК НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ОБИЧАЙКИ В МІСЦІ
РОЗТАШУВАННЯ СІДЛОВОЇ ОПОРИ**

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньо-професійною програмою
«Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної
інженерії»

Виконав студент групи _____

шифр групи

ім'я і прізвище

підпис, дата

Керівник проєкту _____

посада, ім'я і прізвище

підпис, дата

Київ 2024

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 (СОУ МПП 71.120-217:2009)

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 (СОУ МПП 71.120-217:2009)
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 (СОУ МПП 71.120-217:2009)
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)	Умовне 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 (СОУ МПП 71.120-217:2009)
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 (СОУ МПП 71.120-217:2009)
Заглушка	Знімна деталь, яка дозволяє герметично закривати отвори штуцера або бобишки (СОУ МПП 71.120-217:2009)
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 (СОУ МПП 71.120-217:2009). З'єднання складових частин виробу із застосуванням фланців (ДСТУ 2390–94)
Змійовик	Теплообмінний пристрій, виконаний у вигляді зігнутої труби (СОУ МПП 71.120-217:2009)

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) (СОУ МПП 71.120-217:2009)
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 (СОУ МПП 71.120-217:2009)
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 (СОУ МПП 71.120-217:2009)
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 (СОУ МПП 71.120-217:2009)
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 (СОУ МПП 71.120-217:2009)
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 газо-подібних, рідких та інших речовин (СОУ МПП 71.120-217:2009)
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 (СОУ МПП 71.120-217:2009)
Тиск дозволений	Максимально допустимий тиск посудини, встановлений за результатами розрахунку на міцність і технічного огляду або діагностування (СОУ МПП 71.120-217:2009)
Тиск зовнішній	Надлишковий тиск, який діє на зовнішню поверхню стінки посудини (СОУ МПП 71.120-217:2009)
Тиск надлишковий	Різниця абсолютного тиску й тиску навколишнього середовища, показаного барометром (СОУ МПП 71.120-217:2009)
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 міцності вибраних матеріалів, що відповідають температурі 293 К (20 °С) (наприклад, PN10)
Тиск пробний	Надлишковий тиск, при якому повинно проводитись гідравлічне випробування посудини або її елементів на міцність (щільність) (СОУ МПП 71.120-217:2009)
Тиск робочий	Максимальний надлишковий тиск за нормальних умов експлуатації (СОУ МПП 71.120-217:2009)
Тиск розрахунковий	Максимальний надлишковий тиск, на який здійснюється розрахунок посудини на міцність (СОУ МПП 71.120-217:2009)
Тиск умовний	Розрахунковий тиск при температурі 20 °С, який використовується при розрахунку на міцність стандартних посудин (вузлів, деталей, арматури) (СОУ МПП 71.120-217:2009).
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 (причепа) або на інших засобах пересування, та призначена для перевезення й зберігання газоподібних, рідких та інших речовин (СОУ МПП 71.120-217:2009)
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-вимірвальних приладів тощо (СОУ МПП 71.120-217:2009); штуцер звичайно складається з патрубка та фланця

ДОДАТОК Е. Допустимі напруження сталей

Властивості конструкційних матеріалів подані за ГОСТ 34233.1–2017 [4].

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		
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	85	68	122		105		92	74	77	61	92	78	105	
410	81	65	81	65	104		104		86	69	75	60	86	73	104	
420	75	60	75	60	92		92		80	64	72	57	80	68	92	
430	71*	57*	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. Коефіцієнти міцності зварних швів

Таблиця Ж.1. Коефіцієнти міцності зварних швів за ГОСТ 34233.1–2017 [4]

Вид зварного шва і спосіб зварювання	Значення коефіцієнта міцності зварного шва для посудин і апаратів із сталі і сплавів	
	Довжина швів, що контролюються, становить 100 % від загальної довжини	Довжина швів, що контролюються, становить 10–50 % від загальної довжини
Стиковий двосторонній з повним проплавленням або кутовий двосторонній з повним проплавленням таврового з'єднання, що виконується автоматичним або напівавтоматичним зварюванням	1,0	0,9
Стиковий з підварюванням кореня шва з повним проплавленням або кутовий двосторонній з повним проплавленням таврового з'єднання, що виконується вручну	1,0	0,9
Стиковий, що доступний для зварювання тільки з одного боку і що має у процесі зварювання металеву підкладку з боку кореня шва, коли підкладка прилягає по всій довжині шва до основного металу	0,9	0,8
Кутовий двосторонній з неповним проплавленням таврового з'єднання	0,8	0,65
Стиковий, що виконується автоматичним і напівавтоматичним зварюванням з одного боку з флюсовою або керамічною підкладкою	0,9	0,8
Стиковий, що виконується вручну з одного боку	0,9	0,65

ДОДАТОК К. Модулі поздовжньої пружності в умовах розтягу

Таблиця К.1. Модулі поздовжньої пружності в умовах розтягу за
ГОСТ 34233.1–2017 [4]

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 і низьколеговані сталі	1,99	1,91	1,86	1,81	1,76	1,71	1,64	1,55	1,40	–	–	–	–	–
Теплотривкі і корозійно- стійкі 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 Л. Коефіцієнти ϑ_1 і ϑ_2

Таблиця Л.1. Коефіцієнти ϑ_1 і ϑ_2 за ГОСТ 34233.5-2017 [7]

Напрямок вигину	ϑ_1	$\vartheta_{2,1}$	$\vartheta_{2,2}$
Меридіанне в точці 2 на рис. 7.2а	$-\frac{0,23K_{13}K_{15}}{K_{10}K_{12}}$	$-\bar{\sigma}_{mx} \frac{1}{K_2[\sigma]}$	$\left[\frac{pD}{4(S-C)} - \bar{\sigma}_{mx} \right] \cdot \frac{1}{K_2[\sigma]}$
Окружне в точці 3 на рис. 7.2а	$-\frac{0,53K_{11}}{K_{14}K_{16}K_{17}\sin(0,5\delta_1)}$	0	$\frac{pD}{2(S-C)} \cdot \frac{1}{K_2[\sigma]}$

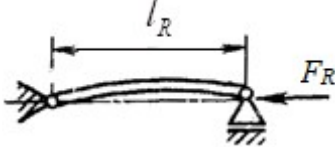

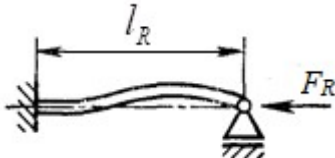
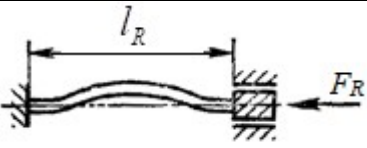
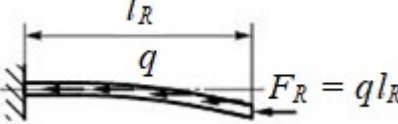
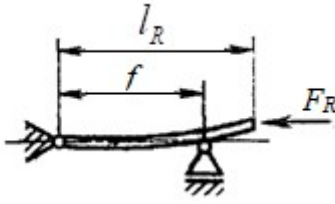
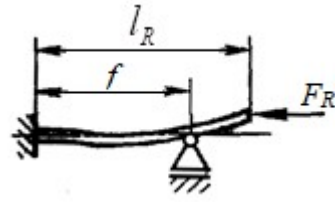
Примітка: При розрахунку коефіцієнту K_1 , якщо $\vartheta_2 < 0$, то беруть його абсолютне значення (по модулю), а знак для ϑ_1 змінюють на протилежний.

За ϑ_2 приймають одне із значень $\vartheta_{2,1}$ або $\vartheta_{2,2}$, для якого граничне напруження вигину буде найменшим.

ДОДАТОК М. Зведена довжина циліндричної обичайки

Зведена довжина циліндричної обичайки l_{np} визначається залежно від закріплення обичайки (табл. М.1) відповідно до ГОСТ 34233.2-2017 [7].

Таблиця М.1. Зведена довжина циліндричної обичайки l_{np}

Розрахункова схема	f/l_{np}	l_{np}
	—	l_R
	—	$2l_R$
	—	$0,7l_R$
	—	$0,5l_R$
	—	$1,12l_R$
	0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0	$2,00l_R$ $1,73l_R$ $1,47l_R$ $1,23l_R$ $1,06l_R$ $1,00l_R$
	0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0	$2,00l_R$ $1,70l_R$ $1,40l_R$ $1,11l_R$ $0,85l_R$ $0,70l_R$