Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут інженерної механіки
Кафедра нафтогазових машин та обладнання

КОНДРАТЮК ОЛЕГ ПЕТРОВИЧ
(прізвище, ім'я, по-батькові)

УДК 66.023-024.22

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Фланцеві з'єднання системи збору та підготовки продукції свердловин

(назва роботи)

Інжиніринг і сервісне обслуговування нафтогазових машин та обладнання
(назва освітньої програми)
133 – Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач освітнього ступеня _____О.П. Кондратюк
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Джус Андрій Петрович, д.т.н., професор каф. НГМО
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри
професор _____Я.С. Гриджук
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент
доцент _____ Дейнега Р.О.
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2026

ЗМІСТ

		стор.
	ВСТУП	7
1	ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ	11
1.1	Особливості видобування, збору та підготовки газу на нафтових та газових промислах	11
1.2	Особливості транспортування газу на промислах та до споживача	23
1.3	Особливості з’єднання обладнання, що використовується для реалізації технологічних процесів	27
1.4	Постановка завдань досліджень	32
2	ФЛАНЦЕВІ З’ЄДНАННЯ СИСТЕМИ ЗБОРУ, ПІДГОТОВКИ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ ГАЗУ	36
2.1	Умови експлуатації фланцевих з'єднань обладнання устя, системи збору, підготовки та транспортування газу	36
2.2	Типи та параметри фланцевих з'єднань	39
2.3	Особливості конструкції фланців та прокладок фланцевих з'єднань	48
3	ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ НАВАНТАЖЕННЯ ТА МАТЕРІАЛИ ЕЛЕМЕНТІВ ФЛАНЦЕВИХ З'ЄДНАНЬ	62
3.1	Навантаження на фланці обладнання устя, системи збору, підготовки та транспортування газу	62
3.2	Особливості розрахунку навантажень на елементи фланцевих з'єднань	66
3.3	Матеріали елементів фланцевих з'єднань та особливості їх вибору	74
4	МОНТАЖ, ВИПРОБУВАННЯ ТА ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ З ФЛАНЦЕВИМИ З'ЄДНАННЯМИ	82
4.1	Загальні вимоги до монтажу фланцевих з’єднань	
4.2	Визначення та контроль моменту затягування кріпильних елементів фланцевих з'єднань	86
4.3	Випробування фланцевих з’єднань та засоби для їх реалізації	90
4.4	Технічне обслуговування обладнання з фланцевими з'єднаннями	93
5	ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ МОНТАЖІ, ВИПРОБУВАННІ ТА ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ ОБЛАДНАННЯ З ФЛАНЦЕВИМИ З’ЄДНАННЯМИ	96
	ВИСНОВКИ	100
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	101

ВСТУП

Актуальність роботи. Забезпеченість паливно-енергетичними ресурсами є передумовою соціально-економічного розвитку України. На сьогодні в Україні спостерігається високий рівень енергозалежності; висока енергоємність головного індикатора для вимірювання розміру економіки та оцінки рівня її розвитку – валового внутрішнього продукту (ВВП), незадовільна структура використання первинної енергії; надзвичайно низька конкурентоспроможність товарів і послуг українського виробництва на світовому ринку або і взагалі відсутність власного виробництва.

Розвиток газової промисловості Україні налічує понад сто років. Видобуток природного і супутнього нафтового газу в промислових масштабах започаткували ще на початку XX століття на Заході України. З цього періоду технологія та обладнання нафтогазовидобування постійно вдосконалювалися.

Видобуток природного газу в 1975 році складав 68 млрд. $м^3$. Це був абсолютний максимум. У 1996 році відбувся стрімкий спад видобутку газу до рівня 18 млрд. $м^3$. Це було зумовлено насамперед тим, що легковидобувні запаси інтенсивно вичерпувались, а важчі розробки покладів газу не здійснювалися, в країні різко скоротилися пошуково-розвідувальних та видобувні роботи.

Геологи оцінюють наявні поклади газу в Україні на рівні 1,3 трлн. $м^3$ при річній потребі 32 млрд. $м^3$ [1]. Найбільші запаси природного газу зосереджені в районі Дніпровсько-Донецької западини, що знаходиться на території Харківської та Полтавської областей.

Найбільшою кількістю свердловин в Україні володіє АТ «Укргазвидобування» (в активному фонді перебувають близько 2,5 тис. свердловин). Однак 95% газових родовищ виснажені на понад 87%. Для значного збільшення газовидобутку необхідний запуск масштабного оновлення парку родовищ. Для цього необхідно отримати нові ділянки, провести геологічну розвідку, пошукове та експлуатаційне буріння [2].

Від початку повномасштабного вторгнення в Україні заклали 500 нових газових свердловин, зокрема 136 у 2025 році. Більшість з цих свердловин було закладено ще до підписання угоди зі США.

На даний час стан справ у паливно-енергетичному комплексі України є незадовільним. Основною проблемою є те, що фактичний видобуток газу не є узгодженим зі значними ресурсними можливостями. Або оцінка ресурсів не відповідає реальній роботі галузі, або обрано невірний шлях – концентрація на роботі з залишковими запасами старих родовищ, недостатня увага розвідці, впровадженню нових ідей і напрямкам геолого-розвідувальних робіт (ГРР), недостатній розвиток нових технологій видобутку та вдосконалення сучасного обладнання газової галузі з високими показниками надійності та енергоефективності.

Основними об’єктами пошуку і надалі залишаються структури. Фонд значних за розміром структур у діючих газовидобувних районах значно вичерпаний. Родовища на даний час відкриваються не набагато менше ніж в періоди пікового видобутку (1970-ті рр.), однак видобуток останніх десятиліть скоротився приблизно в три рази внаслідок зменшення розміру відкриттів (середній розмір нових родовищ не перевищує 0,5 - 1 млрд. м^3).



Рисунок 1 – Ресурсний потенціал і структура запасів газових родовищ східного регіону України

На сьогоднішній день АТ «Укргазвидобування» володіє найпотужнішою системою збору, підготовки та транспортування газу серед газовидобувних компаній в Україні. Вона включає в себе 9272 кілометрів промислових трубопроводів (міжпромислові газопроводи, шлейфи, газопроводи підключення, колектори, і ін.), понад 2700 свердловин, 140 родовищ, 39 дожимних компресорних станцій, 184 установки комплексної підготовки газу. В структуру газовидобувної компанії входять три газопромислових управління: «Шебелинкагазвидобування», «Полтавагазвидобування» та «Львівгазвидобування», які здійснюють основні функції з видобутку, підготовки та транспортування газу до точок передачі у магістральні газопроводи [3].

Рівень видобутку газу, насамперед, залежать від величини робочого тиску на гирлі, продуктивності свердловини та ефективності роботи обладнання об’єктів наземної частини родовищ, що здійснюють збір, підготовку та транспортування газу.

Газоперепускне обладнання гирла газової свердловини, газопроводи (шлейфи), що транспортують газ від гирла свердловини до установки комплексної підготовки газу (УКПГ) або від УКПГ до дотискної компресорної станції (ДКС), розподільчі колектори, обладнання газопереробних заводів (ГПЗ), газопроводи, що транспортують газ від промислу до споживачів, з’єднується між собою переважно за допомогою фланцевих з’єднань.

Фланцеві з’єднання є найбільш поширеним видом роз’ємних з’єднань у хімічному, нафтохімічному, нафтопереробному, харчовому та енергетичному машино- та апаратобудуванні, які забезпечують міцність і герметичність конструкцій, а також простоту складання та розбирання [4].

Незважаючи на те, що вимоги до фланців стандартизовано на міждержавному рівні, конструкції фланців і фланцевих з’єднань постійно вдосконалюються, що потребує ретельного аналізу новітніх розробок для можливості їх застосування в промисловості [4]. Тому актуальність теми роботи є очевидною.

Метою роботи є обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів та матеріалів фланцевих з’єднань нафтогазового обладнання і трубопроводів на основі аналізу їхніх експлуатаційних навантажень та умов роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

– визначити умови експлуатації фланцевих з'єднань обладнання устя, системи збору, підготовки та транспортування газу;

– здійснити класифікацію типів, параметрів та особливостей конструкції фланцевих з'єднань, фланців та прокладок фланцевих з'єднань;

– визначити експлуатаційні навантаження та методи їх розрахунку;

– визначити необхідні рекомендації по вибору конструкційних матеріалів елементів фланцевих з'єднань;

– обгрунтувати заходи щодо монтажу, випробування, технічного обслуговування та ремонту обладнання з фланцевими з'єднаннями, визначення та контролю моменту затягування кріпильних елементів фланцевих з'єднань.

Об’єкт досліджень – процеси видобування, збору, підготовки та транспортування природного газу.

Предмет досліджень - фланцеві з'єднання системи збору, підготовки та транспортування продукції газових свердловин.

Методологічні засади та методи дослідження. Аналітичні дослідження, основані на аналізі та теоретичних методах, що базуються на сучасних досягненнях в газовій промисловості.

Практична цінність. Розроблені та реалізовані алгоритми оцінки експлуатаційних навантажень та методів розрахунку фланцевих з’єднання в складі обладнання для видобування, збору, підготовки та транспортування природного газу.

Структура бакалаврської роботи. Робота виконана у формі рукопису, складається з вступу, п’яти розділів, висновків, викладених на 103 сторінках машинописного тексту, в тому числі 10 таблиць та 27 рисунків. Список використаної літератури включає 30 найменування праць вітчизняних та зарубіжних авторів.

1 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1.1 Особливості видобування, збору та підготовки газу на нафтових та газових промислах

Родовища горючих газів поділяють на власне газові, в яких скупчення газів не пов’язане з іншими корисними копалинами; газонафтові, де газоподібні вуглеводні розчинені в нафті або знаходяться над нафтовим покладом у вигляді так званої газової шапки; газоконденсатні, у яких газ збагачений рідкими вуглеводнями. Добування горючих газів включає їх видобування з землі, збір, облік, підготовку до транспортування споживачу.

Газ, як і нафту, видобувають із землі через мережу свердловин. Оскільки він знаходиться в земних надрах під високим тиском, для його добування застосовують, як правило, фонтанний спосіб. Щоб газ почав надходити на поверхню, досить відкрити свердловину, пробурену в газоносному пласті. При вільному витіканні газу нераціонально витрачається енергія пласта, можливе руйнування свердловини. Тому на голівці свердловини встановлюють штуцер (місцеве звуження труби), обмежуючи надходження газу. Розробка газового покладу триває 15-20 років, за цей час видобувається 80-90% запасів.

Газ, що надійшов із свердловини, безпосередньо на промислі підготовляють до транспортування. З нього видаляють механічні домішки, водяні пари, важкі вуглеводні, в разі необхідності очищають від сірковмісних сполук.

Сучасне нафтогазовидобувне підприємство має велике та різноманітне господарство – численні споруди основного виробничого призначення, що забезпечують:

– видобуток, збір та промислову підготовку нафти;

– збір, очищення та утилізацію нафтового газу;

– підготовку до закачування в пласт пластових, стічних та прісних вод, а також допоміжними спорудами та службами енергогосподарства, зв’язку, механічного забезпечення, транспорту тощо.

Складний комплекс споруд і служб повинен відповідати сучасному рівню розвитку техніки, технології збору та підготовки нафти, газу та води до транспортування їх споживачеві та забезпечувати безперебійну роботу нафтовидобувного підприємства для виконання планів видобутку нафти та газу.

Для кожного нововідкритого нафтогазового родовища складаються проект розробки та проект облаштування. Невід'ємною частиною проекту облаштування є обґрунтування системи збору продукції свердловин, яка закладається в цьому проекті.

Транспортування продукції свердловин від їх устя до центрального пункту підготовки та перекачування нафти називається збором. Тому цей пункт також називають центральним пунктом збору (ЦПЗ). Система трубопроводів та обладнання, взаємопов'язаних між собою та забезпечують транспортування продукції нафтових свердловин від гирла до ЦПЗ з виконанням певних функцій, складають систему збору.

Проект облаштування нафтового родовища вирішує такі питання, що визначають систему збору нафти та газу:

– чи здійснювати збір нафти та газу спільно чи окремо;

– передбачати будівництво дотискної насосної станції (ДНС) або здійснювати збір за рахунок гирлового тиску;

– розмістити вимірювально-сепараційні установки біля однієї свердловини або біля групи свердловин.

Таким чином, наявність або відсутність самостійного газозбірного колектора, джерело тиску, за рахунок якого здійснюється збір продукції свердловин, місце розташування та склад вимірювально-сепараційної установки є основними факторами, що визначають систему збору нафти та газу.

Наразі промислове облаштування являє собою герметизовану високонапірну систему збору та підготовки, яка повністю усуває втрати легких фракцій нафти, та має комплексну автоматизацію технологічних процесів. Характерною особливістю цієї системи є її універсальність, що, насамперед, зумовлено загальними вимогами до облаштування всіх нафтових і газових родовищ.

Ці вимоги зводяться до забезпечення:

– повної герметизації системи збору та підготовки нафти й газу;

– індивідуального вимірювання обсягів видобутої нафти, газу та води по кожній свердловині з метою контролю та регулювання процесу розробки родовища;

– підготовки нафти для нафтопереробних заводів за 1 групою якості товарної нафти;

– постачання основних вузлів у блочно-комплектному виконанні з повною автоматизацією технологічного процесу («під ключ»);

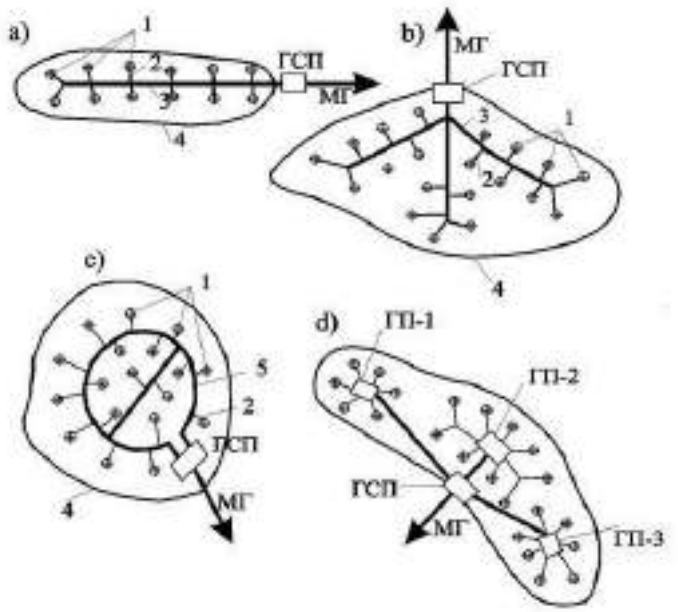
– високих економічних показників щодо капітальних витрат, зниження металоємності та експлуатаційних витрат.

У процесі розробки газових і газоконденсатних родовищ із невеликим вмістом вуглеводневого конденсату і за відсутності сірководню у складі пластового газу застосовують чотири схеми внутрішньопромислового збору та транспортування газу: лінійну, променеву, кільцеву і групову (рис. 1.1). Назва схеми збору обумовлюється конфігурацією газозбірного колектора [5].

Кожна свердловина має свою технологічну схему ланцюга апаратів, яка охоплює комплекс обладнання для очищення газу від механічних домішок, рідин і запобігання утворенню кристалогідратів вуглеводневих газів (сепаратори, конденсатозбірники, установки для введення метанолу у потік газу тощо) [5].

Газ зі свердловин, після проходження присвердловинних споруд із очищення від твердих домішок і рідин, шлейфами направляється у загальний газозбірний колектор, промисловий газозбірний пункт (ГЗП) і магістральний газопровід (МГ). Вуглеводневий конденсат із присвердловинних споруд по самостійних трубопроводах, прокладених паралельно з газопроводами, направляється на ГЗП [5].

Конфігурація газозбірного колектора залежить від форми площі газоносності, кількості і розміщення видобувних свердловин, кількості газоносних пластів, складу газу, методів промислової обробки газу і способів вимірювання його об’єму [5].



a – лінійна; b – променева; c – кільцева; d – групова;

1 – свердловини; 2 – шлейфи; 3 – лінійний газозбірний колектор;

4 – контур газоносності; 5 – кільцевий газозбірний колектор

ГЗП – груповий збірний пункт; МГ – магістральний газопровід;

ГП – газозбірний пункт

Рисунок 1.1 – Схеми промислового збору газу і конденсату

Лінійний колектор застосовують на газових родовищах із витягнутою площею газоносності.

Променеву схему використовують при роздільній експлуатації газових пластів із різним складом газу і початковими тисками.

Кільцевий колектор використовують на площах великих за розмірами газоносності з великою кількістю свердловин і різними споживачами.

Всі три вище перелічених схеми промислового збору газу мають наступні недоліки:

– обладнання встановлено на великій за площею території;

– свердловини із присвердловинним обладнанням для очищення, осушення, опробування та заміру кількості газу вимагають значної кількості кваліфікованого персоналу;

– значна довжина промислових трубопроводів; велика металоємність комунікацій;

– втрати газу і конденсату у запірних і регулюючих пристроях, арматурі та іншому обладнанні біля гирла свердловини.

Кількість газозбірних пунктів на родовищі залежить від розмірів газоносної площі і може коливатися у широких межах – від 2 – 4 до 25. У разі великої кількості групових збірних пунктів (ГЗП) кількість загальнопромислових газозбірних колекторів може бути більшою одного. У цьому випадку колектори сходяться у вигляді променів у одному пункті – на промисловому газозбірному пункті або головних спорудах. Якщо потік газу до споживачів розподіляється у протилежних напрямках, то кількість головних споруд може відповідати кількості напрямків. Кількість свердловин, підключених до газозбірного пункту, досягає іноді 25 і залежить від схеми розміщення свердловин і від їх дебітів. Зазвичай, ця кількість не перевищує 10 – 12 [5].

Системи збору газу поділяються на централізована і децентралізовану.

При централізованій системі на ГЗП проводять тільки збір і первинну сепарацію газу. Остаточна підготовка газу до транспортування проводять на головних спорудах.

У випадку остаточної підготовку газу на ГЗП, система є децентралізованою. При цьому ГЗП представляє комплекс споруд закінченого циклу промислової обробки газу, включаючи допоміжні об’єкти.

На газових родовищах, як правило, використовують централізовану систему збору.

Децентралізована система застосовується для високопродуктивних свердловин (1,5 – 2 млн. $м^3$/добу) або у випадку ускладненого транспортування необробленого газу, утворення гідратів чи випадання конденсату.

Якщо продуктивність ГЗП становить 10 – 15 млн. $м^3$/добу, то свердловини вважаються високодебітними, і для обробки газу використовують низькотемпературну сепарацію (НТС).

Групова централізована схема збору в даний час є основною типовою схемою збору для родовищ України.

Для остаточного вибору системи збору повинні бути виконані техніко-економічні обчислення двох варіантів схем: централізованої і децентралізованої. В разі рівноцінності обчислених показників, перевага надається централізованій системі збору газу.

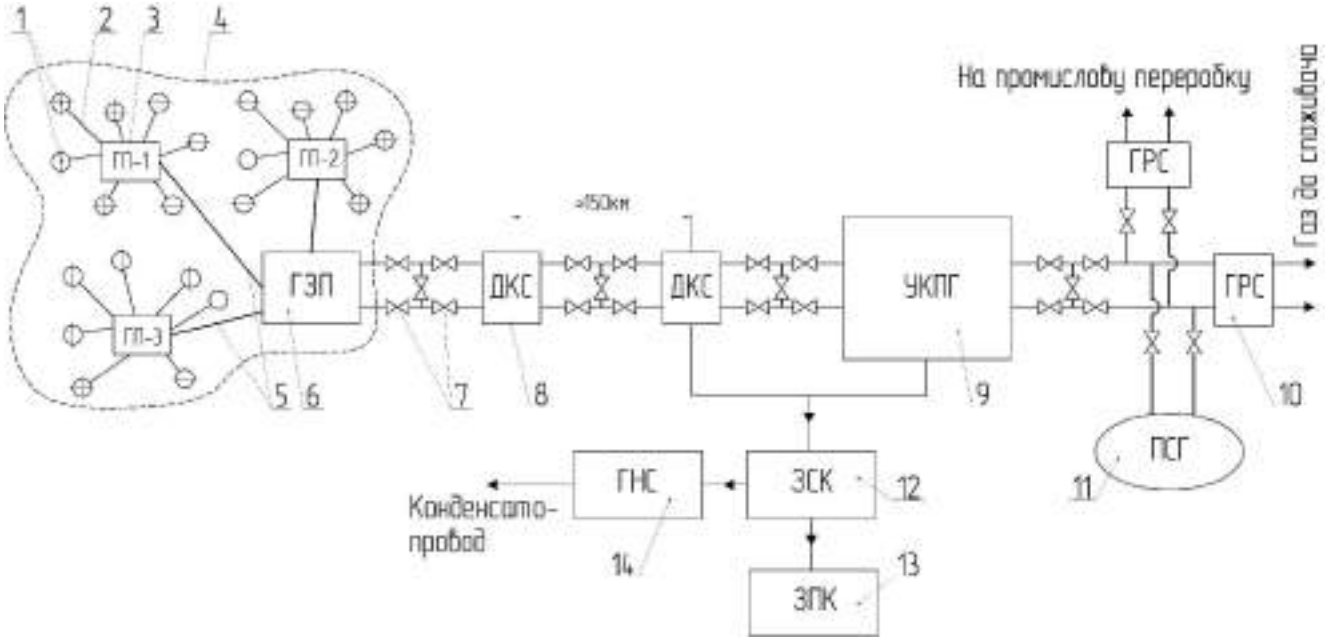
Структурна схема системи збору, підготовки та транспортування газу (рис. 1.2) – це технологічний комплекс, який забезпечує видобуток природного газу із надр, його очищення від домішок, осушення та подачу до магістральних газогонів для подальшого розподілу до кінцевих споживачів (креслення БР.ГМІ-62.00.00.000 С1).

Процес є послідовним ланцюгом, який включає наступні головні етапи та вузли:

1. Видобуток та збір газу. На цьому етапі газ транспортується від свердловин до пункту первинної обробки.

Газові свердловини є джерелами видобутку. Обв'язка гирла газових свердловин проектується відповідно до типових схем. Обв'язка експлуатаційних газових свердловин повинна забезпечувати: можливість відбору газу по насосно-компресорних трубах і по затрубному простору; зниження тиску до $Р_{роб}$=16 МПа, крім випадків, що обумовлені в завданні на проектування; редукування газу і автоматичне відсікання його, якщо тиск є вищим робочого, але не вище 16 МПа; автоматичне відімкнення свердловини у випадку розриву шлейфа чи збільшення тиску вище робочого; вимірювання температури, тиску і дебіту; монтажу запобіжних клапанів у випадку розрахункового тиску в шлейфі нижче статичного; відвід газу на факел під час продування свердловини, шлейфу або в разі спрацювання запобіжних клапанів; можливість виконання технологічних операцій на свердловинах (освоєння і глушіння, роботи з

інтенсифікації, попередження чи ліквідація ускладнень); проведення гідродинамічних і промислово-геофізичних досліджень свердловин.



1 – газові експлуатаційні свердловини; 2 – викидна лінія (шлейф); 3 – газозбірний пункт; 4 – контур газоносності; 5 – збірний колектор; 6 – груповий газозбірний пункт; 7 – лінійна запірна арматура; 8 – дотискна компресорна станція;

9 – установка комплексної підготовки газу; 10 – газорозподільна станція;

11 – підземне сховище газу; 12 – завод стабілізації конденсату; 13 – завод переробки конденсату; 14 – головна насосна станція

Рисунок 1.2 – Схема системи збору, підготовки та транспортування газу

Шлейфи – газопроводи, які з'єднують окремі свердловини з кущовими майданчиками.

Групові вимірювальні установки (ГВУ) забезпечують збір газу від кількох свердловин та вимір обсягів.

Комплексний газозбірний пункт (КГЗП) / установка попередньої підготовки газу (УППГ) дає змогу реалізувати первинний етап відділення газу від рідин (води, конденсату та механічних домішок).

Після автоматичного вимірювання продукції за кожною свердловиною суміш рідини й газу направляється по збірних трубопроводах на дотискну насосну станцію.

Для забезпечення оптимальних умов і подальшого його транспортування газ повинен надходити на установку комплексної підготовки газу (УКПГ) з тиском не нижчим ніж 4÷6 МПа, залежно від робочого тиску магістрального газопроводу (5,45 або 7,35 МПа). У початковий період розробки родовища цей тиск забезпечується високим тиском газу в пласті. В міру відбору газу пластовий тиск знижується й настає період, коли пластового тиску недостатньо для забезпечення мінімального споживання газу УКПГ. З цього моменту повинна розпочати роботу дотискна компресорна станція (ДКС). Крім підвищення тиску на ДКС проводиться відділення рідини від газу [7].

2. Підготовка газу. Газ готується до транспортування за стандартами якості (видалення вологи, сірководню, вуглекислого газу) на УКПГ. При цьому реалізуються такі процеси:

– сепарація – відділення вільної рідини та твердих частинок;

– осушення (дегідратація) – видалення вологи за допомогою абсорбції (наприклад, гліколем) або адсорбції (силікагелем, цеолітами), щоб уникнути утворення гідратів у трубах;

– очищення (газоочистка) – видалення кислих газів H_2S, CO_2 – так зване "солоджування" газу;

– вилучення конденсату (низькотемпературна сепарація, НТС); отримання широкої фракції легких вуглеводнів (ШФЛВ);

– установка вимірювання кількості газу (УВКГ) з метою його комерційного обліку.

3. Транспортування (магістральний етап). Переміщення підготовленого газу на великі відстані під високим тиском. Реалізується використовуючи таке обладнання:

– дотискні компресорні станції (ДКС) – підвищують тиск газу для транспортування магістральними газопроводами;

– магістральний газопровід (МГ) – трубопровід великого діаметра (до 1420 мм), що з'єднує родовище з регіонами споживання;

– компресорні станції (КС) – розташовані вздовж магістралі кожні 100–150 км для відновлення тиску, який падає через тертя.

4. Розподіл та споживання. На цьому етапі задіяні цілі комплекси найбільш різноманітного обладнання.

Газорозподільні станції (ГРС): знижують тиск газу в магістралі до необхідного для міських чи промислових мереж (з магістральних 5,5 – 7,5 МПа до міських рівнів).

Газорозподільні мережі (ГРМ): вуличні та внутрішньоквартальні мережі низького та середнього тиску.

Газорегуляторні пункти (ГРП): автоматично підтримують заданий тиск газу в мережі.

Споживачі: промислові підприємства, теплоелектроцентралі (ТЕЦ), комунально-побутові об'єкти та житлові будинки.

Конденсат, відділений на УКПГ і ДНС, містить велику кількість легких вуглеводнів (метан, етан). Для відділення і утилізації цих фракцій конденсат направляється на завод стабілізації конденсату (ЗСК) (рис. 1.2). Стабілізований конденсат перекачується головною насосною станцією (ГНС) в конденсатопровід. Певна кількість конденсату переробляється в нафтопродукти на заводі переробки конденсату (ЗПК).

В якості промислових комунікацій застосовують трубопроводи з безшовних гарячекатаних труб. Трубопроводи на промислі класифікуються [7]:

– за видом продукту, що перекачується – нафто-, газо-, нафтогазо-, водо-і паропроводи, а також каналізаційні труби;

– за призначенням – самопливні, напірні та змішані;

– за робочим тиском – низького (до 0,6 МПа), середнього (до 1,6 МПа), високого (понад 1,6 МПа) тиску;

– за способом прокладення – підземні, надземні й підводні;

– за функцією – викидні (від гирла свердловин до АЦЗУ), збірні колектори (що приймають продукцію від декількох трубопроводів) і товарні (транспортують товарну продукцію);

– за способом виготовлення – зварні та збірні;

– за формою розташування – лінійні (збірний колектор є однією лінією), кільцеві (збірний колектор – замкнута кільцева лінія) і променеві (збірні колектори сходяться променями до одного пункту).

На родовищах найбільш поширені трубопроводи діаметром від 114 до 500 мм.

У процесі монтажу деяких вузлів застосовують фланцеві з'єднання.

Всі промислові трубопроводи залежно від призначення, робочого тиску, газового фактора, швидкості корозії поділяються на чотири категорії. Трубопроводи перших трьох категорій належать до відповідальних трубопроводів, тому з початку їх експлуатації здійснюється візуальний і вимірювальний контроль за їх станом з веденням паспорта трубопроводу. У паспорті записують результати огляду та ревізії, замірів товщини стінок, опис робіт з ремонту ліквідації аварій або відмов. На кожну відмову (порив) трубопроводу оформляється акт технічного розслідування.

Трубопровідна арматура поділяється на три групи: запірна, регулююча, запобіжна.

Призначення запірної арматури – роз'єднання ділянок трубопроводів і відключення від трубопроводів різних технологічних установок. Вона встановлюється на початку і в кінці кожного трубопроводу, а також у місцях з'єднання зі збірними колекторами. До запірної арматури належать засувки, крани, вентилі, зворотні клапани.

Для підготовки газу на промислах використовують сепаратори наступних конструкцій: вертикальні, горизонтальні, кульові з різноманітними внутрішніми і зовнішніми пристроями.

За принципом дії газосепаратори діляться на [5]:

1) гравітаційні, в яких крапельки рідини і частинки породи осідають завдяки силі тяжіння;

2) інерційні, в яких зазначені частинки осідають завдяки силам інерції;

3) насадкові, в яких використовуються сили адгезії (прилипання);

4) сепаратори змішаного типу, в яких для відділення частинок і крапельок рідини використовуються наведені у попередніх пунктах сили.

Найефективнішими та технічно досконалими є сепаратори жалюзійні, насадкові та змішаного типу.

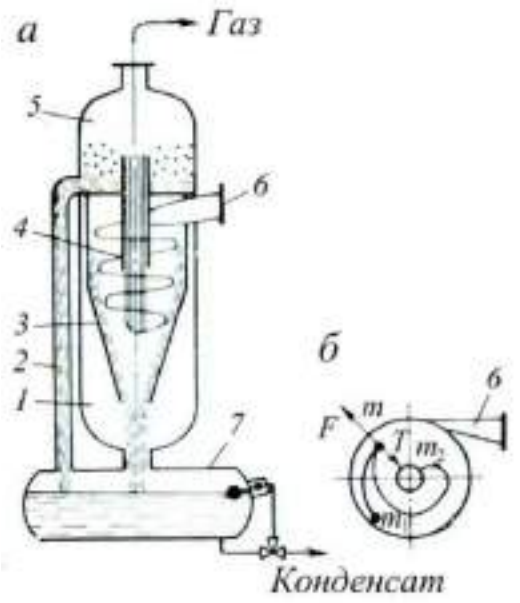
Використання в гравітаційні сепараторах лише сили тяжіння призводить до того, що значного збільшення розмірів апаратів, і тому вони є досить металоємними. По цій причині гравітаційні сепаратори фактично не виготовляються без спеціальних відбійників.

В інерційних сепараторах ефект осадження із газу крапель рідини і механічних домішок досягається внаслідок дії відцентрових сил. Ці сепаратори називають циклонними. На рисунку 1.3. приведена схема циклонного сепаратора СЦВ-5 із розривом струменя.

Циклонні сепаратори досить широко застосовуються на газових родовищах.

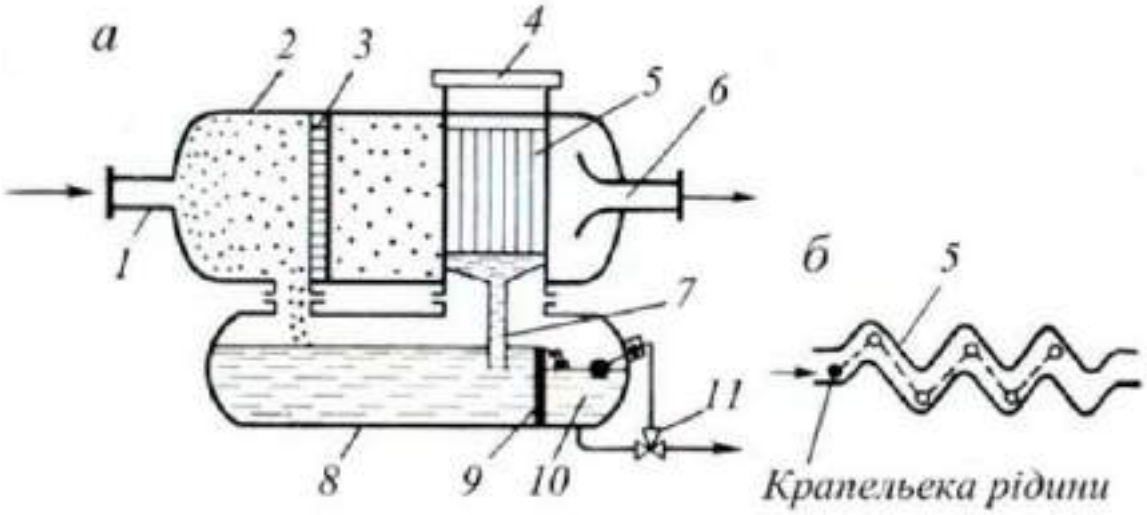
Основним елементом насадкових сепараторів є насадка. Поширені насадки жалюзійного типу. На рисунку 1.4, а наведена схема сепаратора насадкового типу із жалюзійною насадкою.

Сепаратор працює наступним чином: газ надходить у патрубок 1, потрапляє на перфоровану перемичку 3, яка вирівнює швидкості потоку. Потім газ проходить через жалюзійну насадку 5, в якій затримується основна маса крапель рідини, що рухаються з потоком газу. На жалюзі крапельки рідини, що прилипли, утворюють плівку, яка стікає у піддон, а потім через зливний патрубок 7 потрапляє в конденсатозбірник 8. Щоб уникнути коливання рівня рідини у камері поплавка 10 встановлюється глуха переділка 9. Рідина з конденсатозбірника 8 скидається через виконавчий механізм 11, а газ – через газовідвідний патрубок 6.



а – загальний вигляд; 1 – корпус; 2 – труба зливна;
3 – корпус циклону; 4 – вивід газу з корпусу циклону; 5 – камера розриву;
6 – тангенційний ввід газорідинної суміші; 7 – конденсатозбірник;
б – розрахункова схема

Рисунок 1.3 – Циклонний сепаратор СЦВ-5



а – з жалюзійною насадкою; б – схема жалюзійної насадки;
1 – патрубок; 2 – корпус; 3 – перфорована патрубок перемичка; 4 – люк для монтажу насадки; 5 – насадка жалюзійна; 6 – газовідвідний; 7 – патрубок зливний;
8 – конденсатозбірник; 9 – заспокоювач рівня; 10 – поплавкова камера;
11 – виконавчий механізм

Рисунок 1.4 – Загальний вигляд жалюзійного насадкового сепаратора

На рисунку 1.4, б приведено зображення зверху пластин жалюзійних насадок і траєкторія руху крапель рідини, що рухається між пластинами.

Використовуються сепаратори інших типів - сіткові, робота яких базується на тому ж принципі, що і жалюзійних.

Згідно з технологією підготовки природного і супутнього нафтового газу, на УКПГ газ осушується, з нього вилучаються пари води і сірки. Подальшу переробку природного і попутного газу здійснюють на газопереробних заводах.

1.2 Особливості транспортування газу на промислах та до споживача

Сучасні газопроводи представляють собою складну систему трубопроводів і допоміжних споруд для транспортування та розподілу природного газу та класифікуються як:

– магістральні газопроводи, які призначені для транспортування газу на великі відстані; у пункті призначення магістральних газопроводів розташовуються газорозподільні станції, на яких знижують тиск газу до рівня, що необхідний для споживачів;

– газопроводи розподільчих мереж, які призначені для транспортування газу від газорозподільних станцій до споживача;

– скидні газопроводи призначені для скидання газу в атмосферу при спрацюванні регулювальних або запобіжних пристроїв.

Газові мережі класифікуються за наступним надлишковим тиском:

– низького тиску – до 0,05 кгс/см² (5 кН/м²);

– середнього тиску – від 0,05 до 3 кгс/см² (5 – 300 кН/м²);

– високого тиску – від 3 до 6 кгс/см² (300 – 600 кН/м²);

– надвисокого тиску – від 6 до 12 кгс/см² (600 – 1200 кН/м²).

Сучасні магістральні газопроводи споруджуються зі сталевих труб діаметром до 1420 мм на робочий тиск 7,5 МПа з пропускною спроможністю до 50 – 60 млрд. м³ газу на рік.

При підземному прокладанні магістральні газопроводи заглиблюють в землю на 0,8 – 1,0 м, при наземному прокладанні – розташовують у насипних греблях, а при надземному – розташовують на опорах.

Для транспортування продукції з морських промислів на берег споруджуються підводні магістральні газопроводи.

До складу споруд магістральних газопроводів входять:

– головна і проміжні компресорні станції, які служать для компримування газу у початковому і проміжному пунктах траси;

– пункти осушування і очищення газу від H_2S і CO_2 на головній компресорній станції;

– приймальний термінал.

Лінійна компресорна станція представляє собою складний та відповідальний комплекс з індивідуальним технічним господарством, експлуатаційною і ремонтною службою, засобами зв'язку, автоматики і телемеханіки.

Магістральні газопроводи захищаються від ґрунтової корозії зовнішньою протикорозійною ізоляцією та катодним захистом. Магістральні газопроводи оснащені системами телемеханіки і зв'язку для контролювання роботи компресорних станцій із центрального диспетчерського пункту.

Надійність газопроводів забезпечується створенням резерву газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях, застосуванням високоякісних сталевих труб, прокладанням паралельних ліній магістральних газопроводів із перемичками між ними.

На компресорних станціях магістральних газопроводів великого діаметра (1020 – 1420 мм) після відцентрових нагнітачів встановлюють апарати повітряного охолодження газу. На магістральних газопроводах менших діаметрів газ встигає охолоджуватися внаслідок теплообміну з ґрунтом. На кінцевому пункті магістрального газопроводу і кінцевих пунктах відгалужень газ надходить у газорозподільну станцію, де його тиск знижується до величини, яка допускається у цій газорозподільній системі.

Газопроводи мають певні особливості, обумовлені великим питомим об’ємом газу і змінами цього об’єму під впливом тиску. До таких особливостей відносяться збільшені діаметри газопроводів у порівнянні з нафтопроводами.

Іншою особливістю магістрального газопроводу є підтримка значного тиску у кінці перегонів між станціями газопроводу, який має на всьому протязі один діаметр. Наприклад, якщо на нафтопроводі початковий тиск нафти на насосній станції, що дорівнює 5 МПа, знижується до кінця перегону практично майже до нуля, то на газопроводі тиск у кінці перегону підтримується на рівні 2 МПа, що відповідає оптимальним параметрам перекачування [5].

Ще однією особливістю магістральних газопроводів є необхідність спецзаходів по запобіганню утворенню гідратних пробок і заходів, які пов’язані з підвищеною вибухонебезпечністю. Основна особливість магістральних газопроводів – це дуже високі вимоги до безперебійності перекачування.

Вміст вологи у перекачуваному газі становить велику небезпеку через можливу закупорку газопроводу гідратними пробками чи звуження його робочого перерізу.

Основні умови гідратоутворення – наявність у газі вологи, високий тиск і певний мінімум температури, який у багатьох випадках значно вищий від нуля. Утворенню гідратів також сприяє перемішування газового потоку [5].

Сірководень і вуглекислота, що містяться у природному газі, є корозійними агентами, які дуже активно сприяють внутрішній корозії труб [5].

Велику пожежонебезпеку становить витік газу із трубопроводу, оскільки газ із повітрям у певних пропорціях утворює «гримучу» суміш. Особливо небезпечний витік газу у закритих приміщеннях [5].

Природний газ у повітрі важко виявити, оскільки він не має запаху. Для цього проводять його одоризацію на головній компресорній станції і на кінцевому пункті магістрального газопроводу. Речовини, що вводять у газ, називаються одорантами.

Для компенсації сезонної нерівномірності газоспоживання поблизу кінцевого пункту магістральних газопроводів споруджуються підземні

газосховища або сховища зрідженого природного газу (ЗПГ), в яких влітку створюється запас газу для подальшого його використання взимку або при збільшенні споживання [5].

Для наземного зберігання газу використовуються [5]:

1) циліндричні (вертикальні і горизонтальні) або сферичні газгольдери постійного об'єму і змінного тиску;

2) газгольдери змінного об'єму і постійного тиску;

3) природні підземні газосховища.

В якості підземних газових сховищ застосовують:

1) виснажені нафтові і газові родовища;

2) різні геологічні пастки пластових водонапірних систем;

3) природні або штучно створені у землі тріщини, каверни, печери, стінки яких зміцнюють і герметизують.

Підземні газові сховища розташовуються на трасі перед великими споживачами газу.

Зріджений або скраплений природний газ – природний вуглеводневий газ, який за нормальних температури і тиску навколишнього середовища перебуває у газоподібному стані, однак при дуже низькій температурі переходить у рідкий стан, що значно полегшує його зберігання і перевезення.

Основна сировина для одержання зріджених вуглеводних газів є [5]:

а) супутній нафтовий газ на газобензинових заводах;

б) газ термічної і термокаталітичної переробки нафти і нафтопродуктів на установках термічного каталітичного крекінгу, піролізу і коксування, алкілювання та інших процесів;

в) штучні гази на заводах синтетичного моторного палива (заводи деструктивної гідрогенізаційної переробки вугілля і важких нафтопродуктів, синтезу моторного палива з оксиду вуглецю та водню тощо);

г) природні гази, які містять, крім метану, важкі вуглеводні; оскільки у природних газах обсяг важких вуглеводнів (пропану і бутану) невеликий, зріджений газ одержують із них дуже рідко;

д) газоконденсатні родовища промислового значення.

Активно розвивається транспортування компримованого природного газу морським шляхом. Технологія CNG (Compressed Natural Gas) – це нова перспективна технологія транспортування природного газу у стиснутому стані на спеціальних суднах (судна CNG). Газ завантажується на судна безпосередньо з родовища і розвантажувати безпосередньо у споживчу мережу, що виключає великі витрати на будівництво морських трубопроводів або заводів зі скраплення газу для доставки його на ринок суднами LNG.

Одним з альтернативних способів є контейнерне транспортування компримованого газу (КПГ), яке пов'язане із обслуговуванням незначних і спеціалізованих газових потоків – автотранспортні заправки, газопостачання до районів з незначним споживанням тощо.

1.3 Особливості з’єднання обладнання, що використовується для реалізації технологічних процесів

Трубопровідна арматура та обладнання приєднується до труб кількома основними способами, які визначають надійність, герметичність системи та можливість її обслуговування. Всі типи з'єднань поділяються на роз'ємні (дозволяють багаторазовий монтаж) та нероз'ємні.

Роз'ємні з'єднання

Фланцеве: кріплення за допомогою металевих пластин (фланців), які стягуються болтами або шпильками через ущільнювальну прокладку. Забезпечує високу міцність і герметичність, ідеально для труб великого діаметра та промислових магістралей.

Швидкорозбірне з'єднання: ШРЗ, такі як Camlock, Bauer, SMS, ISO-K або Кламп.

Муфтове: з'єднання, де арматура накручується на трубу за допомогою внутрішньої різьби (циліндричної або конічної). Зазвичай використовується в побутових мережах водопостачання та опалення (діаметром до 50 мм).

Штуцерне: з'єднання, яке фіксується за допомогою накидної гайки та спеціального штуцера з різьбою. Застосовується для приладів контролю, шлангів та систем високого чи низького тиску малого діаметра.

Цапкове: різновид різьбового з'єднання, але з зовнішньою різьбою на патрубку арматури, який вкручується всередину відповідної деталі. Часто використовується у пожежній арматурі.

Нероз'ємні з'єднання

Зварне: арматура приварюється до трубопроводу (встик або розтрубом). Забезпечує абсолютну герметичність без потреби в обслуговуванні, використовується на критично важливих і високотемпературних ділянках.

Клейове (для пластику): здійснюється за допомогою спеціальних хімічних розчинників (холодне зварювання), які сплавляють пластик. Поширене для каналізаційних ПВХ труб та систем водопостачання.

Значна частина трубопроводів різного призначення монтують за допомогою зварювання, стики служать довше і гарантують надійність, але трапляється таке що зварений спосіб не доречний з тієї причини, як наприклад: в процесі експлуатації необхідне розбирання для виконання модифікацій (профілактики) або умови місця укладання неприйнятні. В подібних випадках на допомогу приходить фланцеве з'єднання. Практичність, надійність і герметичне з'єднання стиків не поступається зварному і простіше в монтажі.

Фланцеві з’єднання є одними з найбільш широко використовуваних в промисловості, в першу чергу для з’єднання з секціями чи сегментами трубопроводів, а також для з’єднання з апаратами, посудинами, арматурою та приєднання різного роду пристроїв. Фланцеві з’єднання найчастіше приварюються до трубопровідних труб, вони, як правило, круглої форми, виготовляються з чорної вуглецевої сталі (без нанесення покриття), або ж оцинкованої чи нержавіючої сталі. Фланцеве з’єднання ущільнюється (манжетом , прокладкою) і прикручується по периметру фланця (шпильками чи болтами крізь отвори). Фланці мають ущільнювальну площину, адаптовану до типу прокладки. Найчастіше використовується плоска прокладка.

Фланці, що застосовуються у промисловості, виготовляються відповідно до стандартів із зазначенням їх типу, розмірів, типів ущільнювальних поверхонь, використовуваних марок сталі та допустимих тисків при заданій температурі.

З'єднуються фланці за допомогою сполучних шпильок або болтів, під які у фланцях відповідно до державних стандартів є отвори.

Для того щоб з’єднати між собою різні частини устаткування (чи частин трубопроводів) важливими є розміри під’єднань фланця та номінального діаметру (діаметр ущільнюючої поверхні фланця, зовнішній діаметр фланця, діаметр та крок отворів для болтів, кількість болтів і діаметр отворів під них).

Фланцеві з'єднання мають кілька ключових переваг над зварними, які роблять їх незамінними у багатьох технічних завданнях.

Головні переваги фланцевих з'єднань:

– простий демонтаж: систему можна легко розібрати для ремонту, чищення або заміни арматури. Зварне з'єднання доведеться лише зрізати болгаркою чи газовим різаком;

– швидке обслуговування: заміна засувки або клапана займає мінімум часу, оскільки потрібно лише розкрутити шпилькове з’єднання;

– безпечний монтаж: не потребує зварювального апарату. Це критично важливо на об'єктах з високою пожежною чи вибухонебезпечністю (нафтобази, газові заправки);

– комбінування матеріалів: дозволяють легко з'єднувати труби з різних матеріалів (наприклад, пластикову трубу зі сталевою засувкою). Зварити їх напряму неможливо;

– не потрібні зварювальники: для монтажу потрібні лише гайкові ключі та базова кваліфікація слюсаря, а не дорогі послуги сертифікованого зварювальника;

– візуальний контроль: стан ущільнення та шпильок з гайками легко оцінити візуально під час огляду.

Фланцеві з'єднання переважають швидкорозбірні з'єднання у капітальних та високонавантажених системах завдяки наступним характеристикам:

– високий робочий тиск: фланці витримують тиск понад 40–100 бар і більше. Більшість швидкорозбірних з'єднань деформуються або протікають уже при тиску понад 10–16 бар;

– стійкість до гідроударів: масивна конструкція та фіксація багатьма болтами надійно поглинають різкі скачки тиску в системі. ШРЗ від гідроудару можуть розімкнутися або деформуватися;

– надійність при великих діаметрах: фланці є стандартом для труб діаметром від 100-150 мм і до кількох метрів. Швидкорозбірні муфти великих розмірів стають занадто важкими, громіздкими та втрачають герметичність;

– робота з високими температурами: сталеві фланці з паронітовими чи графітовими прокладками працюють при температурах +300°С і вище. ШРЗ зазвичай обмежені термостійкістю своїх гумових чи силіконових ущільнювачів;

– довговічність та статичність: фланцеве з'єднання розраховане на десятиліття нерухомої роботи. ШРЗ мають рухомі елементи (важелі, замки, затискачі), які з часом зношуються, розхитуються та потребують заміни;

– стійкість до механічних навантажень: фланцевий стик витримує значні згинаючі зусилля та вагу важкої арматури. ШРЗ чутливі до перекосів та зовнішніх ударів.

Як бачимо, фланцеві з’єднання мають цілий ряд досить відчутних переваг над зварними чи швидко розбірними з’єднаннями.

Фланцеві з'єднання мають ряд конструктивних та експлуатаційних особливостей, які визначають правила їхнього монтажу та сфери застосування.

Основні конструктивні особливості:

– збірна конструкція – з'єднання завжди складається з трьох елементів: двох фланців, пружної прокладки між ними та кріплення (болтів або шпильок з гайками);

– за рахунок стискання герметичність досягається не за рахунок щільності різьби чи зварювання, а завдяки сильному та рівномірному затисканню прокладки між дзеркалами фланців;

– різноманітність поверхонь (дзеркал) – фланці мають різні типи ущільнювальних поверхонь – гладкі, з виступом-впадиною, або з шипом-пазом (для роботи з небезпечними середовищами або під високим тиском).

Експлуатаційні особливості:

– чутливість до перекосів: при монтажі фланці повинні бути суворо паралельними. Навіть незначний перекіс призведе до нерівномірного затискання прокладки та протікання;

– необхідність регулярної підтяжки: під впливом вібрацій та температурних коливань кріплення може послаблюватися, тому фланці потребують періодичного огляду та контрольної підтяжки болтів;

– значна вага та габарити: фланцеві вузли є масивними. Вони збільшують загальну вагу трубопроводу та потребують більше вільного простору навколо труби для монтажу.

Особливості правильного монтажу:

– послідовність «хрест-навхрест»: затягувати шпильки чи болти можна лише за спеціальною схемою (навхрест), поступово нарощуючи зусилля, щоб уникнути перекосу фланців;

– одноразовість прокладок: при кожному розбиранні з'єднання ущільнювальну прокладку обов'язково замінюють на нову.

З’єднання в контактуючих фланцях, тобто в безпрокладкових фланцях, застосовують в конструкціях, які не потребують повної герметизації стику, наприклад, в механіці (шатунах, корпусах машин, редукторах тощо). Розрізняють з’єднання зі стиком, що мають полосову, кільцеву чи інші форми.

З’єднання з неконтактуючими фланцями широко використовуються в трубопроводах, посудинах, апаратах, арматурі і т.д. В таких з’єднаннях сили затягування шпильок чи болтів передаються на ущільнювач (прокладку, кільце), який герметизує стик. Розрізняють з’єднання з цільними та вільними неконтактуючими фланцями (кільцями), а також фланці, які виконані як одне ціле з трубою (корпусом) чи приєднані до труби (корпусу) зварюванням, різьбою,

розвальцюванням чи на заклепках. Деякі види фланцевих з'єднань стандартизовані.

1.4 Постановка завдань досліджень

Газотранспортна система України є однією з найбільших у світі. Вона виконує дві основні функції: постачання природним газом внутрішніх споживачів та транзитне транспортування через територію України у країни Західної та Центральної Європи, а також у зворотному напрямку.

Станом на початок повномасштабних бойових дій в Україні газотранспортна система мала наступні параметри:

– довжина газопроводів – 37,0 тис км;

– пропускна здатність – 288 млрд. $м^3$ на рік;

– кількість компресорних станцій – 72;

– кількість компресорних цехів – 110;

– кількість газоперекачувальних агрегатів – 702;

– кількість підземних газових сховищ – 13;

– загальна активна місткість підземних сховищ газу – 31 млрд. $м^3$;

– кількість газорозподільних станцій – 1437.

Збір, підготовка і транспортування газу і нафти – комплексна задача, яка потребує багатьох структурних елементів і вузлів, повністю залежна від якості техніки.

Конфігурація системи збору вибирається виходячи з: безперебійної подачі газу в магістральний газопровід; маневреності; зручності обслуговування газозбірної мережі; мінімальних витрат на її спорудження та експлуатацію.

Структурна схема газового промислу включає три комплекси:

1) основного виробничого призначення;

2) допоміжного виробничого призначення;

3) невиробничого призначення.

Необхідну кількість і резерв технологічного обладнання приймають диференційовано по технологічних устаткуваннях з урахуванням можливості вирівнювання сезонної нерівномірності роботи газопроводу, проведення планових ремонтів і ліквідації можливих аварійних ситуацій. На УППГ, УКПГ і ГС автоматизованого блочно-модульного промислу число модулів збирання газу чи арматурних блоків, що входять у нього, визначають ділення максимальної кількості шлейфів свердловин, які підключаються до УППГ, УКПГ і ГС, на число шлейфів свердловин, які підключені до модуля. До однієї УППГ, УКПГ і ГС підключають не більше 8 модулів і в кожному модулі по 5-6 шлейфів свердловин.

Саме це та об’ємність газотранспортної системи обумовила широке розповсюдження фланцевих з’єднань в хімічній, нафтохімічній та нафтогазовій галузях промисловості.

Фланцеві з’єднання – це тип з’єднання двох частин конструкції за допомогою фланця, плоского або круглого кільця з отворами для болтів або інших з’єднувальних елементів. Цей метод використовується у багатьох металевих конструкціях, зокрема в трубопровідній промисловості, енергетичному секторі та суднобудуванні.

Головна перевага фланцевих з’єднань полягає в їхній надійності та можливості швидкого монтажу та демонтажу. Це дає можливість легко обслуговувати та ремонтувати системи без необхідності розбирання всієї конструкції. Фланці також забезпечують герметичність і запобігають витокам рідин або газів, що робить їх ідеальними для трубопроводів, які переносять різні середовища.

У конструкціях металевих фланцеві з’єднання застосовуються в різноманітних галузях, таких як хімічна промисловість, нафтогазова промисловість, електроенергетика та інші, де важлива висока ступінь надійності та ефективності. Вони використовуються для з’єднання труб, резервуарів, апаратів та інших елементів систем, де потрібна стійкість до великих тисків і температур.

Фланцеві з’єднання можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як вуглецева сталь, нержавіюча сталь або леговані сплави, залежно від умов

експлуатації і вимог конкретного застосування. Цей метод з’єднання є важливим елементом інженерних рішень, спрямованих на забезпечення безпеки та ефективності промислових систем.

Оскільки цей тип з'єднання широко застосовується в багатьох сферах діяльності, фланці відрізняються великою видовою різноманітністю, як за формою, конструкцією, так і за технічними характеристиками та промисловими нормативами.

Наукові дослідження стану питання та тенденції розвитку конструктивно-технологічного виконання фланцевих з’єднань ґрунтуються на критичному та порівняльному аналізі науково-технічних джерел інформації та перш за все – патентної інформації провідних країн світу, оскільки саме в патентній документації приводяться відомості про інноваційні розробки у відповідній галузі техніки й технології.

Постає завдання за допомогою методів аналізу та синтезу систематизувати фланцеві з’єднання, які впливають на ефективність експлуатації обладнання та трубопроводів нафтогазової промисловості. Для кожного виду фланцевих з’єднань слід розробити ґрунтовну класифікацію, на основі якої докладно розглянути найбільш перспективні конструкції, запропоновані науковцями, конструкторами та винахідниками провідних країн світу.

Конструкції фланцевих з’єднань слід проаналізувати залежно від ступеня складання, ступеня рухливості їхніх конструктивних елементів, можливості зняття фланців без демонтажу всього з’єднання, механізму стискання ущільнювальної прокладки, наявності додаткових функцій, а також матеріалу фланців.

Незважаючи на значну різноманітність розроблених конструкцій фланцевих з’єднань, найбільш затребуваними промисловістю залишаються апробовані у виготовленні та експлуатації плоскі приварні та приварні встик фланці, а також вільні фланці на приварному кільці. Проте завдяки успіхам матеріалознавства та комп’ютерного моделювання пошуки нових конструкцій фланцевих з’єднань продовжуються.

У відповідності до вищесказаного в даній роботі необхідно вирішити наступні завдання:

– визначити умови експлуатації фланцевих з'єднань обладнання устя, системи збору, підготовки та транспортування газу;

– здійснити класифікацію типів, параметрів та особливостей конструкції фланцевих з'єднань, фланців та прокладок фланцевих з'єднань;

– визначити експлуатаційні навантаження та методи їх розрахунку;

– визначити необхідні рекомендації по вибору конструкційних матеріалів елементів фланцевих з'єднань;

– обгрунтувати заходи щодо монтажу, випробування, технічного обслуговування та ремонту обладнання з фланцевими з'єднаннями, визначення та контролю моменту затягування кріпильних елементів фланцевих з'єднань.

2 ФЛАНЦЕВІ З'ЄДНАННЯ СИСТЕМИ ЗБОРУ, ПІДГОТОВКИ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ ГАЗУ

2.1 Умови експлуатації фланцевих з'єднань обладнання устя, системи збору, підготовки та транспортування газу

Природній газ характеризується високим вмістом метану (CH_4) – від 68 % до 99 %), а вміст важких вуглеводнів досить незначний – від 0 до 6,0 %. Більшість природних газів містить від 1 до 5 % невуглеводневих компонентів: діоксиду вуглецю, сірководню, сірковуглецю та ін.

Основні показники якості газу:

– газ при транспортуванні не повинен викликати корозію елементів фонтанної арматури, приладів, трубопроводів та іншого обладнання (вміст механічних домішок, сірководню, сірки та кисню повинен бути у допустимих межах);

– якість транспортування газу від вибою до споживача повинна забезпечувати його переміщення в газоподібному однофазному стані;

– газ, поданий споживачу, не повинен викликати ускладнень під час його використання.

Природний газ містить у вигляді домішок тверді механічні домішки (тверді частинки гірської породи, пісок, окалину), пари води, газовий конденсат, сірководень та вуглекислий газ. Наявність у газі водяної пари, рідких вуглеводнів, агресивних та механічних домішок значно знижує пропускну здатність трубопроводів, збільшує витрату інгібіторів, посилює корозію, підвищує необхідну потужність компресорних агрегатів, забиває лінії контрольно-вимірювальних та регулюючих приладів.

На практиці експлуатації обладнання високого тиску в умовах газового середовища що містить абразивні домішки виявляються слабі вузли і деталі фонтанної арматури. До них відносяться перш за все деталі затвора засувок фонтанної арматури, деталі фланцевих з'єднань, кульки, розрядні пробки, ущільнювальні деталі, насадки дроселів, біметалічні гайки засувок і деякі інші.

По своєму призначенню ФА має бути розрахована на тривалу безупинну роботу в тяжких умовах великих тисків і температур. Так, пластовий тиск при видобутку вуглеводнів може досягати 80 - 90 МПа, температура на усті 135 - 150 °С, і це при тому, що дебіт газу досягає 1,52 млн. м³/добу, більше того, в продукції свердловини можуть міститися агресивні складові: H_2S - до 6% і CO_2 - до 12%. За таких умов роботи свердловини відбувається інтенсивне "вимивання" матеріалу деталей арматури, виходять з ладу ущільнення, втрачається герметичність запірних органів, що в результаті призводить до залучення значних матеріальних ресурсів для відновлення і підтримки працездатності устаткування. В зв'язку з цим, при проектуванні і виготовленні фонтанного устаткування, в тому числі запірної арматури, пред'являються надзвичайно високі вимоги.

Наявність твердих механічних домішок приводить до абразивного зношування елементів фонтанної арматури (фланцевих з’єднань, трійників, хрестовин, деталей запірних та регулюючих пристроїв, які контактують з потоком газу), труб, деталей компресорного обладнання, засмічення контрольно-вимірювальних приладів. Крім того, пил і механічні домішки сприяють утворенню осаду на поверхнях теплообмінних апаратів, погіршують їх теплові характеристики.

Краплі рідини та мехдомішки створюють ударний вплив на рухомі частини компресорів, значно ускладнюють переробку газу, забивають труби та обладнання, що призводить до порушення їх нормальної роботи.

Присутність водяної пари призводить до корозії обладнання, а також до утворення у трубопроводах гідратів.

Наявність водяної пари у вуглеводневих газах пов'язана з контактом газу і води в пластових умовах, а також з умовами їхньої подальшої обробки (сепарації, очищення від домішок та ін.) [6].

Зазвичай важкі вуглеводневі гази за тих самих умов містять парів води менше, ніж легкі. Наявність у газі H_2S і CO_2 збільшує вміст парів води, а наявність азоту – зменшує [6].

Конденсат вуглеводнів має властивість осідати в низьких ділянках газопроводів, зменшуючи їх прохідний переріз або повністю перекриваючи його.

Сірководень є шкідливою домішкою, а в присутності вологи здатний утворювати розчини сірчаної та сірчистої кислот, які значно збільшують швидкість корозії обладнання. При вмісті більше 0,01 мг на 1 $дм^3$ повітря робочої зони сірководень є отруйним.

Наявність домішок вуглекислого газу знижує теплоту згоряння, а також призводить до корозії обладнання. Тому його слід відокремлювати на газових промислах.

Присутність водяних парів за певних умов (зниження температури, підвищення тиску) призводить до утворення газових гідратів, які здатні забивати труби, вентилі та інше обладнання, що призводить до виникнення аварійних ситуацій.

Газ транспортується на значні відстані від свердловин до споживачів по магістральним газопроводам змінюючи різні кліматичні зони. В зв’язку з цим якісна обробка та осушення до точки роси, що виключає конденсацію води, набуває особливого значення. Точка роси – це температура, за якої компоненти газової суміші досягають стану насичення і конденсуються. Точка роси за вологою – температура конденсації вологи, а точка роси за вуглеводнями – температура конденсації вуглеводнів з газової суміші.

Зниження температури при транспортуванні газу за постійного тиску зменшує рівновагу концентрації компонентів газу. В цьому випадку газ стає перенасиченим. При цьому частина вологи або вуглеводнів конденсується та випадає у внутрішніх об’ємах обладнання та труб.

При великому вмісті кисню в газовій суміші (більше 1 %) газ стає вибухонебезпечним. Також наявність кисню сприяє посиленню корозії у газотранспортній системі.

До небажаних хімічних домішок, що містяться в природних газах, відносяться корозійно-агресивні та токсичні сірковмісні сполуки, а також негорючі інертні гази, які значно знижують теплоту згоряння вуглеводневого газу.

2.2 Типи та параметри фланцевих з'єднань

Фланцеві з’єднання технологічного та допоміжного устаткування є найбільш поширеним видом роз’ємних з’єднань у нафтогазовій промисловості, нафтопереробному, нафтохімічному та енергетичному машино- та апаратобудуванні, а також трубопроводів та призначені для роз’ємного та герметичного з’єднання гирлової арматури, труб, трубопровідної арматури, приєднанням труб одна до одної, до апаратів і ємностей, для з'єднання деталей, що обертаються.

Фланці застосовують для з'єднання систем подачі будь-яких видів речовин: води, газу, нафти, агресивних рідких речовин, вуглеводнів, стічних вод тощо. Цей тип з'єднання є чудовою альтернативою іншим способам: різьбовим та зварним з'єднанням, які на практиці мають низку недоліків.

Основні функції, які можуть виконувати різні типи фланців:

– з'єднання прямих і колінчастих трубопроводів будь-якого діаметра, з різним тиском транспортованої речовини. З'єднання труб за допомогою фланців дозволяє легко проводити ремонт і заміну окремих частин траси.

– з'єднання із запірною арматурою, перекривними кранами та вентилями з можливістю швидкого демонтажу цих елементів, обслуговування та заміни.

– монтаж лічильників та іншої вимірювальної апаратури.

– встановлення тимчасових або постійних заглушок, для цього застосовують спеціальні види фланців.

Окрім швидкого демонтажу елементів, різні типи фланцеві з’єднання повинні відповідати стандартам, забезпечуючи безпечне транспортування агресивних рідин, роботу під високим тиском в умовах критично низьких і високих температур.

В роботі розглянуто основні рекомендації з проектування фланцевих з'єднань, що використовуються на сьогодні на національному та міжнародному

рівнях, а також нові методи проектування, з акцентуванням на стандарт EN1591 [21].

Фланцеві з’єднання пов'язані з багатьма важливими факторами, що включають конструктивну раціональність, експлуатаційну надійність, ефективність, зручність обслуговування та вартість. Відмова системи фланцевих з'єднань впливає на економічні вигоди, навколишнє середовище та енергетику, а аварії, що можуть трапитись, загрожують здоров'ю та безпеці життя людей. Сьогодні в світі є тенденція до збільшення масштабів обладнання, що працює під тиском, та підвищення уваги до енергетичних та екологічних питань, розмір обладнання, робочий тиск та робоча температура зростають, проблеми ущільнення фланцевих з’єднань привертають широку увагу фахівців та науковців. Саме через це покращення рівня проектування та виробництва фланцевих з'єднань має важливе економічне та соціальне значення.

Стандартне фланцеве з'єднання складається з двох симетричних фланців (дисків з отворами) або одного фланця з отвором, а іншого з кришкою (заглушкою) з прокладкою між ними, які стягуються між собою щонайменше чотирма болтами або шпильками (рис. 2.1).

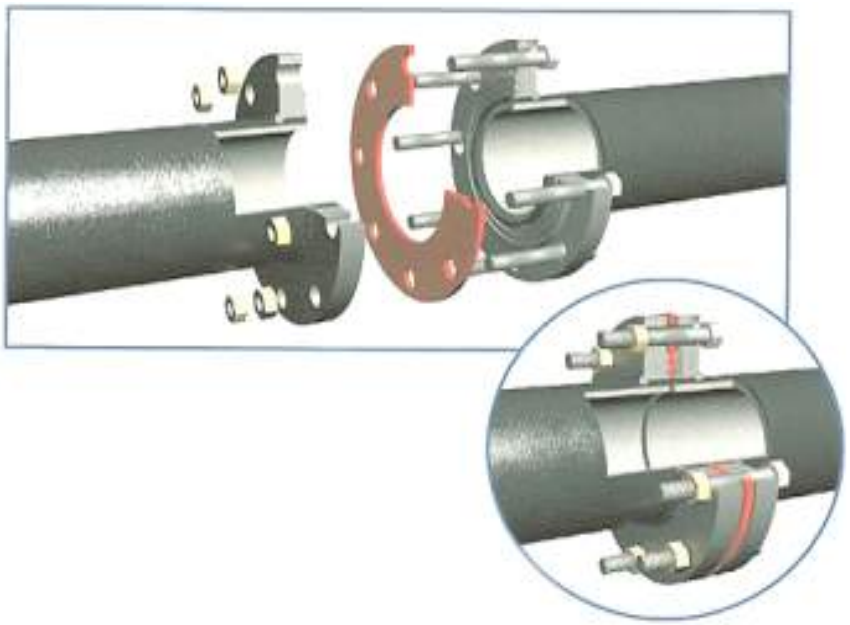


Рисунок 2.1 – Фланцеве з’єднання

Фланцеві з’єднання поділяються за наступними ознаками: за призначенням, зовнішньою формою, конструкцією ущільнюючої поверхні, конструктивним особливостям, способом монтажу та конструкційними матеріалами.

За призначенням фланцеві з’єднання поділяються на апаратні та для арматури і трубопроводів. Вони регламентуються різними стандартами і відрізняються за конструкцією, розмірами та використанням.

За зовнішньою формою фланцеві з’єднання бувають: круглі, квадратні, овальні, прямокутні та фігурні. Найбільш поширені круглі фланці, оскільки вони більш прості у виготовлені.

Фланцеві з’єднання найчастіше приварюються до трубопровідних труб, вони, як правило, круглої форми, виготовляються з чорної вуглецевої сталі (без нанесення покриття), або ж оцинкованої чи нержавіючої сталі. Фланцеве з’єднання ущільнюється (манжетом, прокладкою) і прикручується по периметру фланця (болтами крізь отвори).

Герметичність фланцевого з’єднання забезпечується за рахунок прокладки, яка виготовлена з більш м’якого матеріалу, ніж фланець (з металу, пароніту, гуми чи фторопласту), та встановлюється між торцями фланців. При затягування з’єднання прокладка деформується та заповнює всі нерівності на поверхні фланців.

До головних параметрів фланцевих з’єднань відносяться: номінальний (умовний) прохід (DN чи $Д_у$) та номінальний (умовний) тиску (PN чи $Р_у$).

Для кріплення фланцевих з’єднань при тиску до 1,6 МПа і температурі до 200 °С застосовують болтові з’єднання. При більш високих температурах і тисках використовуються шпильки з гайками з обох боків, оскільки у головок болтів виникають значні місцеві напруження.

Для з’єднань, що потребують постійного розбирання, застосовують відкидні болти (рис. 2.2), які кріплять на окремій осі або на загальному кільцевому стрижні.

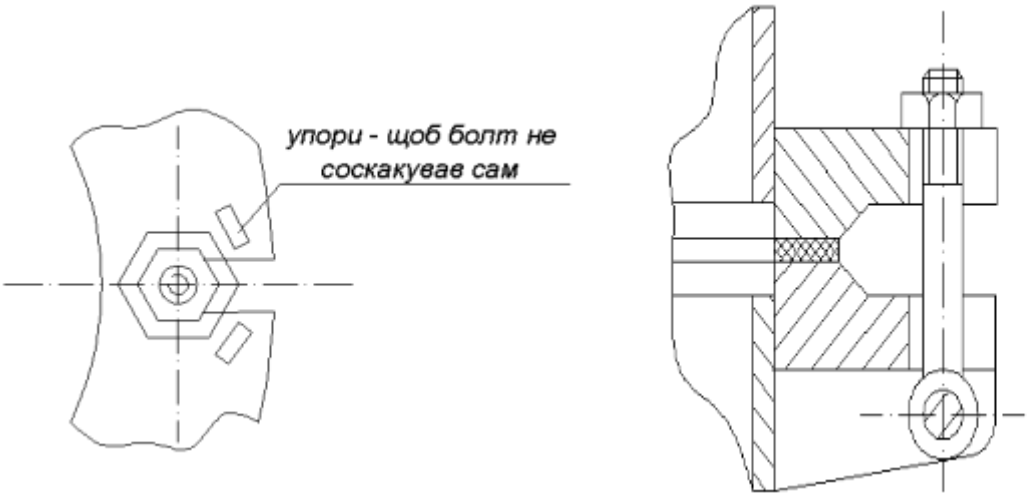


Рисунок 2.2 – Відкидні болти

Фланцеві з’єднання, що застосовуються у промисловості, виготовляються відповідно до стандартів із зазначенням їх типу, розмірів, типів ущільнювальних поверхонь, використовуваних марок сталі та допустимих тисків при заданій температурі.

З 01.06.2022 року в Україні був прийнятий в дію стандарт на фонтанну та нагнітальну арматуру нафтових та газових свердловин ДСТУ ГОСТ 13846:2022 - Арматура фонтанна й нагнітальна. Типові схеми, основні параметри і технічні вимоги до конструкції [20]. Однак через загарбницьке вторгнення Росії на територію України та повну відмову в нашій державі від усього, що пов’язано з країною-агресором даний стандарт був скасований з 01.01.2026 р. згідно з Наказом від 29.08.2025 № 227.

В роботі [25] вказано, що на даний час в Україні використовуються два типи конструктивного виконання фланцевих з’єднань для устьової фонтанної арматури:

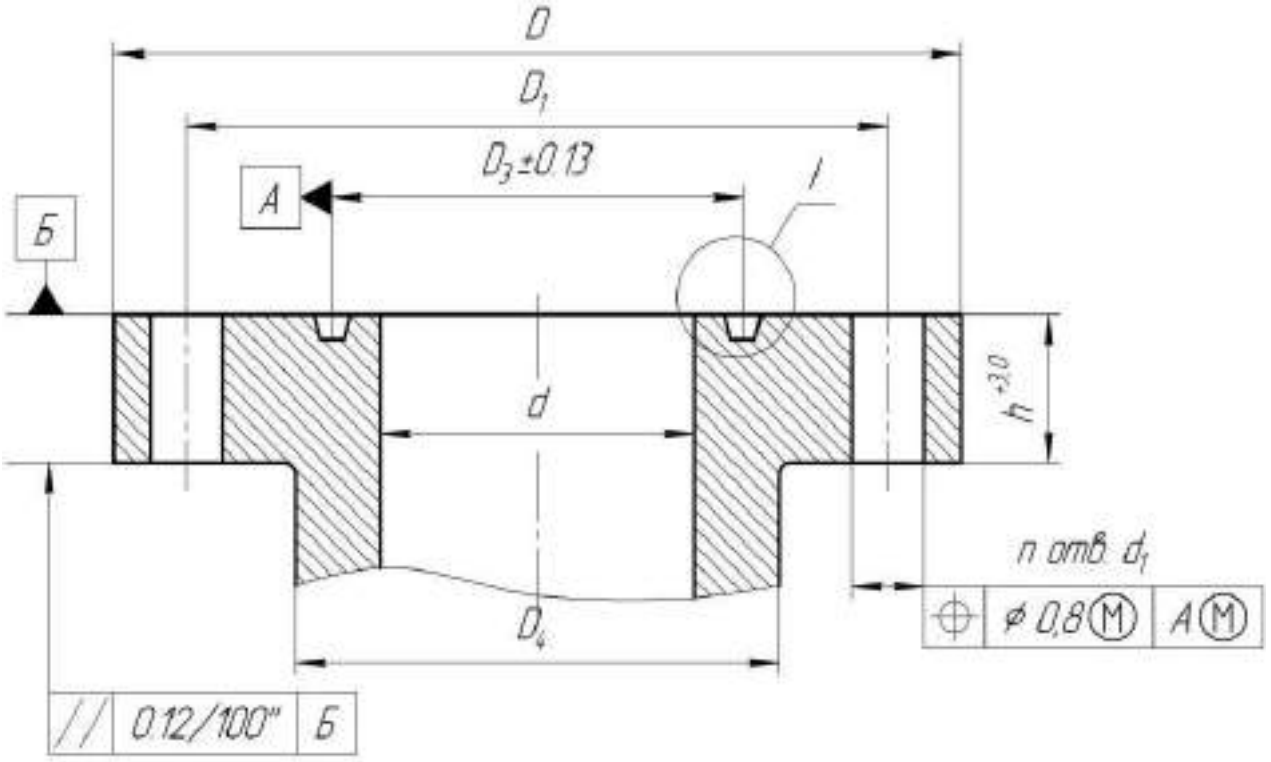
– тип 1 – фланцеві з’єднання із зазором між торцями фланців;

– тип 2 – фланцеві з’єднання без зазору між торцями фланців.

Розмірний ряд фланцевих з’єднань характеризується двома параметрами – умовним діаметром і робочим тиском [25].

Діапазон використання фланцевих з’єднань із зазором між торцями, а також параметри і конструкція фланців приведені відповідно в таблиці 2.1 та на рисунку

2.3. З’єднання передбачає використання сталевих ущільнювальних прокладок ортогонального поперечного перерізу з двостороннім контактом. Ущільнення з’єднання досягається в результаті створення контактних напружень на спряжених поверхнях, величина яких залежить від зусилля затягування фланців і внутрішнього тиску [25].



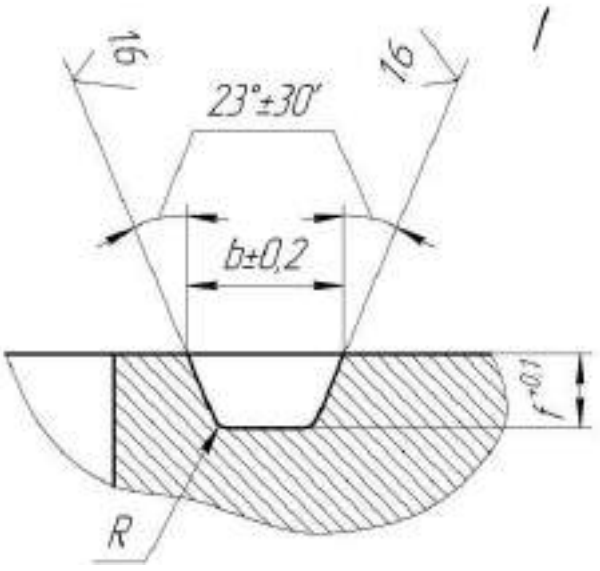


Рисунок 2.3 – Фланець типу 1

Таблиця 2.1 – Параметри фланців типу 1. Розміри, мм [25]

Позначення фланця	Діаметр прохідного отвору, d, не більше	Діаметр ділильного кола центрів отворів під шпильки, D_1	Середній діаметр канавки під прокладку, D_3	Зовнішній діаметр, D	Діаметр шийки, D_4	Діаметр отворів під шпильки, d_1	Кількість отворів під шпильки	Повна висота тарілки фланця, h	Ширина канавки, b	Глибина канавки, f	Позначення прокладки	Різьба шпильок
p = 14 МПа												
50×14	52	127,0	82,5	165	84	19	8	34	12,0	8,0	П23	М16
65×14	65	149,0	101,6	190	100	23	8	37	12,0	8,0	П26	М20
80×14	80	168,0	123,8	210	118	23	8	40	12,0	8,0	П31	М20
100×14	103	216,0	149,2	275	153	25	8	46	12,0	8,0	П37	М22
180×14	180	292,0	211,1	355	223	28	12	56	12,0	8,0	П45	М24
p = 21 МПа												
50×21	52	165,0	95,2	215	105	25	8	46	12,0	8,0	П24	М22
65×21	65	190,5	107,9	245	124	28	8	50	12,0	8,0	П27	М24
80×21	80	190,5	123,8	242	127	25	8	46	12,0	8,0	П31	М22
100×21	103	235,0	149,2	292	159	32	8	53	12,0	8,0	П37	М27
p = 35 МПа												
50×35	52	165,0	95,2	215	105	25	8	46	12,0	8,0	П24	М22
65×35	65	190,5	107,9	245	124	28	8	50	12,0	8,0	П27	М24
80×35	80	203,0	136,5	265	134	32	8	56	12,0	8,0	П35	М27
100×35	103	241,0	161,9	310	162	36	8	62	12,0	8,0	П39	М33

Діапазон використання фланцевих з’єднань без зазору між торцями, а також параметри і конструкція фланців приведені відповідно в таблиці 2.2 та на рисунку 2.4. З’єднання передбачає використання сталевих ущільнювальних прокладок ортогонального поперечного перерізу з одностороннім контактом. При складанні такого фланцевого з’єднання прокладка дотикається лише до зовнішньої поверхні ущільнювальної канавки на фланці. При затягуванні шпильок з’єднання прокладка зазнає радіальної деформації, в результаті чого, в зоні контакту прокладки з ущільнювальною канавкою виникають контактні напруження. Даний тип фланцевого з’єднання належить до самоущільнювальних з’єднань. Внаслідок одностороннього контакту прокладки і канавки підвищення внутрішнього тиску приводить до підвищення контактних напружень між прокладкою і зовнішньою поверхнею канавки, в результаті чого підвищується герметичність з’єднання [25].

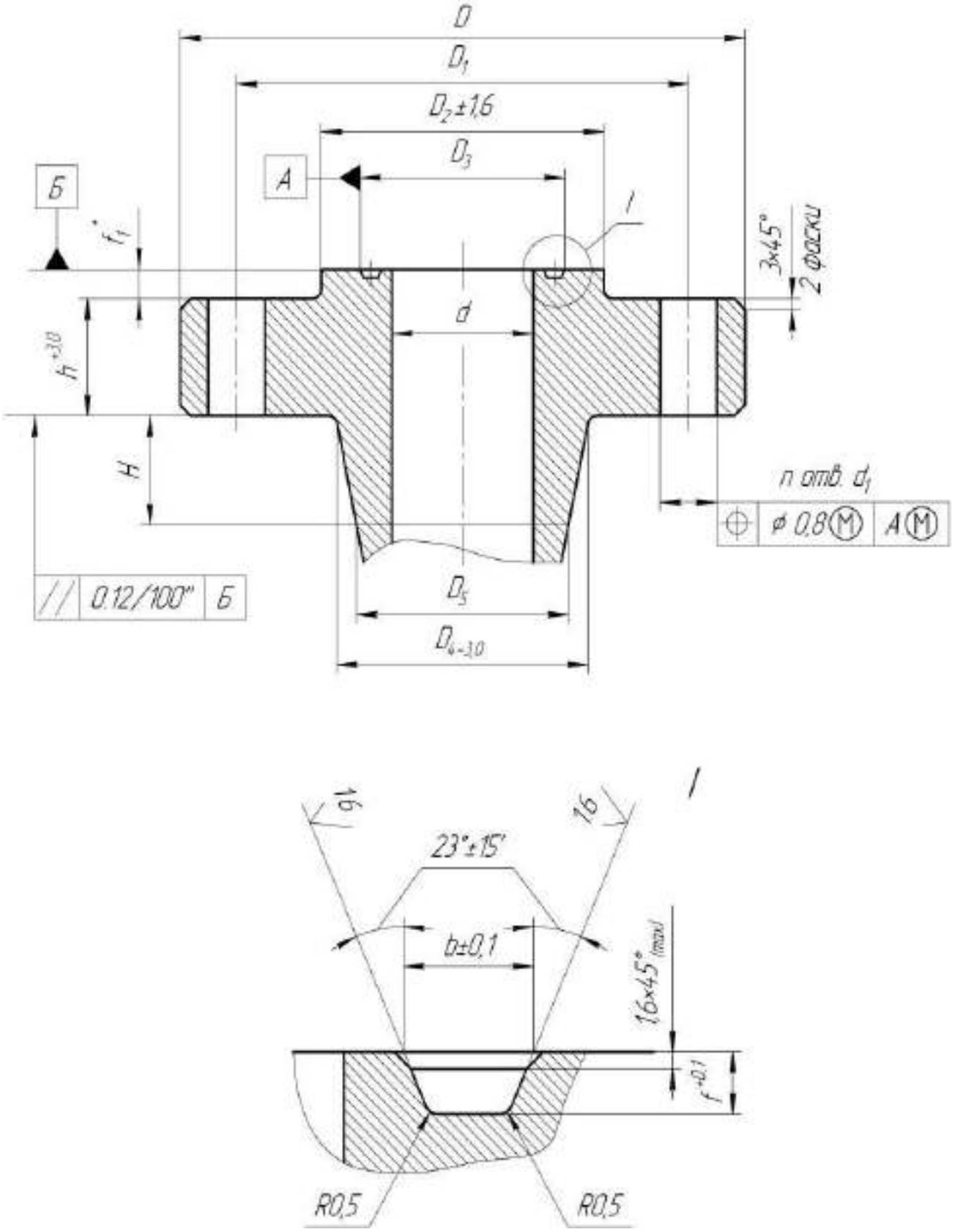


Рисунок 2.4 – Фланець типу 2

Таблиця 2.2 – Параметри фланців типу 2. Розміри, мм [25]

Позначення фланця	Діаметр прохідного отвору, d, не більше	Діаметр ділильного кола центрів отворів під шпильки, D_1	Зовнішній діаметр канавки під прокладку, D_3	Зовнішній діаметр, D	Діаметр шийки, D_4	Діаметр отворів під шпильки, d_1	К-ть отворів під шпильки	Повна висота тарілки фланця, h	Ширина канавки, b	Глибина канавки, f	Позначення прокладки	Різьба шпильок
p = 70 МПа												
50×70	52	158,5	86,2	200	100	23	8	44	12,6	6,0	БХ152	М20
65×70	65	184,0	102,8	230	121	25	8	51	14,1	6,8	БХ153	М22
80×70	78	216,0	119,0	270	142	28	8	58	15,4	7,5	БХ154	М24
100×70	103	258,5	150,6	315	183	32	8	70	17,7	8,3	БХ155	М27
p = 105 МПа												
50×105	52	174,5	86,2	222	111	25	8	51	12,6	6,0	БХ152	М22
65×105	65	200,0	102,8	255	129	28	8	57	14,1	6,7	БХ153	М24
80×105	78	230,0	119,0	288	154	32	8	65	15,4	7,5	БХ154	М27
100×105	103	290,5	150,6	360	195	39	8	80	17,7	8,3	БХ155	М36×3
p = 140 МПа												
50×140	52	230,2	86,2	287	154	32	8	72	12,6	6,0	БХ152	М27
65×140	65	261,9	102,8	325	173	36	8	80	14,1	6,8	БХ153	М33×3
80×140	78	287,3	119,0	357	192	39	8	86	15,4	7,5	БХ154	М36×3
100×140	103	357,2	150,6	446	243	48	8	107	17,7	8,3	БХ155	М45×3

Конструкція фланцевого з’єднання 2-го типу має експлуатаційні переваги перед з’єднанням типу 1. Воно є менш вразливим до згинальних навантажень, що можуть діяти на нього під час експлуатації [25].

Чинним стандартом передбачено використання сталевих прокладок ортогонального поперечного перерізу двох типів: тип П – для ущільнення фланцевих з’єднань із зазором між торцями фланців (рис. 2.5, табл. 2.3); тип БХ – для ущільнення фланцевих з’єднань без зазору між торцями фланців (рис. 2.6, табл. 2.4) [25].

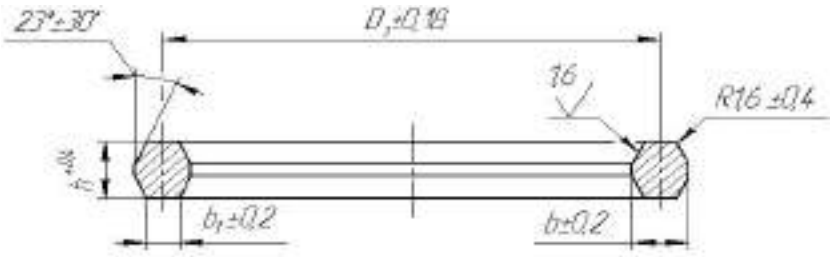


Рисунок 2.5 – Прокладка типу П

Таблиця 2.3 – Розміри прокладок типу П, мм

Позначення прокладки	Середній діаметр, D_3	Висота, h_n	Ширина, b	Ширина торця, b_1	Маса, кг, не більше
П23	82,5	16	11,1	7,7	0,38
П24	95,2	16	11,1	7,7	0,41
П26	101,6	16	11,1	7,7	0,46
П27	107,9	16	11,1	7,7	0,49
П31	123,8	16	11,1	7,7	0,71
П35	136,5	16	11,1	7,7	0,97
П37	149,2	16	11,1	7,7	0,65
П39	161,9	16	11,1	7,7	1,20
П45	211,1	16	11,1	7,7	0,92
П46	211,1	18	12,7	8,7	2,05
П49	269,9	16	11,1	7,7	1,17
П50	269,9	21	15,9	10,5	2,10
П53	323,8	16	11,1	7,7	1,41
П54	323,8	21	15,9	10,5	2,60
П57	381,0	16	11,1	7,7	1,65
П65	469,9	16	11,1	7,7	2,10
П66	469,9	21	15,9	10,5	3,89
П73	584,2	18	12,7	8,7	2,18
П74	584,2	24	19,0	12,3	3,60

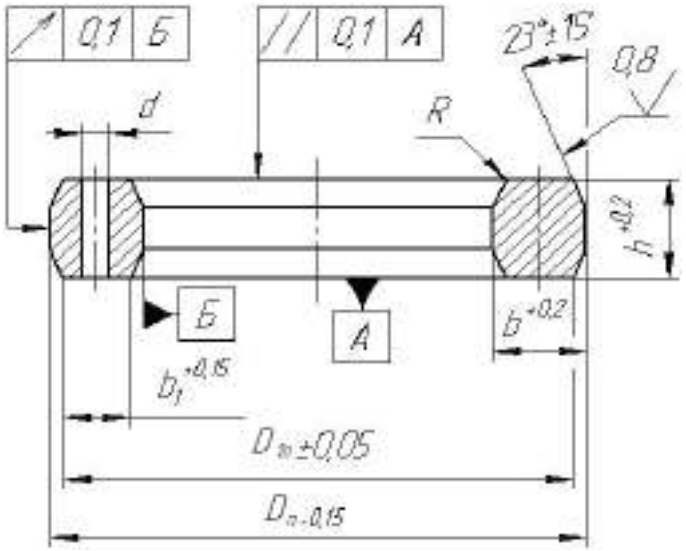


Рисунок 2.6 – Прокладка типу БХ

Таблиця 2.4 – Розміри прокладок типу БХ, мм

Позначення прокладки	Зовнішній діаметр, D_n	Зовнішній діаметр торця D_{1n},	Ширина, b	Ширина торця, b_1	Висота, h_n	Діаметр перепускного отвору, d	Радіус скруглення, R	Маса, кг, не більше
БХ152	84,7	83,2	10,20	8,8	10,2	1,6	1,0	0,19
БХ153	100,9	99,3	11,40	9,8	11,4	1,6	1,0	0,28
БХ154	116,8	115,1	12,40	10,6	12,4	1,6	1,2	0,38
БХ155	148,0	145,9	14,20	12,2	14,2	1,6	1,2	0,65
БХ156	237,9	235,3	18,60	16,0	18,6	3,2	1,6	1,90
БХ157	294,5	291,5	21,00	18,0	21,0	3,2	2,0	2,90
БХ158	352,0	348,8	23,10	19,9	23,1	3,2	2,0	4,30
БХ159	426,7	423,1	25,70	22,1	25,7	3,2	2,5	6,70
БХ160	402,6	399,2	13,70	10,4	23,8	3,2	2,0	3,20
БХ162	475,5	473,5	14,20	12,2	14,2	1,6	1,2	4,00
БХ163	556,1	551,9	17,37	13,1	30,1	3,0	3,0	6,86
БХ164	570,5	556,3	24,58	20,3	30,1	3,0	3,0	9,80
БХ165	624,7	620,2	18,50	14,0	32,0	3,2	3.0	9,50
БХ166	640,0	635,5	26,10	21,6	32,0	3,2	3,0	14,40
БХ167	759,4	754,3	13,10	8,0	35,9	1,6	3,2	10,00
БХ168	765,2	760,2	16,00	11,0	35,9	1,6	3,2	14,00

2.3 Особливості конструкції фланців та прокладок фланцевих з'єднань

Фланці згідно європейських стандартів, які називаються PN фланцями, виготовляються відповідно до стандарту EN 1092-1 [22]. Символ PN та число, що слідує за ним, означає номінальний тиск фланця, наприклад, PN16 означає робочий тиск в 16 бар (при температурі +20°C). Для з’єднання з використовуються найбільш поширені фланці PN25 і PN40.

Фланці американського стандарту, які називаються фланцями ASA, виготовляються відповідно до стандарту ASME (ANSI) B16.5 [23]. Вони мають інші розміри і не взаємозамінні з фланцями типу PN. Найчастіше використовуються такі типи фланців: ASA150 (еквівалентно PN20) та ASA300 (еквівалентно PN50).

Для того щоб з’єднати між собою різні частини устаткування (чи рукавів) важливими є розміри під’єднань фланця та номінального діаметру DN (діаметр ущільнюючої поверхні фланця, зовнішній діаметр фланця, діаметр та крок отворів для болтів, кількість болтів і діаметр отворів під них).

Замість застарілих радянських ГОСТів проектування та виготовлення фланців в Україні регламентується європейськими нормами, які були прийняті як національні стандарти:

Стандарт ДСТУ EN 1591-1:2015 «Фланці та їхні з'єднання. Правила проектування круглих фланцевих з'єднань з ущільненням. Частина 1. Обчислення (EN 1591-1:2013, IDT)» [21] описує правила розрахунку круглих фланцевих з'єднань з ущільненням.

Стандарт ДСТУ EN 1092-1:2018 «Фланці та їхні з'єднання. Круглі фланці для труб, клапанів, з’єднувальної арматури та допоміжних деталей з позначеним номінальним тиском PN. Частина 1. Сталеві фланці» [22] визначає вимоги до круглих фланців для труб, клапанів та арматури.

Стандарт ДСТУ EN 12560-5:2022 «Фланці та їх з'єднання. Прокладки для фланців, позначених класом. Частина 5. Металеві кільцеві прокладки для використання зі сталевими фланцями (EN 12560-4:2001, IDT)» [24] регламентує типи металевих та наповнених прокладок.

Крім загальнодержавних ДСТУ, великі українські підприємства розробляють власні СОУ для специфічних умов (наприклад, для атомної енергетики чи нафтогазового комплексу). Прикладом такого відомчого стандарту є СОУ НАЕК 246:2022 «Деталі та складальні одиниці трубопроводів АЕС $P_{роб}$<2,2 МПа (22 кгс/см^2), і <300°С. Фланці плоскі приварні з ребрами. Конструкція та розміри», який встановлює вимоги до плоских приварних фланців із корозійностійкої сталі для трубопроводів атомних електростанцій.

Окрім розмірного ряду, застосовуваних матеріалів та інших особливостей конструкції, фланці мають класифікацію за конструктивним виконанням.

Найбільш поширеними є наступні види фланців:

– плоскі;

– комірні, які мають спеціальну муфту різної висоти, призначену для більш щільного та правильного монтажу;

– глухі, які застосовуються як заглушки для перекриття певних ділянок трубопроводу.

Типи фланців можуть поділятися залежно від типу прокладки: з виступом, улоговиною, пазом, шипом, під прокладку.

Базовим розміром для апаратних фланців є внутрішній діаметр. Апаратні фланці виготовляють з внутрішнім діаметром не менше 400 мм і застосовують для роз'ємів корпусів апаратів і люків. Базовим розміром фланців для арматури і трубопроводів є умовний прохід (номінальний розмір). Фланці для арматури і трубопроводів виготовляють з умовним проходом DN 10 мм і більше і застосовують в якості фланців штуцерів апаратів і з'єднань трубопроводів [26].

За формою ущільнюючих поверхонь фланці класифікуються (рис. 2.7):

– гладка ущільнююча поверхня (або зі сполучним виступом) (рис. 2.7, а);

– виступ - впадина (рис. 2.7, б);

– шип - паз - для підвищених тисків, для пропуску отруйних речовин, глибокого вакууму (рис. 2.7, в);

– під металеву прокладку восьмикутного або овального перерізу (рис. 2.7, д);

– під лінзову прокладку (для арматурних фланців) (рис. 2.7, г).

За конструкцією фланці поділяють на [26]:

- фланці плоскі приварні;

- фланці приварні встик;

- вільні фланці на приварному кільці.

Фланці плоскі приварні і приварні встик можуть бути апаратними і для трубопроводів, а вільні фланці на приварному кільці - тільки для арматури і трубопроводів [26].

Плоский приварний фланець представляє собою плоске кільце, приварене до краю обичайки або труби (рис. 2.8; 2.9).

Плоскі приварні фланці апаратні застосовують при умовному тиску до 1,6 МПа включно і температурі від мінус 70 до плюс 300 °С. Плоскі приварні фланці для арматури і трубопроводів застосовують при умовному тиску до 2,5 МПа [26].

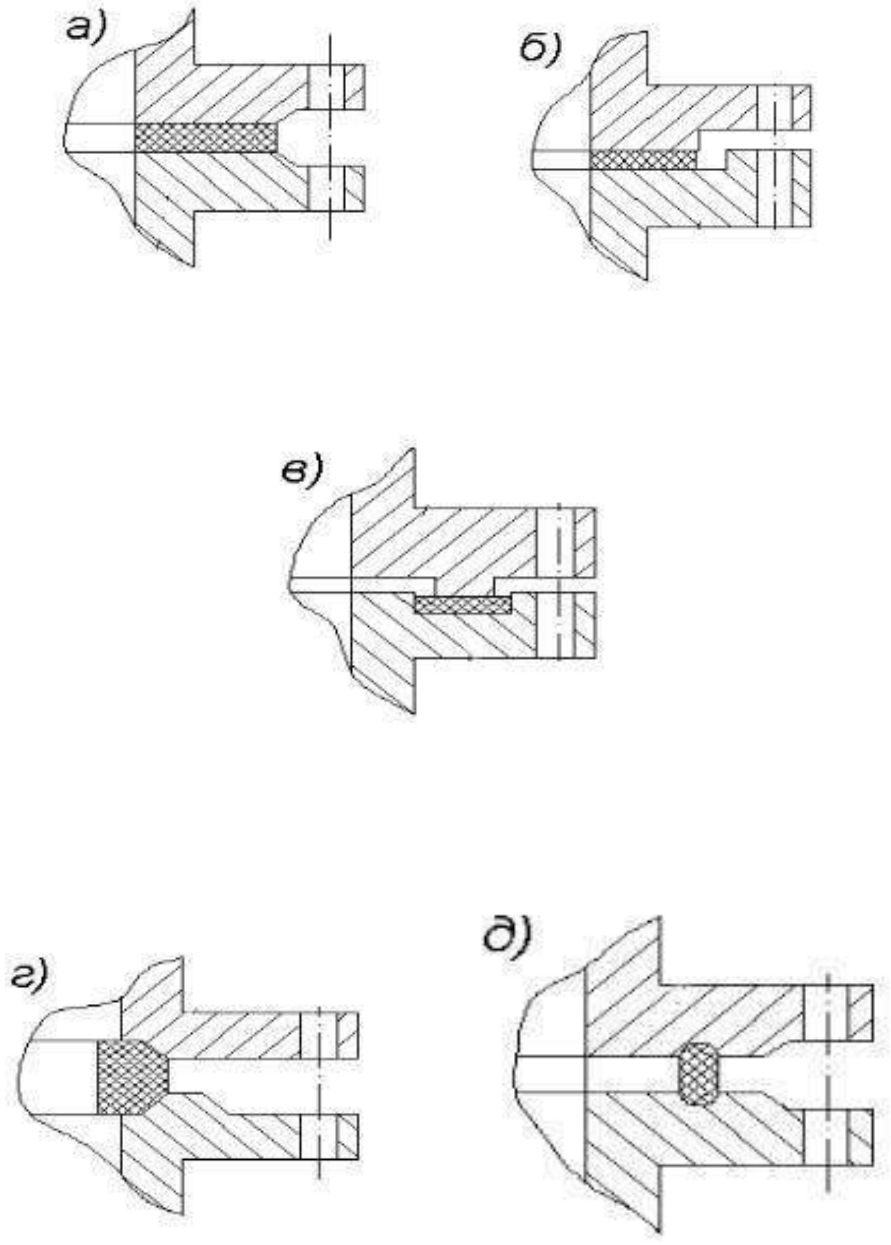
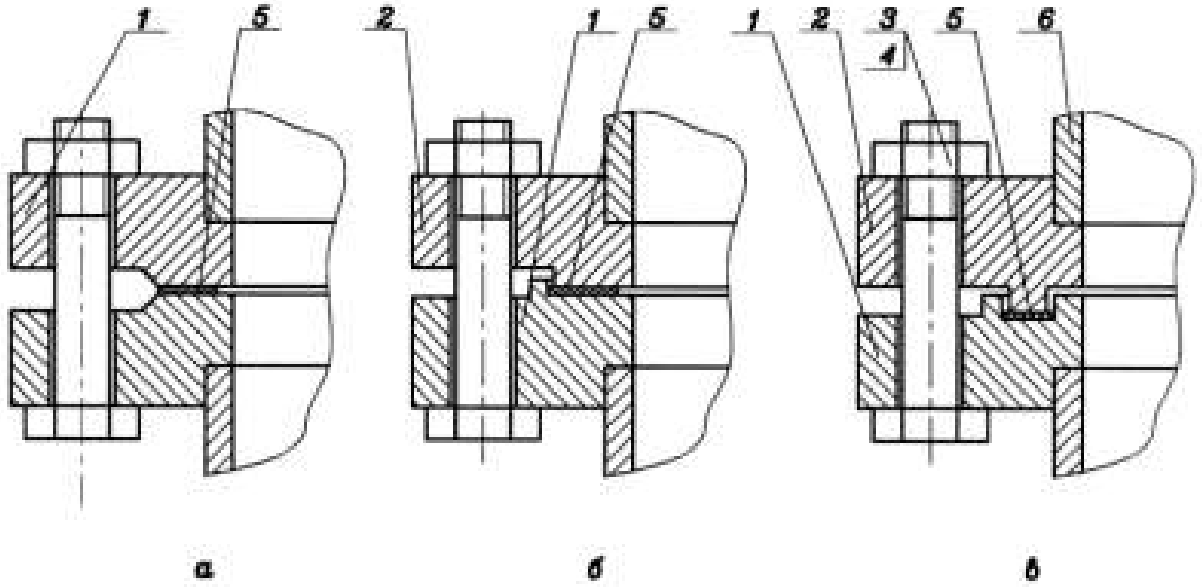
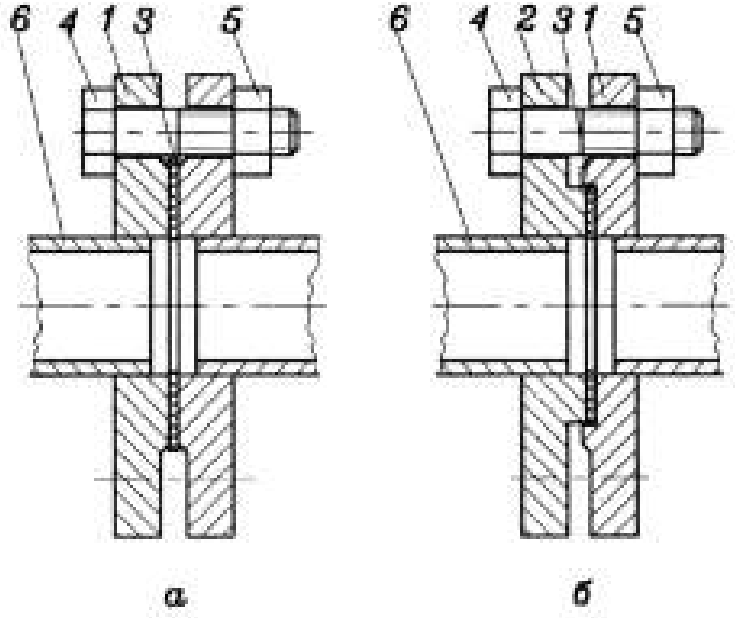


Рисунок 2.7 – Класифікація фланців за формою ущільнюючих поверхонь



1, 2 – фланці; 3 – болт; 4 – гайка; 5 – прокладка; 6 – втулка (обичайка);
а – з гладкою поверхнею; б – типу виступ-впадина; в – типу шип-паз

Рисунок 2.8 – Конструкції плоских приварних апаратних фланців

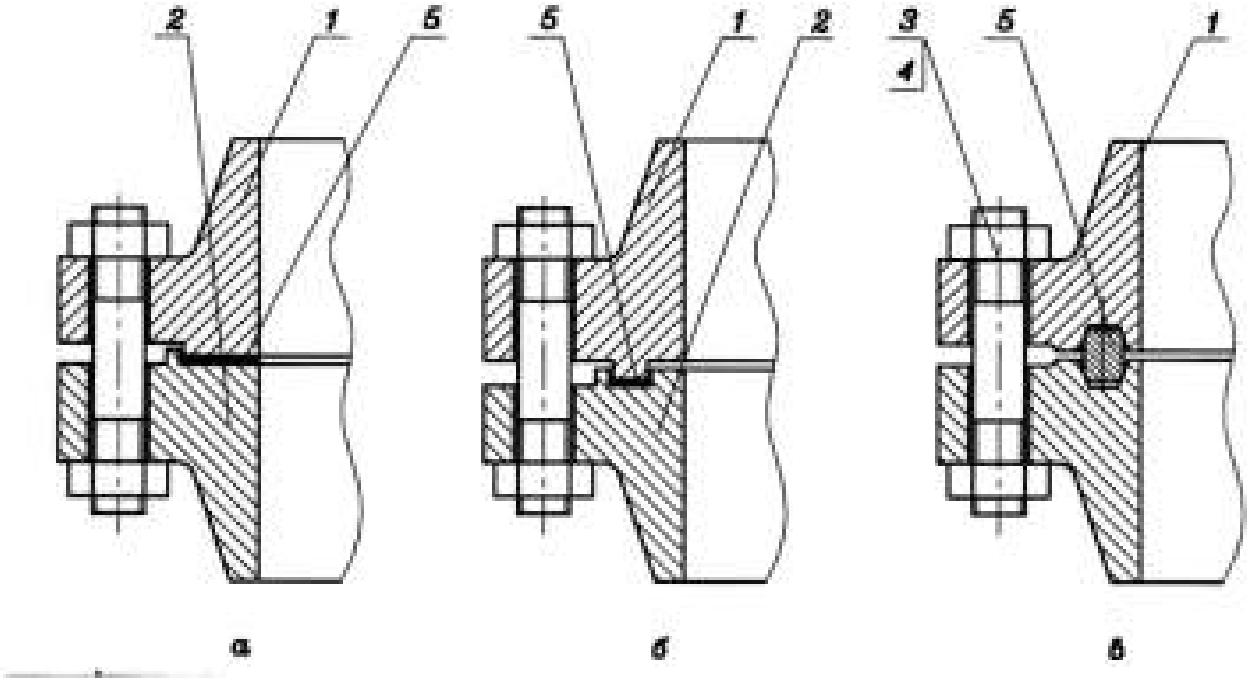


1, 2– фланці; 3 – прокладка; 4 – болт; 5 – гайка; 6 – патрубок;
а – зі з’єднувальним виступом (з гладкою поверхнею для ущільнення); б – типу виступ-впадина

Рисунок 2.9 – Конструкції плоских приварних фланців для арматури і трубопроводів

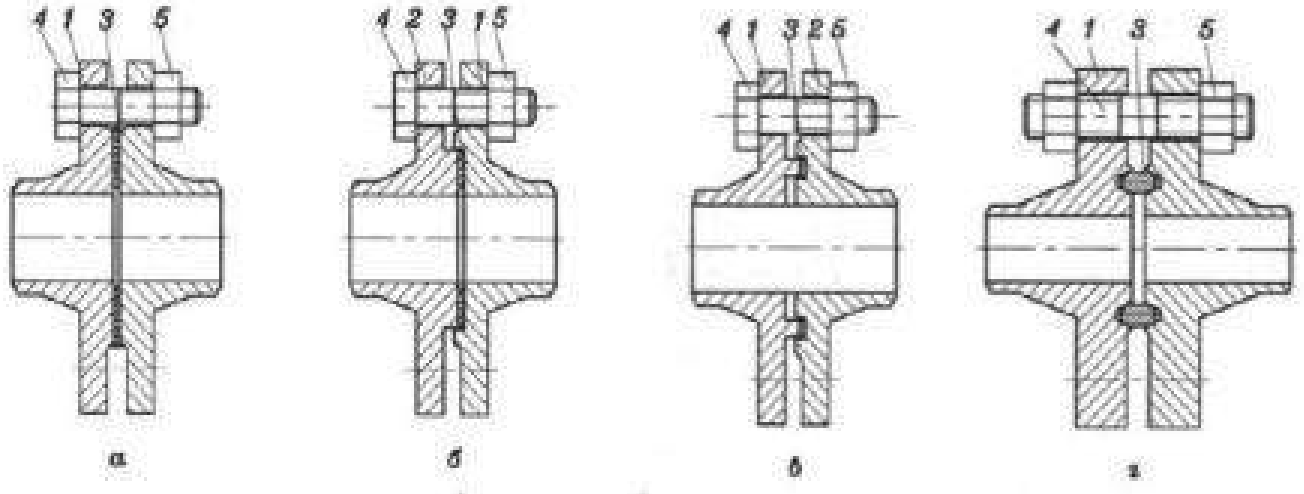
Фланець приварний встик має конічну втулку і приварюється до обичайки або труби стикових швом (рис. 2.10; 2.11). Ці фланці застосовуються при більш високих навантаженнях, ніж плоскі приварні фланці. Фланці апаратні приварні встик рекомендується застосовувати при умовному тиску до 6,3 МПа з неметалевими прокладками і до 16 МПа з металевою прокладкою при температурі від мінус 70 до плюс 600 °С. Фланці приварні встик для арматури і трубопроводів застосовують при умовному тиску до 20 МПа [26].

Апаратні фланці, як правило, мають круглу форму, арматурні фланці бувають круглими і квадратними.



1, 2 – фланці; 3 – шпилька; 4 – гайка; 5 – прокладка;
а – типу виступ-впадина; б – типу шип-паз; в – з ущільнюючою поверхнею під прокладку восьмикутного перерізу

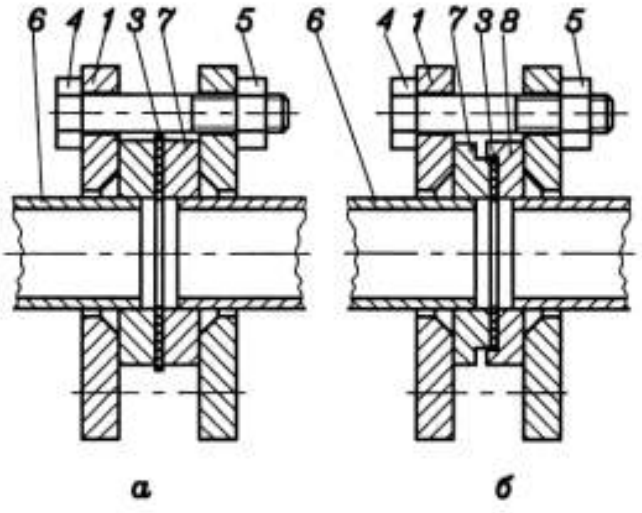
Рисунок 2.10 – Конструкції приварних встик апаратних фланців



1, 2 – фланці; 3 – прокладка; 4 – болт (шпилька); 5 – гайка;
а – зі з’єднувальним виступом; б – типу виступ-впадина; в – типу шип-паз; г – з поверхнею для ущільнення під прокладку овального перерізу

Рисунок 2.11 – Конструкції приварних встик фланців для арматури і трубопроводів

Вільний фланець складається з вільного кільця і кільцевого бурту, приварюється до труби (рис. 2.12). Перевагами таких фланців є легке співпадання отворів для болтів при складанні з'єднань шляхом повороту фланця і можливість виготовлення кільця фланця з іншого матеріалу (наприклад, більш міцного або більш дешевого). Вільні фланці використовуються при тисках не більше 2,5 МПа.



1, 2 – фланці; 3 – прокладка; 4 – болт (шпилька);

5 – гайка; 6 – труба; 7,8 – кільця;

а – зі з’єднувальним виступом; б – типу виступ-впадина

Рисунок 2.12 – Конструкція вільних фланців на приварному кільці

Європейський стандарт [22], що стосується єдиної серії фланців, встановлює вимоги до круглих сталевих фланців з номінальним тиском від PN 2,5 до PN 400 та номінальним діаметром від DN 10 до DN 4000.

Стандарт визначає типи фланців та їхні торці, розміри, допуски, різьблення, розміри болтів, обробку поверхні торця фланцевого з'єднання, маркування, матеріали, номінальні значення тиску/температури та приблизну масу фланців. В цьому стандартs термін «фланці» також включає припасовані кінці та манжети. Трубні з’єднання без прокладок не входять до сфери застосування цього європейського стандарту.

Цей європейський стандарт застосовується до фланців, виготовлених відповідно до методів, описаних у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Методи виготовлення фланців [22]

Тип фланця та манжети	Кований [a)]	Литий	Виготовлений з плоского прокату (листів)	Виготовлений з прокатних або кованих прутків та кованої профільної сталі	Вигнутий та з’єднаний електрозварюванням із прутків, профільної сталі або стрічки [b, c, d, e]	Виготовлений пресуванням із зварних або безшовних труб або плоского прокату
01 (Приварний фланець)	так	ні	так	так	так	ні
02 (Знімний фланець для типів 32—37)	так	ні	так	так	так	ні
04 (Знімний фланець для типу 34)	так	ні	так	так	так	ні
05 (Заглушковий фланець)	так	ні	так	так	ні	ні
11 (Фланець із приварною горловиною)	так	ні	ні	так	так, для DN>700	ні
12 (Накидний фланець із втулкою для зварювання)	так	ні	ні	так	ні	ні
13 (Фланець з різьбленням та втулкою)	так	ні	ні	так	ні	ні
21 (Цілісний фланець)	так	так	ні	так	ні	ні

32 (Приварний пластинчастий манжетний)	так	ні	так	так	так	ні
33 (Труба з припасованим кінцем)	так	ні	так	ні	так	так
34 (Манжета з приварною шийкою)	так	так	ні	так	так	ні
35 (Приварна шийка)	так	ні	так	так	так	ні
36 (Пресована манжета з довгою шийкою)	так	ні	ні	ні	так	так
37 (Пресована манжета)	так	ні	так	так	так	так

a) Безшовні: прокатні, штамповані, ковані.
b) До діаметра DN 1800 допускається лише один радіальний шов. У разі використання для виготовлення нарізаних смуг напрямок смуги по товщині для типів 11 і 34 має бути перпендикулярним до осі фланця, а для типів 01, 02, 04 і 32 — у напрямку осі фланця.
c) Щодо зварювання: процес/процедури зварювання повинні бути кваліфіковані та сертифіковані відповідно до EN ISO 15614-1 та EN ISO 15614-13.
d) Зварні фланці допускаються лише для застосування при температурі до 370 °C відповідно до EN 13480-3:2002, D.4.4.
e) Якщо фланці виготовляються шляхом холодного формування вихідного матеріалу, наприклад плоского виробу, деякі механічні властивості, такі як відносне подовження після руйнування (A) та енергія удару (KV), будуть погіршені через холодне формування без подальшої термічної обробки.

У таблиці 2.6 наведено типи сталевих фланців та хомутів.

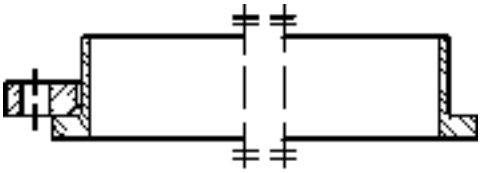
На рисунках 2.13 і 2.14 показано типи фланців та типи манжет із відповідними номерами типів фланців. Фланці позначаються «типом фланця» та «описом фланця». Елементи манжет позначаються типом манжети та описом манжети.



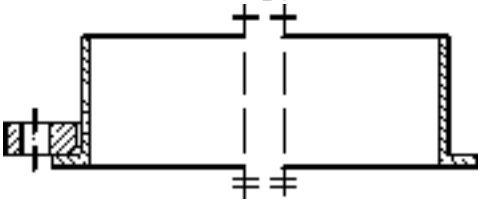
a) Тип 01
Фланець з привареною пластиною



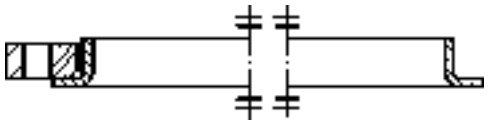
b) Тип 02
Фланець з окремою пластиною та приварним коміром (див. тип 32) або з накладеним кінцем труби (див. тип 33)



c) Тип 02
Фланець з окремою пластиною та привареним кільцевим горлом (див. тип 35)



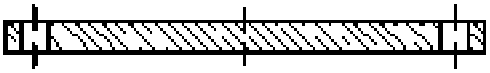
d) Тип 02 Фланець з окремою пластиною з пресованим коміром з довгою шийкою (див. тип 36)



e) Тип 02 Фланець з окремою пластиною та пресованим горлом (див. тип 37)



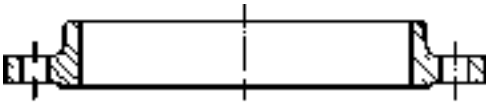
f) Тип 04
Вільний пластинчастий фланець з приварним коміром (див. тип 34)



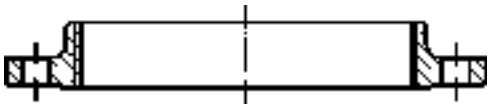
g) Тип 05
Заглушковий фланець



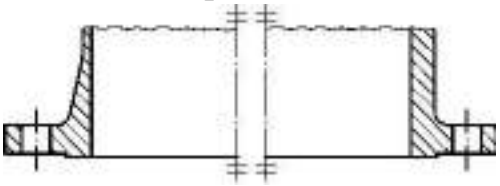
h) Тип 11 Фланець з приварним коміром



f) Тип 12
Накидний фланець з втулкою для зварювання

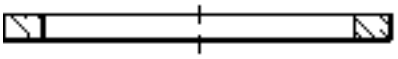


j) Тип 13
Фланець з різьбовим з'єднанням



k) Тип 21
Цілісний фланець

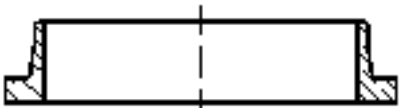
Рисунок 2.13 – Типи фланців



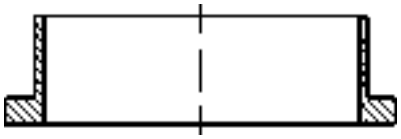
Тип 32
Приварна фланцева пластина



b) Тип 33
З'єднаний кінець труби



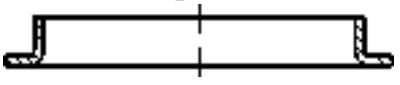
c) Тип 34
Наконечник із зварним горлом



d) Тип 35
Приварне кільце



e) Тип 36
Пресований фланець з довгою шийкою



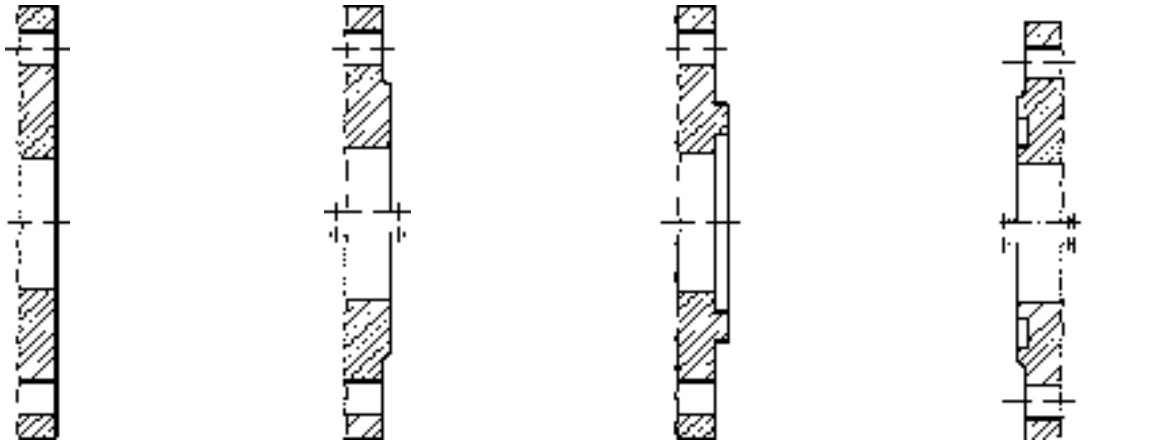
f) Тип 37
Пресований наконечник

Рисунок 2.14 – Комірці типів 32–37

Таблиця 2.6 – Типи сталевих фланців та хомутів

Тип номер	Опис
01	Фланець з приварною пластиною
02	Роз'ємний фланець з приварною пластиною або для накладного кінця труби
04	Окремий фланець з приварним коміром
05	Заглушковий фланець
11	Фланець з приварним коміром
12	Накидний фланець з втулкою для зварювання
13	Фланець з втулкою та різьбленням
21 [a]	Цілісний фланець
32 [b]	Приварний комір
33 [a b]	Заокруглений кінець труби
34 [b]	Приварний комір
35 [b]	Приварне кільце
36 [b]	Пресований комір з довгим коміром
37 [b]	Пресований комір
[a] Це невід'ємна частина обладнання, що працює під тиском, або його компонента. [b] Номери типів 32, 33, 35, 36 та 37 призначені для використання з фланцями типу 02, а номер типу 34 — для використання з фланцями типу 04.	

На рисунку 2.15 показано типи фланцевих накладок, які можуть використовуватися з фланцями або компонентами, показаними на рисунках 2.13 і 2.14. Фланцеві накладки повинні позначатися «типом» та відповідним символом.



а) Тип A — плоска поверхня

б) Тип B — опукла поверхня B1 та B2

в) Тип C — шпонк

г) Тип D — паз



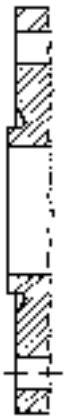
д) Тип E — патрубок



е) Тип F — виїмка



ж) Тип G — патрубок з ущільнювальним кільцем



з) Тип H — паз для ущільнювального кільця

Рисунок 2.15 – Типи торцевих поверхонь фланців

Фланці та манжети, що відповідають стандарту [22], повинні позначатися наступним чином:

а) позначення, наприклад, фланець, зрізний кінець або манжета;

б) номер європейського стандарту, тобто EN 1092-1;

в) номер типу фланця або манжети відповідно до рисунків 2.5 і 2.6;

г) тип торця фланця відповідно до рисунка 2.7;

д) DN (номінальний розмір);

е) діаметр отвору, тільки якщо він не відповідає цьому стандарту (для розмірів, більших за DN 600);

1) B1 (тільки для типів 01, 12 та 32);

2) B2 (тільки для типу 02);

3) B3 (лише для типу 04);

є) товщина стінки S, лише якщо вона не відповідає європейському стандарту (лише для типів 11 та 34, 35, 36 і 37);

ж) товщина скошеної стінки S_p, якщо потрібно (лише для типів 11 та 34–37);

з) позначення PN;

и) для фланців типу 13 – тип різьби (R_p або R_c);

і) матеріал та стандарт на матеріал (за необхідності);

к) будь-яка необхідна термічна обробка;

л) тип сертифіката на матеріал, якщо це потрібно.

ПРИКЛАД 1. Позначення фланця типу 11 з поверхнею типу B2, номінального розміру DN 200, товщиною стінки 9 мм, PN 100, виготовленого з матеріалу P245GH:

Фланець EN 1092-1/11/B2/DN 200×9/PN 100/P245GH

ПРИКЛАД 2. Позначення фланця типу 01 номінального розміру DN 800, з діаметром отвору B1 = 818 мм, PN 6, виготовленого з матеріалу P265GH:

Фланець EN 1092-1/01/DN 800/818/PN 6/P265GH

ПРИКЛАД 3. Позначення манжети типу 32 номінального розміру DN 400, PN 10, виготовленої з матеріалу P265GH:

Манжета EN 1092-1/32/DN 400/PN 10/P265GH

ПРИКЛАД 4. Позначення фланця типу 02 номінального розміру DN 400, PN 10, виготовленого з матеріалу 1.0425:

Фланець EN 1092-1/02/DN 400/PN 10/1.0425

Для ущільнення фланцевих з’єднань використовують прокладки: неметалеві, металеві, комбіновані.

Використання прокладок у місці з'єднання двох фланців є обов'язковою умовою. При цьому застосовуються наступні види прокладок для ущільнення з'єднань [26]:

– сталь;

– кольорові метали;

– гума, стійка до різних типів агресивних речовин;

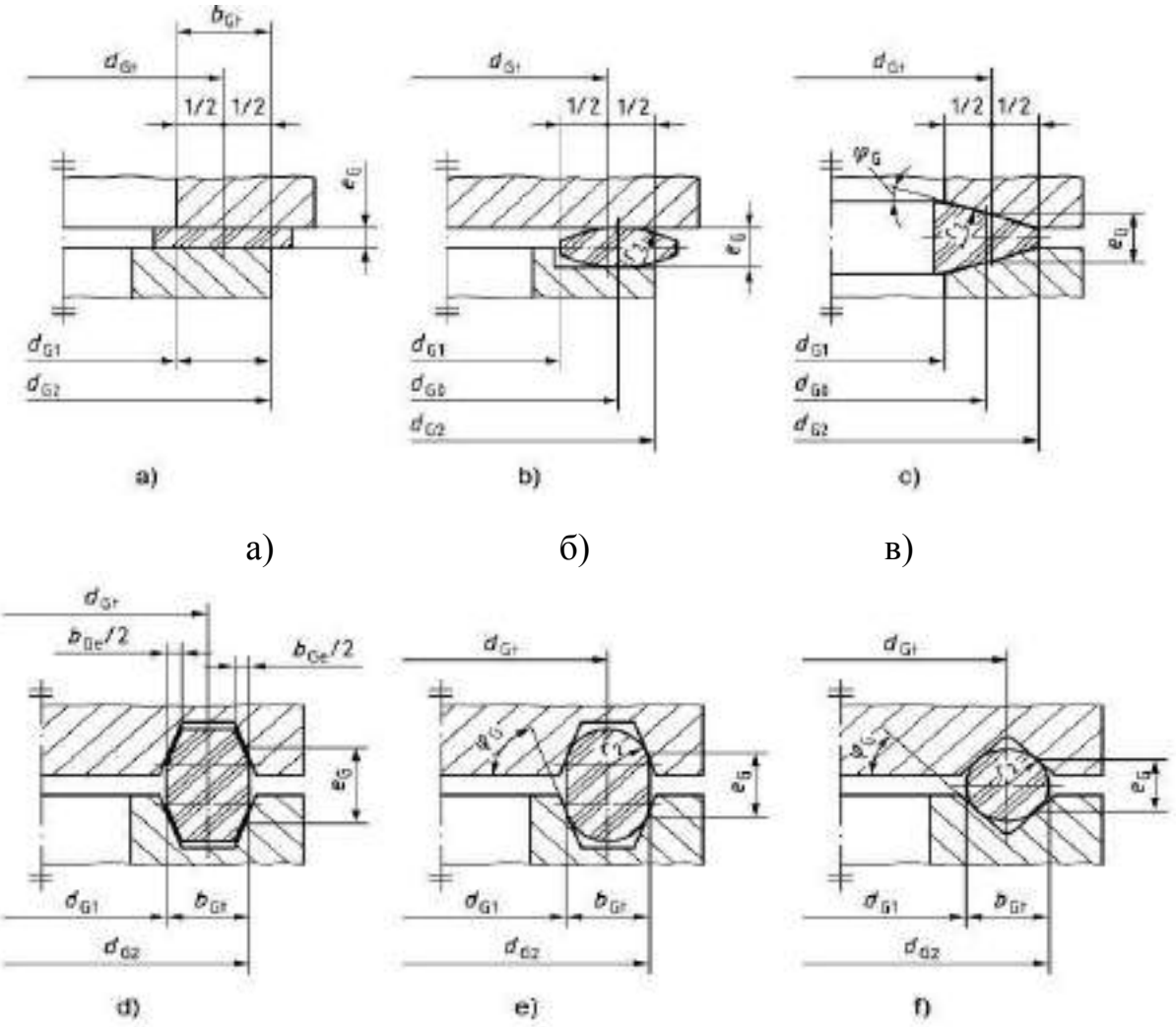
– термостійка гума;

– фторопласт;

– азбестовий картон;

– пароніт;

– графіт.



а) б) в)

г) д) е)

а) плоскі з низькою твердістю з композитних або чистих металевих матеріалів; б) металеві з вигнутою поверхнею; в) металеві з плоским контактом; г) металеві восьмикутного перерізу; д) металеві овальні з подвійним контактом; е) металеві круглі з подвійним контактом

Рисунок 2.16 – Типи прокладок [21]

Прокладки повинні бути стійкими до середовища, а також мати достатню пластичність, яка забезпечує її деформацію при ущільненні фланцевого з’єднання.

3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ НАВАНТАЖЕННЯ ТА МАТЕРІАЛИ ЕЛЕМЕНТІВ ФЛАНЦЕВИХ З'ЄДНАНЬ

3.1 Навантаження на фланці обладнання устя, системи збору, підготовки та транспортування газу

Експлуатаційні навантаження (також корисні або тимчасові навантаження) – це змінні механічні дії, які виникають під час використання обладнання. Ці навантаження враховуються при проєктуванні для забезпечення безпеки та міцності конструкцій.

Основні види експлуатаційних навантажень [27]:

1. Короткочасні: виникають періодично. До них належать переміщення людей, прибирання, вітрові чи снігові дії.

2. Тривалі: діють постійно або протягом тривалого часу з незначними змінами. Це вага стаціонарного обладнання або постійно заповнених складських полиць.

Для запобігання руйнуванням під час розрахунків до нормативних значень застосовуються коефіцієнти надійності, що дозволяє отримати розрахункове навантаження – максимальний граничний вплив, який може виникнути під час експлуатації.

Експлуатаційні навантаження у фланцевих з'єднаннях – це комплекс механічних, термічних і хімічних впливів, які діють на з'єднання під час роботи обладнання. Вони викликають деформації елементів та визначають надійність і герметичність конструкції.

Класифікація експлуатаційних навантажень, що діють в будь-якому фланцевому з’єднанні, має наступний вигляд:

1. Робочі механічні навантаження

1.1. Осьові сили (розтягу/стиску) – сила вздовж осі з'єднання, що передається через болти/фланці.

1.2. Поперечні сили (зсув) – перпендикулярні до осі; створюють зсув у болтах і згинальні зусилля у фланці.

1.3. Крутні та згинальні моменти – викликають кручення чи розтяг/стиск по перерізу фланця; критичні на бокових відводах арматури та при консольних трубопроводах. Передаються через елементи конструкції та створюють нерівномірний розподіл навантаження по колу фланця.

1.4. Внутрішній тиск – сили від робочого середовища (рідини, газу), які намагаються роз'єднати фланці та розтягнути болти. Рівномірно діє по внутрішній поверхні; створює зусилля на фланець і ущільнення (стиск прокладки).

1.5. Зовнішні зусилля: Виникають від ваги трубопроводів або конструкцій, монтажних перекосів, а також вітрових та сейсмічних впливів.

2. Термічні навантаження

2.1. Температурні (теплові) напруження – через теплове розширення/стиск труб і фланців; призводять до осьових/згинальних зусиль. Перепади температур (нагрівання або охолодження) викликають зміну лінійних розмірів фланців, болтів та прокладок. Це може призвести як до ослаблення затяжки (при вищих температурах болтів порівняно з фланцем), так і до її критичного зростання.

2.2. Термічний градієнт: Нерівномірне прогрівання стінок фланця, що викликає внутрішні механічні напруження.

Температурні (теплові) напруження – це внутрішні механічні напруження, які виникають у твердих тілах (деталях, конструкціях, матеріалах) через зміну температури. Більшість матеріалів розширюються при нагріванні та стискаються при охолодженні. Напруження з'являються, якщо цей процес відбувається нерівномірно або якщо конструкція має жорсткі обмеження (затискачі, кріплення), що не дають їй вільно змінювати свої розміри. Основні причини появи теплових напружень:

– обмеження свободи деформації: якщо елемент (наприклад, металева рейка чи балка) міцно закріплений з обох боків, він не може подовжитися при нагріванні, внаслідок чого виникають сильні внутрішні сили;

– нерівномірне нагрівання або охолодження: якщо зовнішні шари деталі нагріваються швидше за внутрішні, вони намагаються розширитися, але стримуються холоднішою серцевиною.

Наслідком виникнення теплових напружень є руйнування матеріалу, у випадку коли напруження перевищують границю міцності. Це може призвести до викривлення конструкцій, утворення тріщин або руйнування.

3. Динамічні навантаження

3.1. Циклічні та ударні навантаження, які призводять до втомного руйнування.

3.2. Вібрація: дія насосів, компресорів чи потоку середовища, що призводить до самовідгвинчування кріпильних деталей (болтів/шпильок).

3.3. Пульсація тиску: змінні навантаження, які викликають втому металу фланців та кріплення.

Динамічні навантаження – це механічні сили, які діють на конструкцію чи матеріал та суттєво змінюються за величиною, напрямком або швидкістю. На відміну від статичних (постійних) сил, вони викликають додаткове прискорення елементів конструкції.

Вібраційні навантаження є окремим різновидом динамічних. Це багаторазові, швидкі, періодичні коливання (туди і назад), які діють на об’єкт із певною частотою та амплітудою.

Головна небезпека при дії динамічних та вібраційних навантажень це миттєве руйнування конструкції або утворення тріщин через критичне перевищення міцності (високі пікові напруження), а також накопичення мікротріщин через постійне повторення циклів напруження, що згодом призводить до раптового руйнування навіть при малих навантаженнях (втома металу).

4. Вплив середовища

Корозійні процеси: хімічна або електрохімічна дія робочого середовища та навколишнього середовища, що зменшує переріз болтів і викликає руйнування ущільнювальних поверхонь.

5. Сили від монтажу та затягування гайок/болтів – попередній натяг гайок/болтів створює контактний тиск на прокладку та впливає на розподіл навантажень. Щоб уникнути розкриття стику та протікань, болти затягуються із зусиллям, яке перевищує навантаження від робочого тиску. Попередній натяг – це примусове розтягнення болта (або шпильки) і стиснення скріплювальних деталей, яке виникає в результаті затягування гайки. Ця сила створює тертя між поверхнями та жорсткість вузла, щоб з'єднання не послабилося від робочих навантажень чи вібрації.

Головна функція попереднього натягу – запобігання зсуву скріплюваних деталей та розкручуванню кріплення, дозволяючи болту чи шпильці працювати на розрив, а самому з'єднанню – як єдиному цілому. Величина натягу має бути оптимальною. Якщо натяг слабкий – з’єднання деталей послабиться, якщо надмірний – різьба зірветься або болт деформується. Попередній натяг контролюється за допомогою динамометричного ключа (вимірює крутний момент) або вимірюванням кута дотягування.

Зазвичай при розрахунках фланцевих з’єднань застосовуються такі типи навантажень (рис. 3.1):

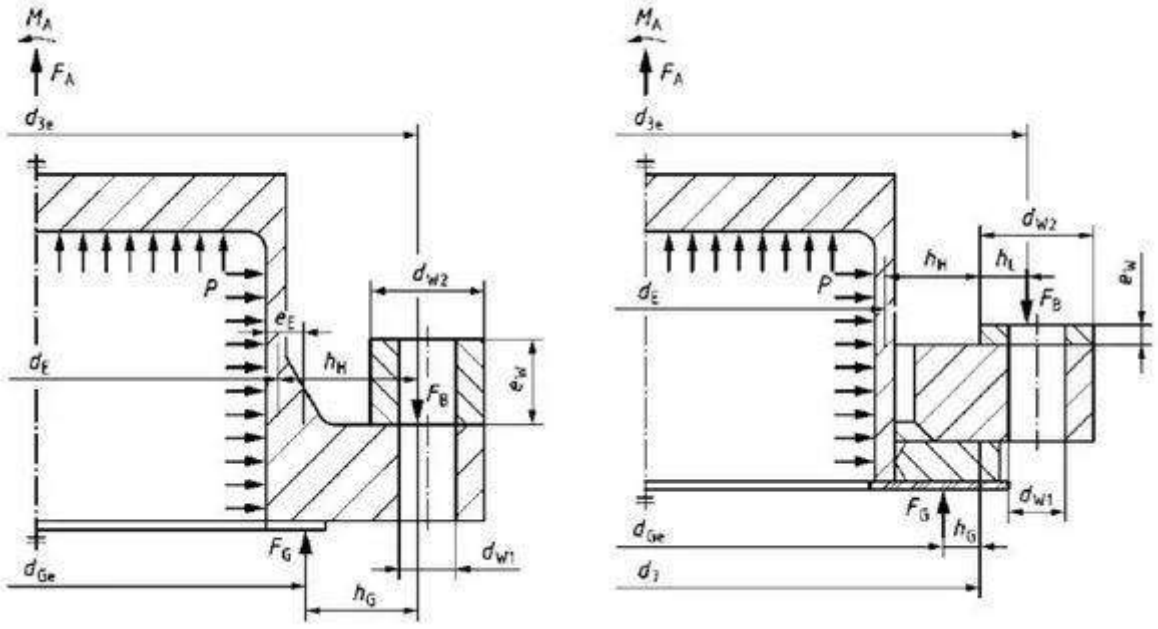


Рисунок 3.1 – Навантаження та плечі важелів у фланці

– тиск рідини: внутрішній або зовнішній;

– зовнішні навантаження: осьові та бічні сили, такі як кручення та згинальні моменти;

– осьове розширення фланців, болтів і прокладок, зокрема внаслідок термічних ефектів.

3.2 Особливості розрахунку навантажень на елементи фланцевих з'єднань

Згідно з стандартом [21], метод обчислення фланцевих з’єднань базується на таких ключових засадах:

1. Осьова симетрія: Навантаження на фланцеве з’єднання вважається осесиметричним. Довільні згинальні моменти замінюються еквівалентними осьовими силами.

2. Спільна деформація: Зміна навантаження (тиску або температури) викликає взаємні зміни сил у болтах та прокладці. Розрахунок враховує пружні деформації всіх компонентів з’єднання.

3. Герметичність та міцність: Визначається необхідна початкова сила затягування болтів, яка гарантує збереження герметичності на прокладці за будь-яких умов експлуатації, а також перевіряються граничні навантаження на кожен елемент (фланець, болт, прокладка) для уникнення їх руйнування або надмірної деформації.

Рекомендації щодо перевірки міцності та допустимих напружень фланцевих з’єднань:

– при розрахунках необхідно використовувати нормативи та стандарти: ASME B16.5/16.47, EN 1591, ГОСТ 12815, ГОСТ 33259 тощо, залежно від країни та типу фланців;

– слід перевіряти різьбові з’єднання на зсув і розтяг, контроль натягу (момент/кут/контроль зусилля);

– необхідно враховувати фактор корозії, температурний коефіцієнт міцності матеріалу та коефіцієнти втоми;

– враховувати коефіцієнти запасу: для тиску/постійних навантажень зазвичай 1,5–2,0, для динамічних/втомних розрахунків – більше згідно зі стандартами;

– виконувати перевірку ущільнення/прокладки: контактний тиск, деформації прокладки та витікання в умовах експлуатації;

– для складних комбінацій навантажень слід використовувати розрахунок методом кінцевих елементів (FEM) з моделюванням контакту шпилька/гайка/фланець/прокладка;

– перевірка на розпирання (відгинання фланця), прогин, та аналіз реакцій опор і кріплень (схема статики).

Критерії розрахунку, що використовуються для проєктування фланцевих з'єднань, поділяються на дві основні системи: одна з них – це Американська фланцева система, яка представлена американськими стандартами; інша – це Європейська фланцева система, що представлена німецьким стандартом DIN V 2505. Серед них правила розрахунку для фланцевих з'єднань з кільцевими прокладками, рекомендовані в ASME VIII-1, на сьогоднішній день є найбільш поширеними у світі специфікаціями для проєктування фланцевих з'єднань. Специфікації конструкції фланців, наведені в китайському стандарті GB 150-1998 “Сталеві посудини під тиском”, японському JIS B 2205-1991 “Методи розрахунку фланців труб” та інших стандартах, належать до американської системи. Стандарт DIN V 2505 був виданий в 1964 році, а остання переглянута версія - DIN E2505 в 1990 році.

Правила розрахунку фланцевих з'єднань з кільцевими прокладками, рекомендовані в ASME VIII-1, базуються на двох коефіцієнтах m і y, які пов'язані тільки з матеріалом або типом прокладки і не мають нічого спільного з властивостями, тиском або температурою робочого середовища. Такий метод розрахунку приймає міцність як основний критерій і виконує лише перевірку напружень на фланці, що не може гарантувати, що рівень витоку знаходиться в

межах певного діапазону. Метод розрахунку конструкції фланця, наведений в GB 150-1998 “Сталеві посудини під тиском”, походить від ASME, і він також базується на двох коефіцієнтах прокладки *m* і *y*. DIN V 2505 фокусується на ущільненні фланця і враховує більше факторів, ніж два коефіцієнти ASME *m* і *y*, а саме таких як максимально допустиме навантаження на прокладку в умовах експлуатації, релаксація прокладки і відмінності в ущільнюваних середовищах. Як і в ASME, весь процес розрахунку не має чітко вираженого кількісного зв'язку з герметичністю з'єднання.

Сьогодні виконана велика робота по доповненню коефіцієнтів прокладок і поліпшенню проєктування систем фланцевих з'єднань, серед яких особливо виділяється робота, виконана Американською радою з дослідження посудин, що працюють під тиском (PVRC) і Технічним комітетом з фланців та їх з'єднань (TC74) при Європейському комітеті зі стандартизації (CEN).

Щоб вдосконалити проєктний кодекс ASME, американський PVRC провів широкі дослідження випробувань прокладок, накопичивши велику кількість результатів, і запропонував на початку 1990-х років метод розрахунку конструкції фланцевих з'єднань, заснований на критеріях швидкості витоку. Даний метод в основному включає наступні моменти:

1. Використання герметичності з'єднання як критерію проєктування, отримання нових констант прокладки *Gb, a, Gs* за допомогою стандартних випробувань на герметичність і відповідних методів розрахунку для визначення попереднього натягу.

2. Висунуто вимоги до жорсткості фланця та розглянуто зовнішні сили та зовнішні моменти, що діють на фланцеве з'єднання.

3. Модифіковано визначення розрахункової площі шпильки/болта і розрахункового навантаження на шпильку/болт з урахуванням можливих впливів на з'єднання. Після розрахунку навантаження вимоги до міцності фланця все ще виконуються відповідно до методу ASME VIII-1. На відміну від традиційних методів проєктування, новий метод вводить в конструкцію параметри

герметичності, більш ефективно контролюючи протікання фланця, але він все ще знаходиться на стадії експерименту і ще не став офіційним стандартом.

У 2001 році Європейський комітет зі стандартизації (CEN) прийняв єдині стандарти ЄС, запропоновані Технічним комітетом з фланців та їх з'єднань (TC74): EN 1591-1 “Фланці та їх з'єднання – Правила проєктування фланцевих з'єднань круглого перерізу з прокладками”, частина 1 “Метод розрахунку”; ENV 1591-2 “Фланці та їх з'єднання – Правила проєктування фланцевих з'єднань з прокладками”, частина 2 “Параметри прокладок”; а в 2004 році прийнято EN 13555 “Фланці та їх з'єднання – Кваліфікація параметрів прокладок і методи випробувань для використання в правилах проєктування фланцевих з'єднань з прокладками”, в якому наведено методи випробувань параметрів прокладок, що використовуються в розрахунках EN 1591-1.

EN 1591 також відрізняється від традиційних методів розрахунку. Він враховує характеристики всієї системи "фланець-болт-прокладка" і виконує розрахунки цілісності та герметичності фланця і його з'єднань під впливом таких навантажень, як тиск, температура, зовнішня сила і зовнішній згинальний момент, забезпечуючи цілісність конструкції і контролюючи витоки в з'єднаннях. Метод розрахунку комплексно враховує параметри, що впливають на характеристики фланцевого з'єднання, включаючи розсіювання навантаження при затягуванні болтів, вплив приєднаних труб або оболонок, зовнішні навантаження (осьова сила і згинальний момент), різницю температур між болтами і фланцями (осьове теплове розширення фланців), болти і прокладки) тощо. Також розглядаються механічні характеристики та ущільнення системи фланцевих з'єднань за різних умов експлуатації. Для кожної умови тиск рідини, зовнішнє навантаження і температурне навантаження розглядаються окремо для розрахунків ущільнення і міцності. Цей метод дозволяє проводити проєктні розрахунки для будь-якого заданого рівня витоку, більш повно відображаючи механічні характеристики та ефективність ущільнення фланцевих з'єднань, роблячи обґрунтовані та всебічні міркування щодо структурної цілісності та контролю витоків, а також роблячи проєктні розрахунки більш узгодженими з фактичною поведінкою.

Метод розрахунку фланця EN 1591-1 – це основний європейський стандарт проєктування фланців. Він орієнтований на три найпоширеніші типи фланців: вбудовані фланці, вільні фланці і глухі фланці. Стандарт розбиває складні стресові умови на два дуже чіткі та практичні кроки:

1. Розрахунок мінімального попереднього натягу шпильок/болтів, який у зібраному стані повинен забезпечити достатній стиск прокладки за всіх подальших умов експлуатації. Цей розрахунок вимагає ітерацій, оскільки ефективна ширина прокладки зменшується зі збільшенням попереднього натягу, а попередній натяг, в свою чергу, залежить від цієї ширини.

2. Використання вибраного попереднього натягу для розрахунку зусилля шпильки/болта та зусилля прокладки за цих умов.

Після розрахунку необхідно провести дві перевірки: перевірка, перевантаженості шпильок/болтів під час монтажу; перевірка достатності зусилля прокладки за експлуатаційних умов, міцності фланців в локальних зонах підвищеного напруження.

Етапи розрахунку навантаження на фланцеве з’єднання:

1. Розрахунок зусилля, необхідного для прокладки. Сила притискання прокладки в основному складається з трьох частин:

– сила від тиску середовища, що штовхає прокладку (гідростатична кінцева сила);

– сила, необхідна для підтримки мінімального питомого тиску ущільнення;

– сила стиску під час складання фланця.

Додавання цих елементів дає теоретичне зусилля на прокладку.

2. Регулювання сили притискання прокладки. Фактична ширина контакту не така широка, як теоретична. Стандарт використовує ефективну ширину *bGe* для корекції. Чим більший попередній натяг, тим сильніше стискається прокладка. Це змінює її ефективну ширину, що безпосередньо впливає на необхідне зусилля затягування. Саме через цей взаємозв'язок і потрібен ітераційний розрахунок.

3. Перерахунок умов. Загальні умови включають:

– стан збірки (попереднє навантаження при кімнатній температурі);

– умови випробування під тиском;

– нормальний робочий стан;

– максимальний розрахунковий температурний режим;

– аномальний стан (якщо є).

Для кожної умови окремо вказуються тиск середовища, температура і зовнішнє навантаження, а потім розраховується фактичне зусилля затягування болтів і фактичне залишкове зусилля прокладки на той момент.

Стандарт [21] визначає два найпоширеніші співвідношення навантаження:

1. Коефіцієнт навантаження на болт – фактичне зусилля болта розділене на допустиме зусилля болта. Повинен бути менше 1, зазвичай контролюється на рівні 0,8-0,9 під час складання, щоб залишити запас.

2. Коефіцієнт навантаження на прокладку – фактичне залишкове зусилля прокладки розділене на мінімально необхідне зусилля прокладки. Повинен бути більше 1, найменше значення серед усіх умов визначає, чи є з'єднання прийнятним.

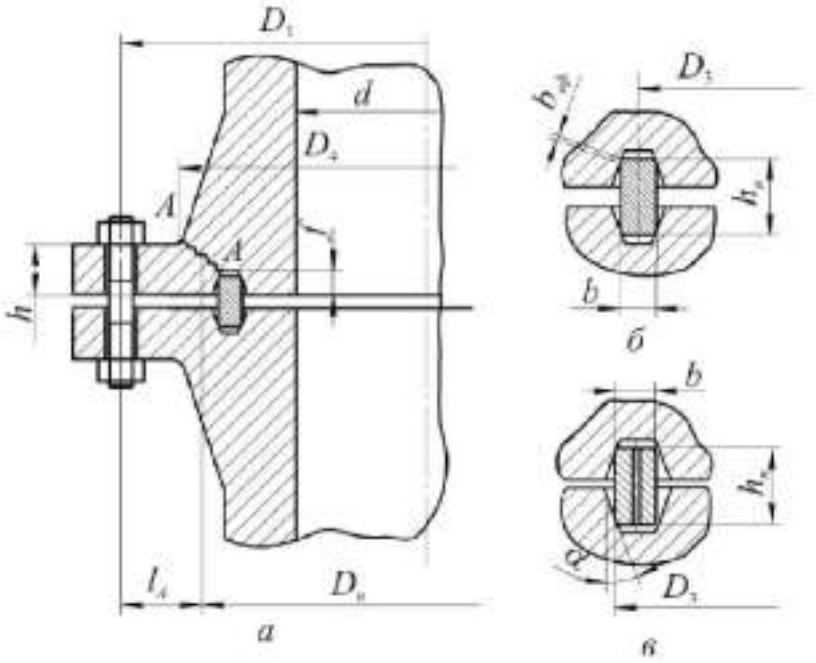
Використання стандарту EN1591 для розрахунку дозволяє правильно підібрати попередній натяг, забезпечивши відсутність протікання та пошкодження болтів.

Метод розрахунку конструкції фланця EN 1591 всебічно враховує фактори, що впливають на продуктивність з'єднання, охоплює різні умови експлуатації, наближає результати розрахунку до реальності і дозволяє проєктувати на основі заданих показників витоків, досягаючи кращого контролю поведінки з'єднання в різних умовах і забезпечуючи більшу безпеку при використанні систем фланцевих з'єднань. Проте методика розрахунку викладена в стандарті EN 1591-1 є багатофакторною, що підвищує складність розрахунків. При розрахунку за EN1591-1 необхідно вводити набір коефіцієнтів прокладок, і ці коефіцієнти потрібно визначати за допомогою методів випробувань EN 13555.

При спрощених розрахунках більшість експлуатаційних навантажень, що діють на фланцеві з’єднання не враховуються, а враховуються в точних наукових дослідженнях.

Нижче наведемо розрахунки для визначення зусиль, що діють на фланцеве з'єднання устьової арматури при дії внутрішнього тиску *p*, які викладені в [25].

Під час експлуатації на елементи фланцевого з'єднання діють зусилля $P_{зат}$ (рис. 3.2), які виникають у результаті затягування ущільнюючого стику з врахуванням тиску всередині продукції свердловини та інших факторів [25].



а – розрахункова схема фланцевого з'єднання;
б – механізм ущільнення фланцевого з'єднання першого типу;
в – механізм ущільнення фланцевого з'єднання другого типу
Рисунок 3.2 – Схема фланцевого з'єднання

Якщо для ущільнення застосовують прокладку з двостороннім контактом, то $P_{зат}$ розраховують за формулою [25]

$$P_{зат} = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} \cdot p + \pi \cdot D_3 \cdot b_{еф} \cdot m \cdot p \text{, Н,} \qquad (3.1)$$

де D_3 – середній діаметр прокладки, м;

p – очікуваний тиск всередині арматури, Па;

$b_{еф}$ – ефективна ширина прокладки, м;

$$b_{еф} = 0{,}125 \cdot b \text{ ,} \tag{3.2}$$

b – ширина прокладки, м;

m – коефіцієнт, який враховує пружні властивості матеріалу прокладки (для нафтових свердловин значення m становить від 5 до 6, для газових – від 10 до 12), менші значення приймають для м'яких сталей, більші – для більш твердих. При використанні сталі 12Х18Н9Т m = 7 для нафтових і m = 14 для газових свердловин [25].

У випадку одностороннього дотику поверхні проточки зусилля затягування фланцевого з'єднання розраховується за формулою [25]

$$P_{зат} = P_{тиск} + P_{зал} = (F_0 + A_0) \cdot p \text{ , Н,} \tag{3.3}$$

де $P_{тиск}$ – від тиску продукції свердловини, Н;

$P_{зал}$ – залишкові зусилля від затягування, які повинні бути достатніми для забезпечення герметичності з'єднання, Н;

p – очікуваний всередині арматури, Па;

$$F_0 = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} \text{ ,} \tag{3.4}$$

D_3 – зовнішній діаметр прокладки, м;

$$A_0 = 0{,}5 \cdot \pi \cdot D_3 \cdot h_{роб} \cdot f(k) \cdot ctg\alpha \text{ ,} \tag{3.5}$$

де α – кут нахилу бокової поверхні канавки фланця під ущільнювальне кільце (згідно рис. 1.3, 1.4 $\alpha \approx 23^0$) [25];

$$f(k) = \frac{2 \cdot k^2}{1 + \mu \cdot k^2} \text{ ,} \tag{3.6}$$

$$k = \frac{r_в}{r_з} \text{ ,} \tag{3.7}$$

де μ – коефіцієнт Пуассона ($\mu = 0{,}3$);

$h_{роб}$ – робоча висота прокладки, м

$$h_{роб} = h_п - 0{,}22 \cdot R \text{ ,} \tag{3.8}$$

R – радіус скруглення прокладки, м;

$r_в, r_з$ – внутрішній і зовнішній радіуси прокладки відповідно, м.

3.3 Матеріали елементів фланцевих з'єднань та особливості їх вибору

Фланці та хомути, що використовуються в обладнанні, яке працює під тиском, повинні виготовлятися з матеріалів, які відповідають основним вимогам безпеки європейського законодавства щодо обладнання, що працює під тиском. Характеристики матеріалів, що відповідають вимогам цього європейського стандарту, наведено в таблиці 3.1.

Здебільшого для виробництва фланців використовують сталь або чавун. Велике значення мають марка та тип сталі:

– низьколегована або високолегована сталь;

– вуглецева сталь різних марок;

– виготовлена методом штампування, лиття, кування, кисневого різання.

Вибір матеріалу для виготовлення фланців залежить від умов експлуатації трубопроводу чи арматури, таких як тиск і температура робочого середовища, його хімічний склад та вимоги до корозійної стійкості. Найпоширеніші матеріали для виготовлення фланців – це сталь, нержавіюча сталь, чавун і пластик.

Сталеві фланці виготовляються з вуглецевої або легованої сталі. Вони мають високу міцність і стійкість до високих тисків і температур. Сталеві фланці широко використовуються в нафтогазовій, хімічній та енергетичній промисловості. Переваги: висока міцність; стійкість до високих тисків і температур; відносно низька вартість. Недоліки: схильні до корозії; потребують додаткового захисту при контакті з агресивними середовищами.

Фланці з нержавіючої сталі мають високу корозійну стійкість і можуть використовуватися в трубопроводах, що транспортують агресивні середовища, такі як кислоти, луги та розчинники. Вони широко використовуються в харчовій, фармацевтичній та хімічній промисловості. Переваги: висока корозійна стійкість;

стійкість до агресивних середовищ; довговічність. Недоліки: вища вартість порівняно зі сталевими фланцями.

Чавунні фланці використовуються в трубопроводах з низьким тиском і неагресивними середовищами, таких як системи водопостачання та каналізації. Переваги: хороша стійкість до корозії в нейтральних середовищах; низька вартість. Недоліки: низька міцність порівняно зі сталевими фланцями; не рекомендується використовувати при високих тисках і температурах; крихкість.

Пластикові фланці виготовляються з різних видів пластику, таких як ПВХ, ПП, ПВДФ. Вони мають високу корозійну стійкість і використовуються в трубопроводах, що транспортують агресивні середовища, такі як кислоти, луги та розчинники. Пластикові фланці легкі та прості в монтажі, але не мають високої міцності і не можуть використовуватися при високих тисках і температурах. Переваги: висока корозійна стійкість; невелика вага; простота монтажу. Недоліки: низька міцність; не рекомендується використовувати при високих тисках і температурах.

Хомути типів 35–37 повинні виготовлятися виключно з аустенітно-феритної сталі [22].

Вибір типу сталі залежить від виду речовини, робочого температурного режиму та тиску в трубопроводі.

Для високих тисків та агресивних середовищ потрібні фланці з високоміцних матеріалів, наприклад, високоякісної сталі з відповідним покриттям, що забезпечує корозійну стійкість.

Матеріали, наведені в таблиці 3.1, згруповані за групами матеріалів, що містять матеріали зі схожими хімічними/механічними властивостями та корозійною стійкістю, з метою полегшення еквівалентного застосування матеріалів у групі залежно від тиску, температури та середовища. Методи виготовлення, пов’язані з базовим матеріалом. Методи виготовлення наведені в таблиці 2.5. Механічні властивості залежать від розмірів необроблених деталей («VR» для поковок, «t» для плоского прокату). В результаті механічної обробки ці розміри зменшуються. Для фланців, що пройшли механічну обробку, розміри

фланців C1–C4 або F не повинні бути меншими за 80 % від «VR» для поковки, а розміри фланців C1–C4 або F не повинні бути меншими за 80 % від t для плоского прокату [22].

Таблиця 3.1 — Вибір матеріалів для виготовлення фланців [22]

Група	Поковки			Плоский прокат			Виливки			Прокат		
	Назва матеріалу	Стандарт	Номер матеріалу	Назва матеріалу	Стандарт	Номер матеріалу	Назва матеріалу	Стандарт	Номер матеріалу	Назва матеріалу	Стандарт	Номер матеріалу
3E0	—	—	—	P235GH	EN 10028-2	1.0345	GP240GH	EN 10213	1.0619	P235GH	EN 10273	1.0345
3E0	P250GH	EN 10222-2	1.0460	—	—	—	—	—	—	P250GH	EN 10273	1.0460
3E0	P245GH	EN 10222-2	1.0352	P265GH	EN 10028-2	1.0425	GP280GH	EN 10213	1.0625	P265GH	EN 10273	1.0425
3E1	P280GH	EN 10222-2	1.0426	P295GH	EN 10028-2	1.0481	—	—	—	P295GH	EN 10273	1.0481
4E0	16Mo3	EN 10222-2	1.5415	16Mo3	EN 10028-2	1.5415	G20Mo5	EN 10213	1.5419	16Mo3	EN 10273	1.5415
5E0	13CrMo4-5	EN 10222-2	1.7335	13CrMo4-5	EN 10028-2	1.7335	G17CrMo5-5	EN 10213	1.7357	13CrMo4-5	EN 10273	1.7335
6E0	11CrMo9-10	EN 10222-2	1.7383	12CrMo9-10	EN 10028-2	1.7375	G17CrMo9-10	EN 10213	1.7379	11CrMo9-10	EN 10273	1.7383
	-	-	-	10CrMo9-10	EN 10028-2	1.7380	—			10CrMo9-10	EN 10273	1.7380
6E1	X16CrMo5-1+NT	EN 10222-2	1.7366	—	—	—	GX15CrMo5	EN 10213	1.7365	—	—	—
7E0	—	—	—	P275NL1	EN 10028-3	1.0488	G17Mn5	EN 10213	1.1131	—	—	—
	—	—	—	P275NL2	EN 10028-3	1.1104	G20Mn5	EN 10213	1.6220	—	—	—
7E1	—	—	—	P355NL1	EN 10028-3	1.0566	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	P355NL2	EN 10028-3	1.1106	—	—	—	—	—	—
7E2	15NiMn6	EN 10222-3	1.6228	15NiMn6	EN 10028-4	1.6228	G9Ni10	EN 10213	1.5636	—	—	—
	—	—	—	11MnNi5-3	EN 10028-4	1.6212	—	—	—	—	—	—
	13MnNi6-3	EN 10222-3	1.6217	13MnNi6-3	EN 10028-4	1.6217	—	—	—	—	—	—
7E3	—	—	—				—	—	—	—	—	—
	12Ni14	EN 10222-3	1.5637	12Ni14	EN 10028-4	1.5637	G9Ni14	EN 10213	1.5638	—	—	—
	X12Ni5	EN 10222-3	1.5680	X12 Ni 5	EN 10028-4	1.5680	—	—	—	—	—	—
	X8Ni9	EN 10222-3	1.5662	X8Ni9	EN 10028-4	1.5662	—	—	—	—	—	—
8E0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8E2	P285NH	EN 10222-4	1.0477	P275NH	EN 10028-3	1.0487	—	—	—	P275NH	EN 10273	1.0487
	P285QH	EN 10222-4	1.0478	—	—	—				—	—	—
8E3	P355NH	EN 10222-4	1.0565	P355N	EN 10028-3	1.0562	—	—	—	P355NH	EN 10273	1.0565
	P355QH1	EN 10222-4	1.0571	P355NH	EN 10028-3	1.0565				P355QH	EN 10273	1.8867
9E0	X20CrMoV11-1	EN 10222-2	1.4922	—	—	—	GX23CrMoV12-1	EN 10213	1.4931	—	—	—
9E1	X10CrMoVNb9-1	EN 10222-2	1.4903	X10CrMoVNb9-1	EN 10028-2	1.4903	—	—	—	—	—	—
10E0	X2CrNi18-9	EN 10222-5	1.4307	X2CrNi18-9	EN 10028-7	1.4307	GX2CrNi19-11	EN 10213	1.4309	X2CrNi18-9	EN 10272	1.4307
	—	—	—	X2CrNi19-11	EN 10028-7	1.4306	—	—	—	X2CrNi19-11	EN 10272	1.4306

Продовження таблиці 3.1

Група	Поковки			Плоский прокат			Витивки			Прокат		
	Назва матеріалу	Стандарт	Номер матеріалу	Назва матеріалу	Стандарт	Номер матеріалу	Назва матеріалу	Стандарт	Номер матеріалу	Назва матеріалу	Стандарт	Номер матеріалу
10E0	—	—	—	X1CrNi25-21	EN 10028-7	1.4335	—	—	—	—	—	—
10E1	X2CrNiN18-10	EN 10222-5	1.4311	X2CrNiN18-10	EN 10028-7	1.4311	—	—	—	X2CrNiN18-10	EN 10272	1.4311
11E0	X5CrNi18-10	EN 10222-5	1.4301	X5CrNi18-10	EN 10028-7	1.4301	GX5CrNi19-10	EN 10213	1.4308	X5CrNi18-10	EN 10272	1.4301
	X6CrNi18-10	EN 10222-5	1.4948	X6CrNi18-10	EN 10028-7	1.4948	—	—	—	—	—	—
	X6CrNiTi18-10	EN 10222-5	1.4541	X6CrNiTi18-10	EN 10028-7	1.4541	—	—	—	X6CrNiTi18-10	EN 10272	1.4541
12E0	X6CrNiNb18-10	EN 10222-5	1.4550	X6CrNiNb18-10	EN 10028-7	1.4550	GX5CrNiNb19-11	EN 10213	1.4552	X6CrNiNb18-10	EN 10272	1.4550
	X6CrNiTiB18-10	EN 10222-5	1.4941	X6CrNiTiB18-10	EN 10028-7	1.4941	—	—	—	—	—	—
	X2CrNiMo17-12-2	EN 10222-5	1.4404	X2CrNiMo17-12-2	EN 10028-7	1.4404	GX2CrNiMo19-11-2	EN 10213	1.4409	X2CrNiMo17-12-2	EN 10272	1.4404
	X2CrNiMo17-12-3	EN 10222-5	1.4432	X2CrNiMo17-12-3	EN 10028-7	1.4432	—	—	—	X2CrNiMo17-12-3	EN 10272	1.4432
13E0	X2CrNiMo18-14-3	EN 10222-5	1.4435	X2CrNiMo18-14-3	EN 10028-7	1.4435	—	—	—	X2CrNiMo18-14-3	EN 10272	1.4435
	—	—	—	X1NiCrMoCu25-20-5	EN 10028-7	1.4539	GX2NiCrMo28-20-2	EN 10213	1.4458	X1NiCrMoCu25-20-5	EN 10272	1.4539
	—	—	—	X1NiCrMoCu31-27-4	EN 10028-7	1.4563	—	—	—	X1NiCrMoCu31-27-4	EN 10272	1.4563
13E1	X2CrNiMoN17-11-2	EN 10222-5	1.4406	X2CrNiMoN17-11-2	EN 10028-7	1.4406	—	—	—	X2CrNiMoN17-11-2	EN 100287	1.4406
13E1	X2CrNiMoN17-13-3	EN 10222-5	1.4429	X2CrNiMoN17-13-3	EN 10028-7	1.4429	—	—	—	X2CrNiMoN17-13-3	EN 100287	1.4429
13E1	—	—	—	X2CrNiMoN17-13-5	EN 10028-7	1.4439	—	—	—	X2CrNiMoN17-13-5	EN 100287	1.4439
13E1	—	—	—	X1NiCrMoCuN25-20-7	EN 10028-7	1.4529	—	—	—	X1NiCrMoCuN25-20-7	EN 100287	1.4529
13E1	—	—	—	X1CrNiMoCuN20-18-7	EN 10028-7	1.4547	—	—	—	X1CrNiMoCuN20-	EN 10272	1.4547
14E0	X5CrNiMo17-12-2	EN 10222-5	1.4401	X5CrNiMo17-12-2	EN 10028-7	1.4401	GX5CrNiMo19-11-2	EN 10213	1.4408	X5CrNiMo17-12-2	EN 10272	1.4401
14E0	X3CrNiMo17-13-3	EN 10222-5	1.4436	X3CrNiMo17-13-3	EN 10028-7	1.4436	—	—	—	X3CrNiMo17-13-3	EN 10272	1.4436

Продовження таблиці 3.1

Група	Поковки			Плоский прокат			Виливки			Прокат		
	Назва матеріалу	Стандарт	Номер матеріалу	Назва матеріалу	Стандарт	Номер матеріалу	Назва матеріалу	Стандарт	Номер матеріалу	Назва матеріалу	Стандарт	Номер матеріалу
	3			3						13-3		
15E0	X6CrNiMoTi17-12-2	EN 10222-5	1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	EN 10028-7	1.4571	—	—	—	X6CrNiMoTi17-12-2	EN 10272	1.4571
	—	—	—	X6CrNiMoNb17-12-2	EN 10028-7	1.4580	GX5CrNiMoNb19-11-2	EN 10213	1.4581	X6CrNiMoNb17-12-2	EN 10272	1.4580
	—	—	—	—	—	—	GX2CrNiMoCuN25-6-3-3	EN 10213	1.4517	—	—	—
	—	—	—	X2CrNiN23-4	EN 10028-7	1.4362	—	—	—	X2CrNiN23-4	EN 10272	1.4362
16E0	X2CrNiMoN22-5-3	EN 10222-5	1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	EN 10028-7	1.4462	GX2CrNiMoN22-5-3	EN 10213	1.4470	X2CrNiMoN22-5-3	EN 10272	1.4462
	X2CrNiMoN25-7-4	EN 10222-5	1.4410	X2CrNiMoN25-7-4	EN 10028-7	1.4410	—	—	—	X2CrNiMoN25-7-4	EN 10272	1.4410
	—	—	—	—	—	—	GX2CrNiMoN26-7-4	EN 10213	1.4469	—	—	—

Таблиця 3.2 – Механічні властивості матеріалів для виготовлення корпусних деталей фонтанної арматури [25]

Марка	Термічна обробка	Границя плинності, МПа	Границя міцності, МПа	Відносне видовження, %	Умови експлуатації
38Х2МЮА	Гартування, відпуск	850	1000	14	Холодний клімат
30ХМА	Гартування, відпуск	750	950	12	Холодний клімат
40ХН	Гартування, відпуск	800	1000	11	Холодний клімат
35	Нормалізація	320	540	20	Помірний клімат
35ХМ	Гартування в маслі, відпуск	900	1000	11	Помірний клімат
40Х	Гартування в маслі, відпуск	800	1000	10	Помірний клімат
30	Нормалізація	300	500	21	Помірний клімат
30ХМЛ3	Нормалізація, гартування і відпуск	400 550	600 700	12 12	Будь-які кліматичні умови
40Л	Нормалізація, гартування і відпуск	300 350	530 550	14 14	Помірний клімат

Неметалеві прокладки виготовляють з гуми, пароніту, азбесту, поліхлорвінілу, фторопласту тощо.

Гумові прокладки застосовуються при невеликих тисках і температурах (50 – 70 °С). Гума використовується у вигляді листів або шнурів круглого та прямокутного перерізу.

Пароніт – це композиція з азбесту, каучуку та різних наповнювачів. Такі прокладки використовують при температурі до 450 °С і тиску до 6 МПа у різних середовищах: гаряча вода, водяна пара, різні кислоти та розчинники. Пароніт випускають у вигляді листів.

Азбест для прокладок використовують у вигляді шнура або листового матеріалу (азбестовий картон). Такі прокладки кислотостійкі та витримують високі температури (до 500 °С).

Металеві прокладки застосовують при підвищеній температурі і тисках. Для них використовують метали, які володіють достатньою пластичністю: мідь,

алюміній, м’яке залізо. Лінзові та овальні прокладки, що працюють за принципом пружної деформації виготовляють з якісної вуглецевої або легованої сталі. Рекомендації щодо матеріалів сталевих прокладок фланцевих з’єднань згідно [25] наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Рекомендації щодо матеріалів сталевих прокладок фланцевих з’єднань [25]

Марка сталі	Твердість НВ, не більше	Корозійність середовища
08 ГОСТ 1050	109	Нормальне
20 ГОСТ 1050	127	Нормальне
08кп ГОСТ 1050	98	Нормальне
12Х18Н9Т ГОСТ 5632	160	Корозійне К1
10Х17Н13М3Т ГОСТ 5632	160	Корозійне К3

Комбіновані прокладки складаються з металевих і неметалевих матеріалів, яким металеве армування надає жорсткості, а більш пластичний неметалевий матеріал забезпечує герметичність з’єднання. Широко застосовують азбометалеві прокладки. Для агресивних середовищ застосовують комбіновані прокладки з фторопластовим чохлом. Вони складаються з металевої паронітової серцевини, проміжного шару з м’якого матеріалу та тонкої фторопластової обкладки.

Деталі для кріплення фланців виконують з якісних матеріалів – якісних вуглецевих або легованих сталей з відповідною термообробкою. Вимоги до механічних властивостей матеріалів заготовок або готових шпильок в термообробленому стані наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вимоги до механічних властивостей матеріалів заготовок або готових шпильок в термообробленому стані [25]

Тип фланцевого з’єднання	Границя плинності, МПа	Границя міцності, МПа	Відносне видовження, %	Ударна в’язкість, Дж/см^2
	не менше, ніж			
1	637	785	13	59
2	722	865	16	59

Матеріал болтів має важливе значення: для високих температур або агресивних середовищ необхідно використовувати болти з корозійностійких матеріалів, таких як нержавіюча сталь. Рекомендується обирати болти з високим класом міцності, щоб забезпечити надійність з'єднання за умов високого тиску.

Гайки, болти та шпильки виконують з різних матеріалів, при чому міцність і твердість болтів (шпильок) повинна бути вище, ніж гайок.

Клас міцності гайок, як правило, приймається відповідно до класу міцності болтів: 5 – при 5.6, 5.8, 6.6; 8 – при 8.8; 10 – при 10.9.

Для болтів при їхній роботі тільки на зріз допускається приймати клас міцності гайок 4 при класах міцності болтів 5.6, 5.8, 6.6; 6 – при 8.8; 8 – при 10.9.

4 МОНТАЖ, ВИПРОБУВАННЯ ТА ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ З ФЛАНЦЕВИМИ З'ЄДНАННЯМИ

4.1 Загальні вимоги до монтажу фланцевих з’єднань

Перед монтажем фланцевого з’єднання необхідно виконати підготовчі роботи:

– візуально перевірити поверхню фланців на наявність бруду, корозії та накипу – у місцях забруднень за допомогою металевої щітки потрібно виконати очистку поверхні;

– перевірити фланці на подряпини, ямки та сліди від інструментів і замінити їх, якщо є хоча б один із дефектів;

– оглянути посадкові поверхні прокладки – місце ущільнення фланцевого з’єднання потребує додаткової уваги, адже від нього залежить надійність з’єднання. Під час процесу монтажу необхідно слідкувати за чистотою посадкової поверхні прокладки;

– переконатися у відсутності дефектів на ущільнюючій прокладці – вона має бути цілою, гладкою, без подряпин, тріщин;

– візуально оглянути болти, шпильки та гайки, які мають виготовлятися з такого ж матеріалу, що і фланці. Також необхідно переконатися у відсутності корозії, пошкодження різьблення тощо. Якщо є корозія, зачистити металевою щіткою, у разі виявлення пошкоджень – замінити деталь;

– перевірити довжину кріплення – щоб уникнути коротких болтів або зайвого різьблення на шпильках попередньо приміряємо відповідність довжини кріплення до товщини з’єднувальних деталей.

Порядок виконання монтажу фланцевого з’єднання наступний.

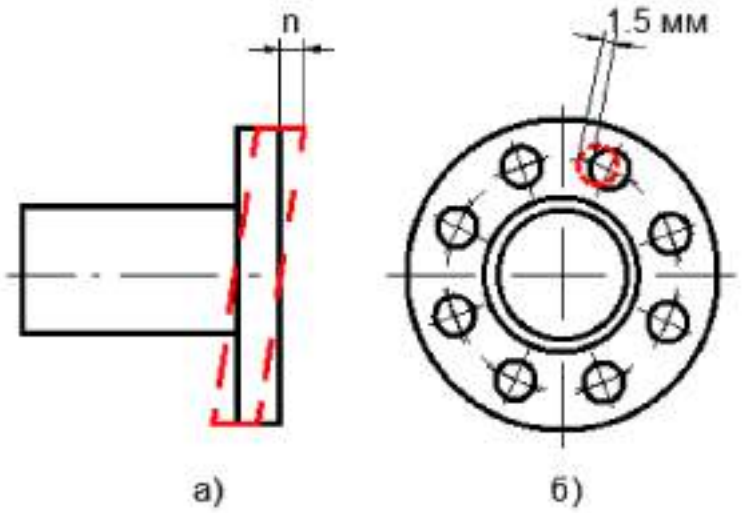
1. Очистити ущільнювальну поверхню фланців.

2. Візуально перевірити виконання умов перпендикулярності фланців і зміщення осей їхніх отворів:

– відхилення перпендикулярності фланця до осі труби **n** вимірюється за зовнішнім діаметром фланця (рис. 4.1 (а)); воно не має перевищувати 0,2 мм на кожні 100 мм діаметра трубопроводу;

– встановлювати фланці треба так, щоб отвори для болтів і шпильок були розташовані симетрично до головних осей (вертикальної і горизонтальної), але не збігалися з ними (рис. 4.1 (б)). Зміщення осей болтових отворів у фланцях щодо осі симетрії не має перевищувати ± 1,5 мм;

– виправлення перекосу фланців під час їхнього складання шляхом натягу болтів або шпильок не допускається. Такий натяг викликає одностороннє стиснення прокладки й неприпустиму витяжку болтів або шпильок, в результаті чого з'єднання стає нещільним. Внаслідок цього перетягнуті болти або шпильки в процесі експлуатації можуть розірватися.



а – відхилення від перпендикулярності фланця до основи труби;

б – зміщення осей болтових отворів у фланцях щодо осі симетрії

Рисунок 4.1 – Положення фланця під час установки на трубі

3. Наживити щонайменше два болти або шпильки.

Суворих вимог щодо того, які саме болти наживляти, немає. Але якщо наживити болти у нижній частині фланців, вони не будуть заважати встановленню прокладки.

4. Встановити ущільнювальну прокладку на посадкове місце:

– м’які прокладки з біконіту не потребують попередньої підготовки;

– м’які прокладки з пароніту, картону, азбесту перед установкою змочують водою й натирають з обох боків сухим графітом;

– заборонено змащувати прокладки мастиками або графітом, розведеним на мастилі, оскільки ці матеріали припікаються до дзеркал фланця та псують їхню поверхню.

5. Заповнити всі монтажні отвори болтами або шпильками.

6. Затягнути гайки у 3-4 проходи.

Гайки фланцевих з’єднань затягують способом хрестоподібного обходу (рис. 4.2). Спершу одну пару протилежно лежачих болтів, потім другу, яка знаходиться під кутом 90° до першої. Така послідовність затягування гайок не утворює перекоси у фланцевих з’єднаннях.



Рисунок 4.2 – Послідовність виконання затягування болтів

Контроль якості монтажних робіт і їх приймання виконується у відповідності до вимог розділу 9 ДБН А.3.1-5.

Операційний контроль монтажних процесів виконується на всіх стадіях монтажу, в т.ч.:

а) виготовлення деталей;

б) складання елементів і конструкцій під зварювання або влаштування болтових з’єднань (метизів);

в) зварювання та встановлення кріпильних деталей;

г) загального або контрольного складання;

д) попереднє напруження конструкцій;

е) укрупнювального складання, встановлення та проєктного закріплення;

ж) випробування конструкцій;

з) інших стадій монтажу конструкцій, обумовлених в робочих кресленнях і додаткових вимогах.

Приймання змонтованих металевих конструкцій виконується:

а) проміжним прийманням прихованих робіт;

б) прийманням змонтованих конструкцій усієї споруди або її частини під виконання подальших будівельно-монтажних робіт;

в) остаточним прийманням будівлі або споруди при здачі об’єкта в експлуатацію.

Документація, яка пред'являється при прийманні змонтованих конструкцій містить:

а) робочі креслення;

б) заводські сертифікати на поставлене обладнання;

в) документи про узгодження відхилень від робочої технічної документації, які були допущені при виготовленні і монтажі; при цьому узгодженні відхилення від вимог робочих креслень наносяться представниками авторського нагляду проектної організації, у відповідності до вимог ДБН А.2.2-4, на кресленнях, що пред'являються під час здачі робіт;

г) акти на закриття прихованих робіт;

д) документи (сертифікати, паспорти тощо), що засвідчують якість матеріалів (марок сталей, сталевих канатів, металевих виробів, електродів, електродного дроту та інших зварювальних матеріалів, а також фарбувальних матеріалів), що використовувалися під час монтажу і які увійшли до складу обладнання;

к) акти випробування;

л) документи про контроль якості зварних з'єднань;

м) копії посвідчень (дипломів) про кваліфікацію зварювальників, які виконували зварювання конструкцій під час монтажу;

н) копії посвідчень про кваліфікацію робітників, які виконували постановку високоміцних шпильок;

п) додаткову документацію, передбачену для попередньо напружених конструкцій;

р) акти на фарбування, яке виконувалось під час монтажу;

с) акти проміжного прийняття відповідальних конструкцій.

Документація, що пред'являється при прийманні робіт, крім наведеної вище, містить сертифікати або документи заводу-виробника, що засвідчують якість сталі фланців, шпильок, болтів, гайок і шайб, документи заводу-виробника щодо контролю якості зварних з'єднань фланців, відомості про контроль за виконанням монтажних з'єднань.

4.2 Визначення та контроль моменту затягування кріпильних елементів фланцевих з'єднань

Момент затягування фланцевих з'єднань – це крутний момент (сила помножена на довжину важеля), який прикладається до болта або гайки для створення необхідного зусилля натягу. Він забезпечує герметичність системи та запобігає її руйнуванню.

Визначення правильного моменту базується на декількох факторах: тип матеріалу кріплення (клас міцності болтів/шпильок, наприклад, 8.8 або 10.9); тип прокладки (м'яка, металева) – від її стисливості залежить необхідний тиск; наявність мастила – змащування різьблення та торця гайки суттєво знижує коефіцієнт тертя, що потребує коригування розрахункового моменту.

Для визначення точних значень використовують спеціальні таблиці моментів затягування (наведені у відповідних ДСТУ або рекомендаціях виробників).

Підготовка контактних поверхонь фланців здійснюється відповідно до вимог робочих креслень металевих конструкцій і робочих деталювальних креслень. За відсутності таких вимог контактні поверхні очищаються ручними або механічними сталевими щітками від бруду, напливів ґрунтовки і фарби, іржі, снігу і льоду.

Шпильки/болти у фланцевих з'єднаннях затягуються із зусиллям, значення якого наводяться в проектній документації, обертанням гайки до розрахункового моменту. Контролю затягування підлягають усі шпильки/болти з’єднання. Шпильки/болти затягуються у визначеній послідовності, починаючи з болтів, розташованих найближче до зони найбільшої жорсткості з’єднання.

Монтаж фланців вимагає поступового та рівномірного розподілу навантаження, а алгоритм контролю та затягування наступний:

1. Підготовка:

– очистіть різьблення та опорні поверхні;

– переконайтеся в рівному зазорі між фланцями (паралельність) та співвісності отворів;

– прокладка має бути встановлена ідеально по центру.

2. Правило «хрест-на-хрест»:

– затягувати болти необхідно послідовно навпроти один одного, а не по колу. Це виключає перекоси ущільнювача.

3. Етапність (правило кроків):

Для відповідальних з'єднань момент нарощують у 3-4 етапи:

Крок 1: Затягування вручну або до 30% - 50% від номінального моменту.

Крок 2: Затягування до 60% - 80% від номінального моменту.

Крок 3: Остаточне затягування на 100% розрахункового моменту.

Крок 4: Фінальний прохід по колу (послідовно кожен болт) для перевірки, що всі кріплення затягнуті з однаковим зусиллям.

Затягування болтів здійснюється тільки з моментом М у ньютон-метрах, величину якого обчислюють за формулою [29]:

$$M=n\cdot k\cdot P\cdot d,\ Н\cdot м, \tag{4.1}$$

де n – коефіцієнт приймається 1,06 при затягуванні високоміцних болтів; при контролі натягу – n=1,0;

k – середнє значення коефіцієнта закручування, наведене для кожної партії болтів у сертифікаті підприємства-виробника або таке, що визначається при виконанні робіт за допомогою контрольних приладів;

P – розрахункове зусилля натягу болта, наведене в робочих кресленнях;

d – номінальний діаметр болта, мм.

Можливо відхилення фактичного моменту закручування від моменту, що обчислюється за формулою (4.1), у більшу сторону на величину до 10 % відзначення моменту закручування.

Для прикладу визначимо момент затягування фланцевого з'єднання першого типу 50×35 фонтанної арматури при монтажі на усті свердловини.

При експлуатації фланцевого з'єднання на свердловині в разі застосування прокладки з двостороннім контактом розрахунок зусилля $P_{зат}$, які виникають в результаті затягування ущільнюючого стику з врахуванням тиску пластової рідини ведеться за формулою

$$P_{зат}=\frac{\pi\cdot D_3^2}{4}\cdot p+\pi\cdot D_3\cdot b_{еф}\cdot m\cdot p=$$
$$=\frac{3{,}14\cdot 0{,}0952^2}{4}\cdot 35\cdot 10^6+3{,}14\cdot 0{,}0952\cdot 1{,}3875\cdot 10^{-3}\cdot 10\cdot 35\cdot 10^6=321754\text{Н} \tag{4.2}$$

де D_3 – середній діаметр прокладки П24 D_3=0,0952 м [25];

p – тиск робочої рідини, р=35·10^6 Па;

$b_{еф}$ – ефективна ширина прокладки, м;

$$b_{еф}=0{,}125b=0{,}125\cdot 11{,}1=1{,}3875\text{ мм}=1{,}3875\cdot 10^{-3}\text{ м}, \tag{4.3}$$

b – ширина прокладки, м;

m – коефіцієнт, який враховує пружні властивості матеріалу прокладки (для газу – від 10 до 12, менші значення приймають для м’яких сталей, більші – для більш твердих) [25].

Тоді за формулою (4.1)

$$M=1,06\cdot0,165\cdot321754\cdot0,022=1238 \text{ Н·м},$$

де k=0,165 для шпильки М22.

Для досягнення правильного моменту застосовують такі типи інструментів: динамометричні ключі (граничні або шкальні) – ручний інструмент для точного контролю прикладеного зусилля; гідравлічні гайковерти / тензометричні домкрати – використовуються для великих промислових фланців із високим класом тиску.

Контроль зусилля натягу виконується для всіх шпильок/болтів тарованими динамометричними ключами і проводиться не раніше, ніж через 8 годин після виконання натягування всіх болтів; при цьому, зусилля в болтах повинні відповідати значенням, вказаним в проєктній документації.

Динамометричні ключі для натягування і контролю натягу високоміцних шпильок/болтів таруються не менше одного разу на зміну за відсутності механічних пошкоджень ключів, а також після кожної заміни контрольного приладу або ремонту ключів.

Якість виконання фланцевих з'єднань перевіряється шляхом операційного контролю. Контролю підлягають:

а) якість підготовки (розконсервування) шпильок/болтів;

б) якість підготовки контактних поверхонь фланців;

в) відповідність встановлених шпильок/болтів, гайок, шайб вимогам стандартів на вироби, а також вимогам робочих креслень;

г) наявність шайб під гайками і головками болтів;

д) довжина частини шпильок/болта, що виступає над гайкою;

е) наявність клейма монтажника, що виконав складання з'єднання.

Найпоширенішими проблемами при монтажі фланцевих з’єднань, що стосуються їх затягування, є наступні:

– шпильки/болти затягнуті занадто слабко під час складання, зусилля прокладки занадто сильно падає після підвищення температури під час роботи, що призводить до прямого витоку;

– шпильки/болти надмірно затягнуті з міркувань безпеки, напруження на болтах перевищує допустиму межу, що з часом призводить до втомного руйнування.

4.3 Випробування фланцевих з’єднань та засоби для їх реалізації

Після механічної перевірки монтажу фланцевих з’єднань проводять тест герметичності. Його метод залежить від типу системи:

– гідравлічні випробування (підвищеним тиском);

– пневматичні тести;

– тестування індикаторами витоків;

– термографічний контроль;

– візуальна перевірка під час запуску під навантаженням.

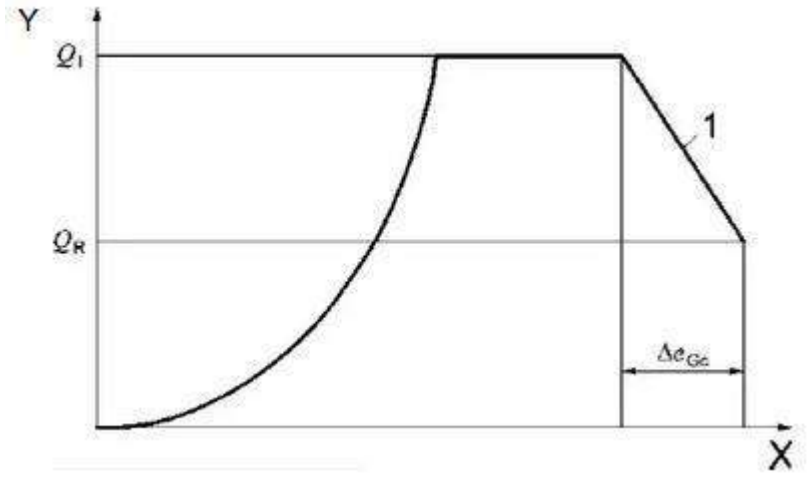
Перевірка на герметичність фланцевих з'єднань – це критично важливий процес для запобігання витокам у трубопроводах та обладнанні. Для забезпечення максимальної безпеки системи обов'язковим є дотримання правил монтажу та використання перевірених методів тестування.

Загалом процес витоку робочого середовища через фланцеві з’єднання з прокладками зумовлений двома основними фізичними явищами: дифузією (молекулярним проникненням) та в’язким потоком. Рушійною силою дифузійного перенесення є різниця концентрацій речовини, яка спричиняє її рух у напрямку меншої концентрації. Натомість в’язкий потік виникає внаслідок перепаду тиску між внутрішнім ущільнюваним об'ємом та навколишнім середовищем. У реальних умовах експлуатації ущільнювальних вузлів обидва процеси взаємопов'язані. При цьому за низьких значень перепаду тиску домінує дифузія або молекулярний потік, тоді як за вищих різниць тиску визначальним стає в'язкий потік речовини.

Математичний опис і виведення аналітичних залежностей теорії потоку здійснюють на основі спрощеного моделювання пористої структури тіла

прокладки, через яку відбувається просочування. Для характеристики потоку безпосередньо вздовж межі розділу між прокладкою та фланцем як модель мікрорельєфу фланцевої поверхні використовують еквівалентну трикутну канавку. Такий підхід дозволяє математично моделювати пристінковий (межовий) витік у з'єднаннях із компактними та щільними прокладками, зокрема з металевими елементами ущільнення.

З огляду на тривалу експлуатацію фланцевих з’єднань під навантаженням, обов'язковою умовою розрахунку є перевірка деформаційних властивостей матеріалу прокладки. Зокрема, її здатність до повзучості та релаксації напружень оцінюють за допомогою коефіцієнта обтискання P_{QR} [21].



X – відхилення прокладки; Y – тиск на поверхню прокладки; 1 – фаза повзучості-релаксації при заданій жорсткості

Рисунок 4.3 – P_{QR} – тест для прокладки фланцевого з’єднання

За графіком визначають додаткове відхилення прокладки внаслідок повзучості Δe_{Gc}.

Надалі розглянемо основні способи перевірки на герметичність.

1. Візуальний огляд: базовий метод, що дозволяє виявити явні протікання рідини або падіння тиску (наприклад, за манометрами) після запуску системи в роботу.

2. Метод мильної емульсії (обмилювання): на фланці та в зоні прокладки наноситься спеціальний мильний розчин. Утворення бульбашок свідчить про витік газу чи повітря. Це простий спосіб для швидкого контролю.

3. Гідравлічні випробування (опресування): система заповнюється рідиною (водою) під тиском, який зазвичай перевищує робочий у 1,25–1,5 раза. Протягом встановленого часу фланець оглядають на наявність крапель або "потіння".

4. Пневматичні випробування: Проводяться стисненим повітрям або інертним газом. Використовуються для систем, де неможливе застосування води, або при випробуваннях на газощільність.

Герметичність фланцевого з'єднання, як правило, перевіряється шляхом подачі тиску в трубопровід. У разі виявлення витоків необхідно підтягнути болти або замінити прокладку. У деяких випадках може знадобитися повторне затягування болтів після певного періоду експлуатації.

Основні компоненти схеми для перевірки герметичності фланцевого з’єднання та їх призначення:

1. Джерело водопостачання: резервуар або водопровід для первинного заповнення системи.

2. Наповнювальний насос: використовується для швидкого заповнення великих об'ємів (якщо система велика).

3. Гідравлічний прес (ручний або електричний): створює точний високий випробувальний тиск.

4. Запірна арматура (вентилі): відсікають випробувальну ділянку від насоса після досягнення потрібного тиску.

5. Зворотний клапан: запобігає скиданню тиску назад у насос.

6. Контрольні манометри: встановлюються мінімум у двох точках (на початку і в кінці ділянки), вони повинні бути перевіреними та мати клас точності не нижче 1,5.

7. Повітряник (повітряний вентиль): встановлюється у найвищій точці схеми для повного видалення повітря із системи під час її заповнення рідиною.

Покроковий алгоритм випробування за схемою наступний:

– провести герметизацію випробувальної ділянки; закрити всі вихідні засувки, встановити заглушки на кінцях трубопроводу (в разі потреби);

– витіснити повітря з системи шляхом відкриття повітряного вентиля у верхній точці та заповнення системи водою знизу вгору, поки з повітряника не піде суцільний струмінь води;

– підняти тиск в системі закриттям повітряника та увімкнення гідропреса. Тиск піднімають плавно, без гідроударів;

– витримати під випробувальним тиском від 10 до 30 хвилин (залежно від регламенту). При цьому контролюється відсутність падіння тиску за манометром;

– тиск знижують до робочого, після чого проводять ретельний візуальний огляд фланцевих з'єднань на наявність протікань чи крапель.

4.4 Технічне обслуговування обладнання з фланцевими з'єднаннями

Технічне обслуговування (ТО) та ремонт трубопровідних фланців – це комплекс заходів, спрямованих на запобігання витокам та забезпечення герметичності. Процес включає планові огляди, очищення поверхонь, заміну прокладок та кріплень із дотриманням правил безпеки.

Для забезпечення надійної та довговічної роботи фланцевих з'єднань необхідно проводити регулярне технічне обслуговування та експлуатацію. Технічне обслуговування фланцевих з'єднань включає в себе наверений нижче ряд заходів.

Перевірка цілісності фланця, відсутність тріщин та корозії, перевірка стану зварних швів на стиках із трубою. Необхідно регулярно оглядати фланцеві з'єднання на наявність витоків, корозії та інших дефектів. При виявленні дефектів необхідно вжити заходів щодо їх усунення.

Перевірка зусилля затягування болтів, шпильок та гайок, їх очищення від бруду та оновлення захисного мастила різьб. У процесі експлуатації болти фланцевих з'єднань можуть ослабнути. Необхідно періодично підтягувати болти, щоб забезпечити герметичність з'єднання.

Прокладки фланцевих з'єднань з часом зношуються і втрачають свої герметизуючі властивості. Необхідно періодично замінювати прокладки, щоб запобігти витокам.

Фланці, виготовлені з вуглецевої сталі, схильні до корозії. Для захисту від корозії необхідно застосовувати спеціальні покриття або використовувати фланці з нержавіючої сталі.

Необхідно регулярно очищати фланцеві з'єднання від бруду, пилу та інших забруднень. Забруднення можуть погіршити герметичність з'єднання та прискорити корозію.

Перед початком ремонту необхідно виконати і всі інші заходи щодо забезпечення безпечної роботи на трубопроводах. Зокрема, мають бути відкриті всі дренажні, спускові і продувні вентилі; відповідні засувки і вентилі (якщо не ставляться заглушки) мають бути замкнуті ланцюгом на замок і вивішені попереджувальні плакати. Якщо для ремонту між фланцями трубопроводів встановлюються заглушки вони повинні мати необхідну міцність і володіти достатньо наочними хвостовиками, які чітко вказують місце їх розташування (довгі, забарвлені в яскравий колір).

Перед проведенням ремонтних робіт з фланцевими з’єднаннями слід зняти тиск в трубопроводі чи арматурі, провести повне спорожнення та очищення системи від залишків рідини чи газу (із дотриманням правил техніки безпеки).

Провести демонтаж з’єднання, акуратно відкрутивши кріпильні елементи, зняти старий ущільнювач.

Очистити поверхні видаленням залишків старої прокладки, іржі та накипу на ущільнювальних поверхнях фланців до появи металевого блиску.

Виконати дефектування ущільнювальних поверхонь: оцінити наявність глибоких подряпин, раковин або викривлень. Невеликі дефекти усуваються шляхом шліфування, значні – наплавленням з подальшою механічною обробкою.

Встановити нову прокладку. Підбір прокладки строго за розміром та тиском системи. Вона має бути ідеально відцентрована.

Складання та затягування: рівномірне (хрест-навхрест) закручування болтів для запобігання перекосу. Кріплення необхідно затягувати з використанням динамометричного інструменту до рекомендованого виробником моменту, особливо при роботі з нержавіючою сталлю.

Під час капітального ремонту обладнання належить перевіряти надійність кріплення фланців на трубопроводах, особливо на паропроводах і живильних лініях шляхом ретельного огляду місць їх посадки після очищення від ізоляції. Така перевірка обов'язкова для трубопроводів, що мають посадку фланців з приварюванням і вальцюванням або лише з приварюванням. Порушення з'єднання фланців з трубами у цих конструкцій може відбуватися через погану якість зварювання і вальцювання. Зовнішнім оглядом слід переконатися в тому, що приварювання фланця до труби не пошкоджене, тобто немає відриву зварки від комірця фланця.

5 ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ МОНТАЖІ, ВИПРОБУВАННІ ТА ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ ОБЛАДНАННЯ З ФЛАНЦЕВИМИ З'ЄДНАННЯМИ

Безпечна експлуатація систем видобутку, збору і транспортування природного газу вимагає суворого дотримання галузевих норм. Основні заходи включають постійний контроль герметичності, справність засобів автоматики, дотримання регламенту технічних оглядів та проведення газонебезпечних робіт виключно за нарядом-допуском.

Основні організаційно-технічні заходи безпеки при експлуатації систем видобутку, збору і транспортування природного газу можна розділити на наступні види робіт:

1. Контроль стану газопроводів:

– обхід та візуальний огляд трас підземних газопроводів: не рідше ніж 1 раз на місяць (для низького тиску) або 1 раз на 2 тижні (високий/середній тиск);

– технічний огляд надземних газопроводів: не рідше ніж один раз на 6 місяців;

– комплексне приладове обстеження (КПО) сталевих підземних газопроводів: через 1 рік після введення, далі – 1 раз на 3–5 років залежно від строку служби.

2. Експлуатація, газорозподільних пунктів та компресорних станцій:

– розміщення на видному місці схем обладнання та інструкцій;

– контроль тиску газу (з використанням манометрів на відстані не більше 100 м від зони робіт);

– перевірка і настроювання запобіжно-запірних клапанів (ЗЗК) та запобіжних скидних клапанів (ЗСК).

Газонебезпечні роботи виконуються бригадою у складі не менше 3-х осіб за нарядом-допуском.

Роботи у загазованих середовищах потребують обов’язкового використання робітника, який спостерігає за працівником, що перебуває всередині, та стежить за відсутністю джерел вогню.

Заборонено під час експлуатації опускання в колодязі, шахти та колектори під час обходу трас без спеціального дозволу, засобів захисту та вимірювальних приладів.

Заборонено під час експлуатації використання відкритого вогню та інструменту, що іскрить, поблизу газопроводів.

Заборонено під час експлуатації самочинний ремонт або внесення змін до конструкції обладнання.

Безпека під час роботи з фланцевими з’єднаннями вимагає суворого дотримання інструкцій через ризик розгерметизації. Ключові правила включають обов'язковий повний скид тиску в системі до початку робіт, використання спеціалізованого інструменту та засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), а також поетапне, хрестоподібне затягування кріплень.

До монтажу та обслуговування допускаються лише особи, які пройшли інструктаж та навчання з охорони праці (наприклад, за стандартом EN 1591-4).

Обладнання системи має бути повністю вимкнене. Слід перекрити запірну арматуру та забезпечте захист від випадкового подання тиску, рідини або газу.

Обов'язкове використання захисних окулярів, касок, захисного взуття, спецодягу та рукавичок. За потреби використовуються засоби захисту органів дихання.

Заходи безпеки при монтажі

Перед початком перевірте візуальним оглядом фланці, болти/шпильки та прокладки на наявність дефектів, сколів або корозії. Використовуйте лише відповідні за розміром та типом матеріали.

Не можна застосовувати механічний натяг для вирівнювання труб та усунення перекосів. Фланці мають бути паралельними, а отвори для болтів розташовуватися суворо співвісно.

Болти затягуються у кілька етапів, обов'язково хрест-навхрест (або по колу для круглих схем). Це запобігає перекосам та забезпечує рівномірний тиск.

Згідно з нормативами (наприклад, ДСТУ Б В.2.6-200), зазор між контактними поверхнями у місцях болтів не допускається. Щуп завтовшки 0,1 мм не повинен проникати в зону радіусом 40 мм від осі кріплення.

Безпека при випробуваннях

Перед випробуванням на міцність та герметичність переконайтеся попереднім оглядом у надійності всіх кріплень та відсутності сторонніх предметів.

Слід знаходитись в безпечній зоні. Забороняється перебувати поблизу та на одній лінії із Плавний підйом: Тиск у системі слід підвищувати плавно, контролюючи показання манометрів. Огляд з'єднань проводиться лише після досягнення стабільного тестового тиску та з дотриманням запобіжних заходів.

Усунення дефектів: Підтягування болтів або ліквідація витоків під тиском категорично забороняються.

Технічне обслуговування (ТО) та демонтаж

Перед демонтажем фланців переконайтеся, що систему повністю спорожнено, а токсичні, вибухонебезпечні чи гарячі середовища нейтралізовані та видалені.

Необхідно регулярно проводити аудит кріплень на предмет ослаблення, корозії та втрати еластичності прокладками. Слід встановлювати нові прокладки при кожному розбиранні з'єднання.

Якщо обслуговування пов'язане з електрозварюванням або обладнання має електроприводи, необхідно забезпечити надійне заземлення фланцевих з'єднань як струмопровідного контуру

Необхідно при технічному обслуговуванні застосовувати інструмент, який унеможливлює іскроутворення в загазованому середовищі (наприклад, обміднений або змащений інструмент).

Категорично забороняється використання відкритого вогню (паяльні лампи, кутові шліфмашини – "болгарки") безпосередньо поблизу фланцевих з'єднань апаратів та газопроводів.

ВИСНОВКИ

Фланцеві з’єднання є одним із найважливіших способів з’єднання у трубопровідній арматурі, устьовому обладнанні свердловин, апаратах, резервуарах та іншому нафтогазопромисловому обладнанні. Вони забезпечують герметичність, надійність і зручність обслуговування конструкцій, що працюють під високим тиском, при змінних температурах і в умовах агресивних середовищ.

В роботі розглянуто основні типи фланців, їхні конструктивні особливості, матеріали виготовлення, види ущільнень і методи монтажу фланцевих з’єднань систем видобування, збору та підготовки газу на нафтових та газових промислах. Особливу увагу було приділено питанням герметизації, стандартизації та правильності затягування з’єднань для запобігання витокам і аваріям.

Отримані в процесі виконання роботи результати дозволяють правильно підбирати тип фланцевого з’єднання залежно від умов експлуатації та забезпечувати його безпечну та ефективну роботу, що є важливим аспектом для конструювання та технічного обслуговування нафтогазопромислового обладнання.

В роботі приведено широку класифікацію експлуатаційних навантажень на фланцеві з’єднання та визначені основні чинники, що враховуються при розрахунку та проектуванні.

Порівняння основних методів проектування фланцевих з'єднань, які широко використовуються в Україні та за кордоном, показує, що метод проектування фланцевих з'єднань відповідно європейського стандарту EN 1591 створив нову концепцію проектування фланців, ввівши швидкість витоку в конструкцію систем фланцевих з'єднань, що підвищило гнучкість та ефективність проектування. Проте складний процес розрахунку фланцевих з’єднань та неповні коефіцієнти прокладки обмежують його застосування та потребують продовження наукових досліджень.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Диха М. В. Газовидобування в Україні: стан, проблеми, перспективи у системі енергоринку. *Науковий вісник ІФНТУНГ. Серія: Економіка та управління в нафтовій і газовій промисловості*. 2021. № 2(24). С. 7-16.

2. Осінчук З. П. Основні віхи розвитку газової промисловості України. *Нафтова і газова промисловість*. 2008. № 1. С. 3-6.

3. Грудз В. Я., Марущенко В. В., Братах М. І., Савчук М. Т., Філіпчук О. О. Дослідження ефективності системи збору, підготовки та транспортування газу газовидобувного підприємства. DOI 10.15587/2312-8372.2018.134793.

4. Мікульонок, І. О., Карвацький, А. Я., Іваненко, О. І., & Лелека, С. В. Фланцеві з'єднання обладнання і трубопроводів хімічної технології. *Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження*, 2023. №2, 15–31.

5. Орловський В. М., Білецький В. С., Сіренко В. І. Технологія видобування газу і газового конденсату: навчальний посібник. Редакція «Гірничої енциклопедії», Полтава: НТП «Бурова техніка», Львів, Видавництво «Новий Світ – 2000», 2023. 359 с.

6. Бурова М.Я. Технології збору і підготовки газу і конденсату: навчальний посібник для студентів спеціальності 185 Нафтогазова інженерія та технології / М.Я. Бурова, О.О. Яцкевич, О.П. Варавіна: за заг. ред. проф., д.т.н. І.М. Фика. Харків: НТУ «ХПІ». 2024. 204 с.

7. Фик М. І., Хріпко О. І., Раєвський Я. О., Варавіна О. П. Розробка та експлуатація нафтових та нафтогазових родовищ: посібник для студ. ВНЗ / під ред. д-ра. техн. наук, проф. І. М. Фика. Харків, 2019. 149 с.

8. Онищук О.О., Кормош Ж.О. Процеси і апарати хімічних виробництв : Курс лекцій. Луцьк: Волинський національний університет імені Лесі Українки», 2020. 155 с.

9. Склабінський В. І., Артюхов А. Є., Ляпощенко О. О., Шостаківський І. І. Обладнання газо- та нафтопереробних виробництв: навч. посіб. Суми: СумДУ, 2015. 343 с.

10. Склабінський В. І., Ляпощенко О. О., Артюхов А. Є. Технологічні основи нафто- та газопереробки: навч. посібн. Суми. СумДУ, 2011. С. 187.

11. Врагов, А. П. Гідромеханічні процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв: навч. посіб. Суми: АЛАН-ЕКС, 2003. 232 с.

12. Мамедов Б.Б. Технологічні розрахунки процесів переробки нафти та газу. Навчальний посібник. Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2008. 246 с.

13. Ignatowitz E. Chemietechnik. Haan-Gruiten : Verlag Europa-Lehrmittel. 2011. 608 s.

14. Мікульонок І. О. Конструювання фланцевих з’єднань стальних посудин та апаратів. Київ ІЗМН, 1997. 152 с.

15. Handbook of Precision Engineering. Vol. 6 Mechanical Design Applications. Ed. by A. Davidson. London: Macmillan, 1972. 320 p.

16. Мікульонок І. О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 419 с.

17. Mikulionik I. O. Design of Flange Connections of Chemical Production Equipment (Review of Patents) *Chemical and Petroleum Engineering*. 2020. Vol. 56, N 1–2. P. 74–81.

18. Воловецький В.Б., Коцаба В.І., Витязь О.Ю., Щирба О.М., Дьомін А.В., Гнітко А.В., Василенко С.В.. Особливості експлуатації газових та газоконденсатних свердловин на завершальній стадії розробки родовищ. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. 2016. Вип. 2 (41). С. 39–51.

19. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Фланцеві з'єднання. Барвін О.І. та ін. Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля, 2007. 306 с.

20. ДСТУ ГОСТ 13846:2022 Арматура фонтанна й нагнітальна. Типові схеми, основні параметри і технічні вимоги до конструкції (ГОСТ 13846-2003, IDT). [Недіючий з 01.01.2026]. ДП «УкрНДНЦ», 22 с.

21. ДСТУ EN 1591-1:2015 Фланці та їхні з`єднання. Правила проектування круглих фланцевих з'єднань з ущільненням. Частина 1. Обчислення (EN 1591-1:2013, IDT). [Діючий з 01.01.2026]. ДП «УкрНДНЦ», 76 с.

22. ДСТУ EN 1092-1:2018 Фланці та їхні з'єднання. Круглі фланці для труб, клапанів, з`єднувальної арматури та допоміжних деталей з позначеним номінальним тиском PN. Частина 1. Сталеві фланці. [Діючий з 01.01.2019]. ДП «УкрНДНЦ», 149 с.

23. ASME (ANSI) B16.5-2025 Pipe Flanges and Flanged Fittings x NPS 1⁄2 Through NPS 24 Metric/Inch Standard. An american national standard. 2025.

24. ДСТУ EN 12560-5:2022 Фланці та їх з’єднання. Прокладки для фланців, позначених класом. Частина 5. Металеві кільцеві прокладки для використання зі сталевими фланцями (EN 12560-5:2001, IDT). [Діючий з 01.01.2023]. ДП «УкрНДНЦ», 27 с.

25. Федорович Я.Т., Джус А.П. Машини і обладнання для видобутку нафти і газу. Практикум. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2019. 145 с.

26. Скиба Ю.С. Фланцеві з’єднання. Методична розробка заняття з дисципліни ОК 17 Обладнання підприємств галузі в закладах фахової передвищої освіти. Лисичанський промислово-технологічний фаховий коледж. 2025. 26 с.

27. Довідник з нафтогазової справи / Заг. ред. В.С.Бойко, Р.М.Кондрат, Р.С.Яремійчук. К.: Львів, 1996.

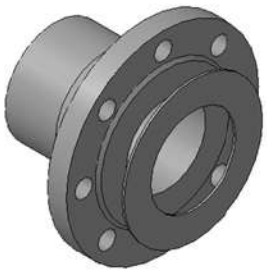
28. Технологія і техніка видобутку, зберігання і транспорту нафти і газу. Акульшин А.І. та ін. Львів 1991. 243 с.

29. ДСТУ Б В.2.6-200:2014 Конструкції металеві будівельні. Вимоги до монтажу. [Діючий з 01.01.2015]. Київ: УкрНДІпроектстальконструкція. 77 с.

30. Антон Захарченко. Фланцеві з’єднання сталевих конструкцій. Особливості реалізації. Український центр сталевого будівництва. Київ, 2014. 15 с.

БР.ГМІ-62.01.03.000 С1

Фланець із з'єднувальним виступом



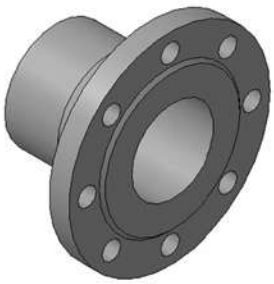
Фланець із пазом



Фланець із "впадиною"



Фланець із з'єднувальним виступом



Фланець із шипом



Фланець з виступом

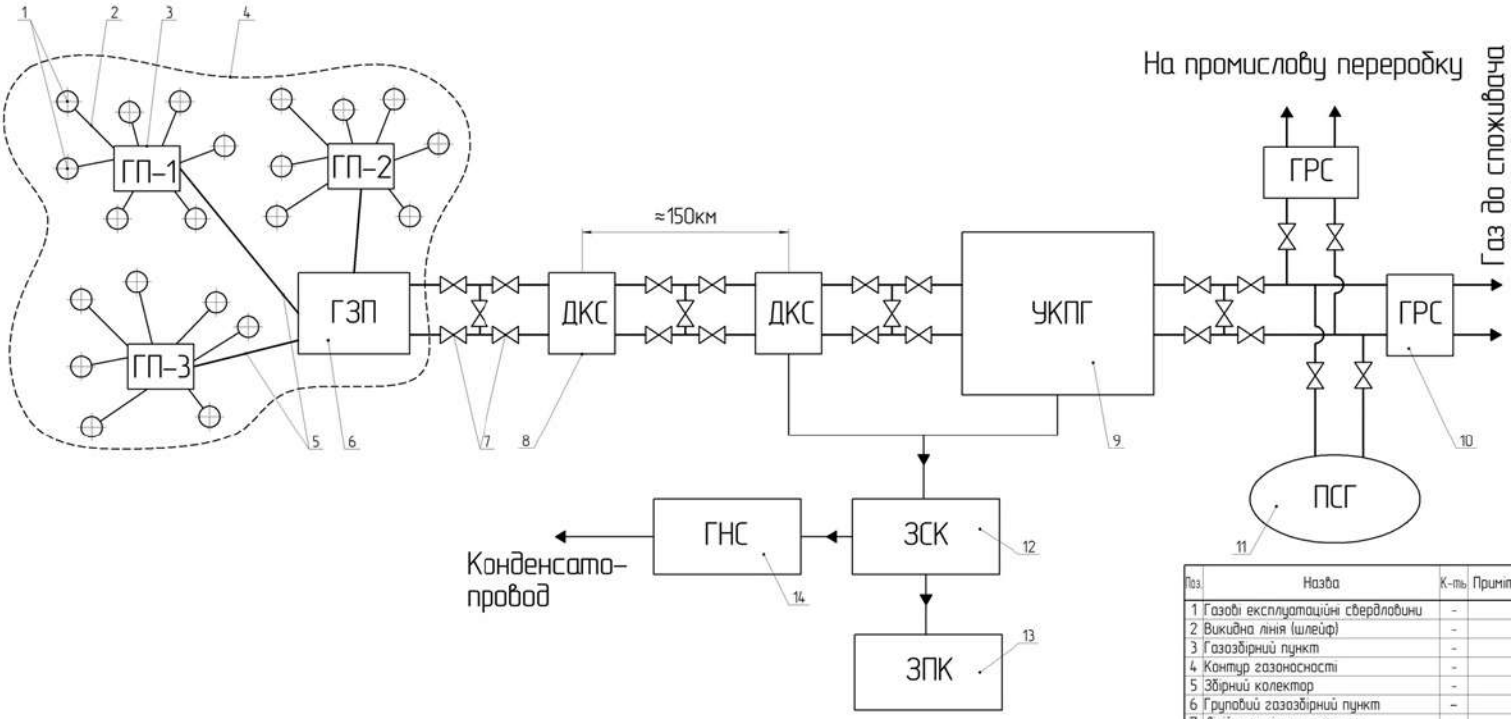


								БР.ГМІ-62.01.03.000 С1	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Кондратюк						3D моделі фланців арматури та трубопроводів	Літ. / Маса / Масштаб
Перевірив		Онуч							Літ. / 1
Т.контр.		Онуч							Аркуш / Аркушів
Н.контр.		Онуч							ІФНТУНГ ГМІ-22-1
Затвердив		Грабець							

Копіював

Формат А1

БР.ГМІ-62.00.00.000 С1



Поз.	Назва	К-ть	Примітка
1	Газові експлуатаційні свердловини	-	
2	Викидна лінія (шлейф)	-	
3	Газозбірний пункт	-	
4	Контур газоносності	-	
5	Збірний колектор	-	
6	Груповий газозбірний пункт	-	
7	Лінійна запірна арматура	-	
8	Дотискна компресорна станція	-	
9	Установка комплексної підготовки газуТ	-	
10	Газорозподільча станція	-	
11	Підземне сховище газу	-	
12	Завод стабілізації конденсату	-	
13	Завод переробки конденсату	-	
14	Головна насосна станція	-	

БР.ГМІ-62.00.00.000 С1

Схема руху газу від свердловини до споживача

Лит. Маса Масштаб
О - -

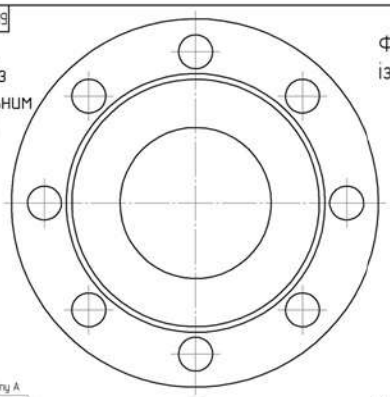
Лист Листів 1

КФНТУНГ
ГМ-22-1

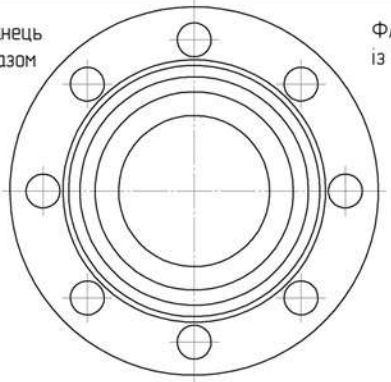
Копіював Формат А7

БР.ГМІ-62.0103.000 С2

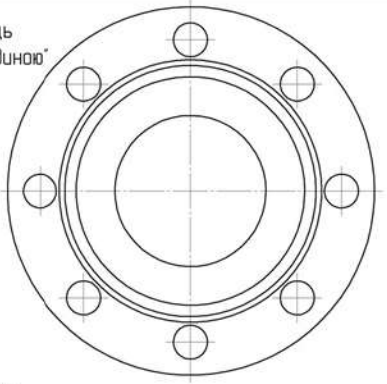
Фланець із з'єднувальним виступом



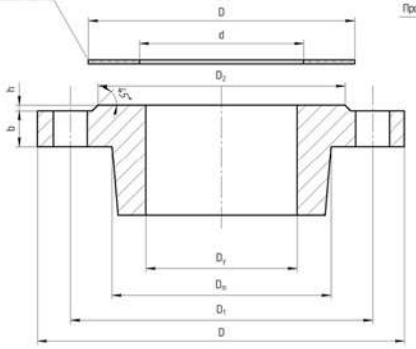
Фланець із пазом



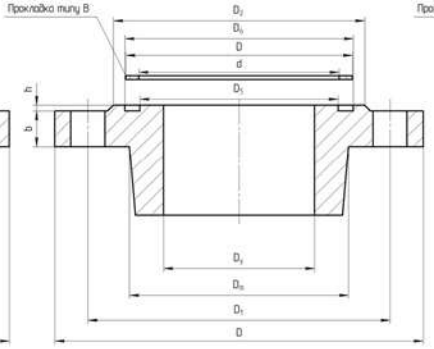
Фланець із "впадиною"



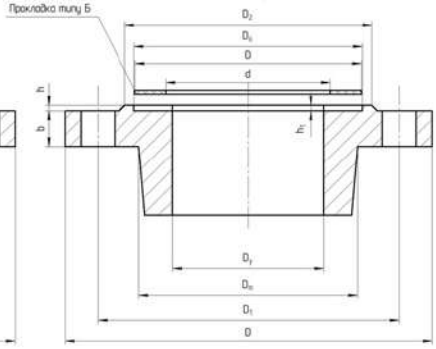
Прокладка типу А



Прокладка типу В



Прокладка типу Б



Основні технічні характеристики фланців та прокладок

Умовний прохід D_y	D	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	d	n	h	h_1	b	D_p	Прокладка типу А			Прокладка типу Б			Прокладка типу В		
														Умовний тиск Ру, МПа	Зовнішній діаметр прокладки D	Внутрішній діаметр прокладки d	Умовний тиск Ру, МПа	Зовнішній діаметр прокладки D	Внутрішній діаметр прокладки d	Умовний тиск Ру, МПа	Зовнішній діаметр прокладки D	Внутрішній діаметр прокладки d
32	135	100	78	51	65	50	66	18	4	2	4	16	62	0,1-0,63	75	38	0,1-0,63	59	38	0,1-0,63	59	49
														1,0-4,0	81		1,0-16,0	65		1,0-16,0	65	51
40	145	110	88	61	75	60	76			3			70	0,1-0,63	85	45	0,1-0,63	69	45	0,1-0,63	69	55
														1,0-4,0	91		1,0-16,0	75		1,0-16,0	75	61
50	160	125	102	73	87	72	88						80	0,1-0,63	95	57	0,1-0,63	80	57	0,1-0,63	80	66
														1,0-4,0	106		1,0-16,0	87		1,0-16,0	87	73
65	180	145	122	95	109	94	110		8			19	106	0,1-0,63	115	75	0,1-0,63	100	75	0,1-0,63	100	86
														1,0-4,0	126		1,0-16,0	109		1,0-16,0	109	95
80	195	160	133	106	120	105	121						116	0,1-0,63	132	87	0,1-0,63	115	87	0,1-0,63	115	101
														1,0-4,0	141		1,0-16,0	120		1,0-16,0	120	106

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив	Кофанюк			
Перевірив	Онуб			
Т.контр.	Онуб			
Н.контр.	Онуб			
Затвердив	Грибюк			

БР.ГМІ-62.0103.000 С2

Круглі фланці для труб та арматури

Літ.	Маса	Масштаб
Д	–	–

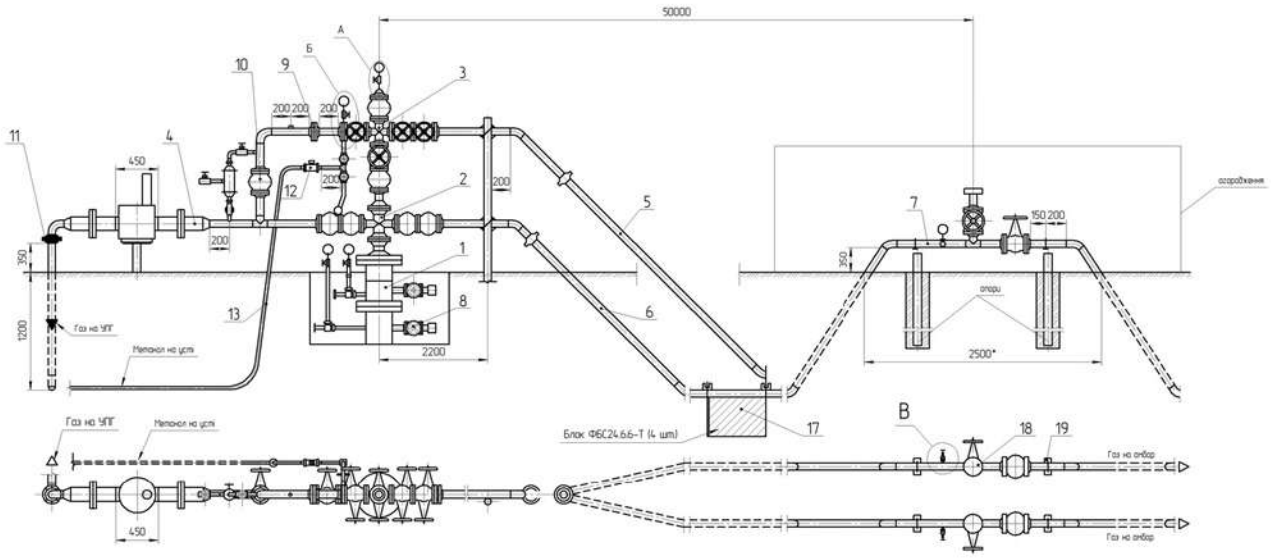
Лист | Листів 7

КФНТУНГ
ГМ-22-1

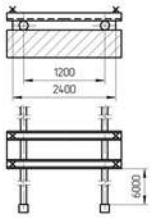
Копіював

Формат А7

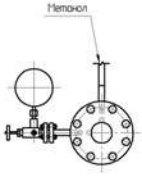
БР.ГМІ-62.0100.000 ВЗ



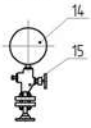
Закріплення кінців факельних відводів в амбар



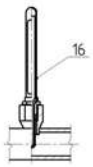
Б (1:15)



А (1:10)



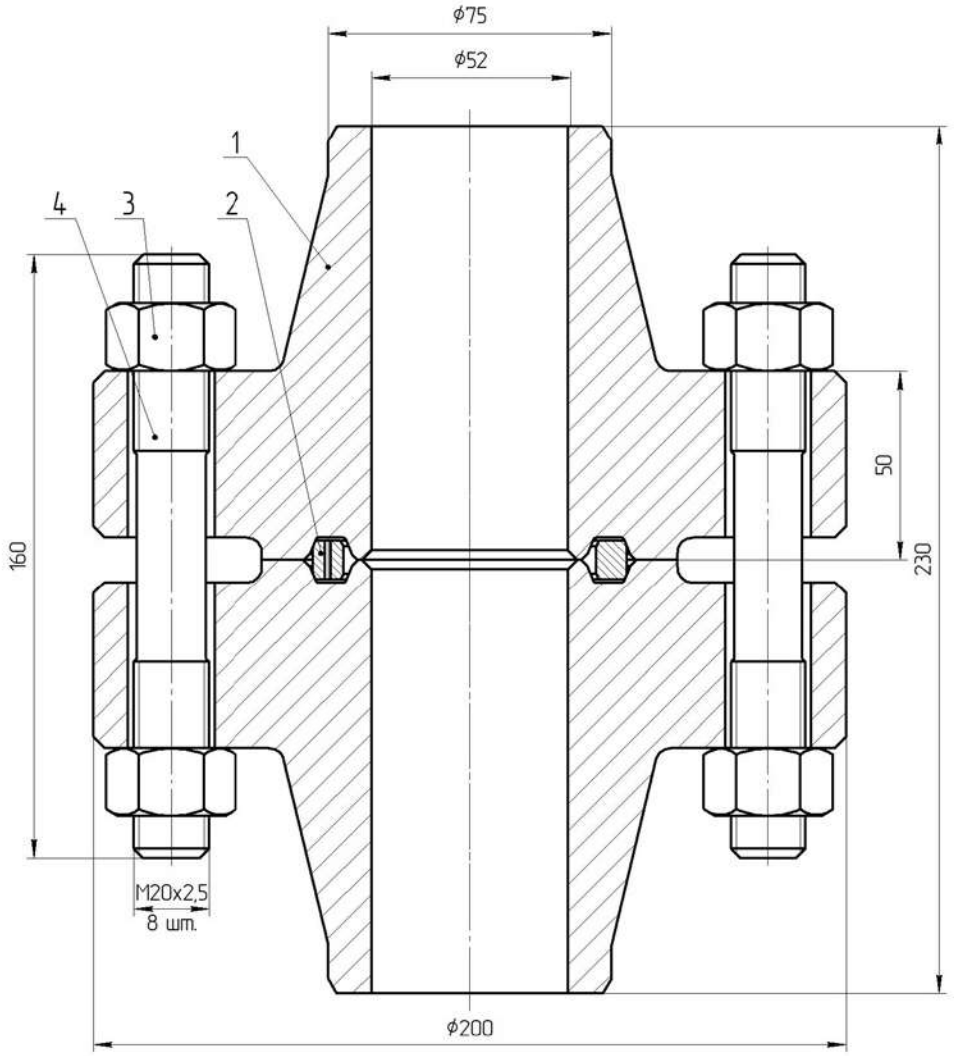
В (1:5)



1 Обв'язка устя свердловини проектується як ділянка категорії В. Клас вибухонебезпеки зон – 2.
2 Монтаж і прийом робіт виконати в відповідності з вимогами СНиП 05.06–85, СНиП III–42–80.
3 Розділення кронок під зварювання проводити згідно ВСН 006–89.
4 На площадці свердловини встановити таблички з написом "Небезпечно! Газ" по ГОСТ 10907–78*.

						БР.ГМІ-62.0100.000 ВЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Обв'язка устя газової свердловини при експлуатації	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив	Кондратюк					Д	–	120
Перевірив	Онуп.					Лист	Листів 1	
Т.контр.	Онуп.						КНТУНГ ГМІ-22-1	
Н.контр.	Онуп.							
Затвердив	Грабець							

Копіював Формат А1



Технічна характеристика

1. Робочий тиск, МПа	70
2. Діаметр умовного проходу, мм	50
3. Робоче середовище	газ, газоконденсат
4. Температура навколишнього середовища, °С	-40...+60

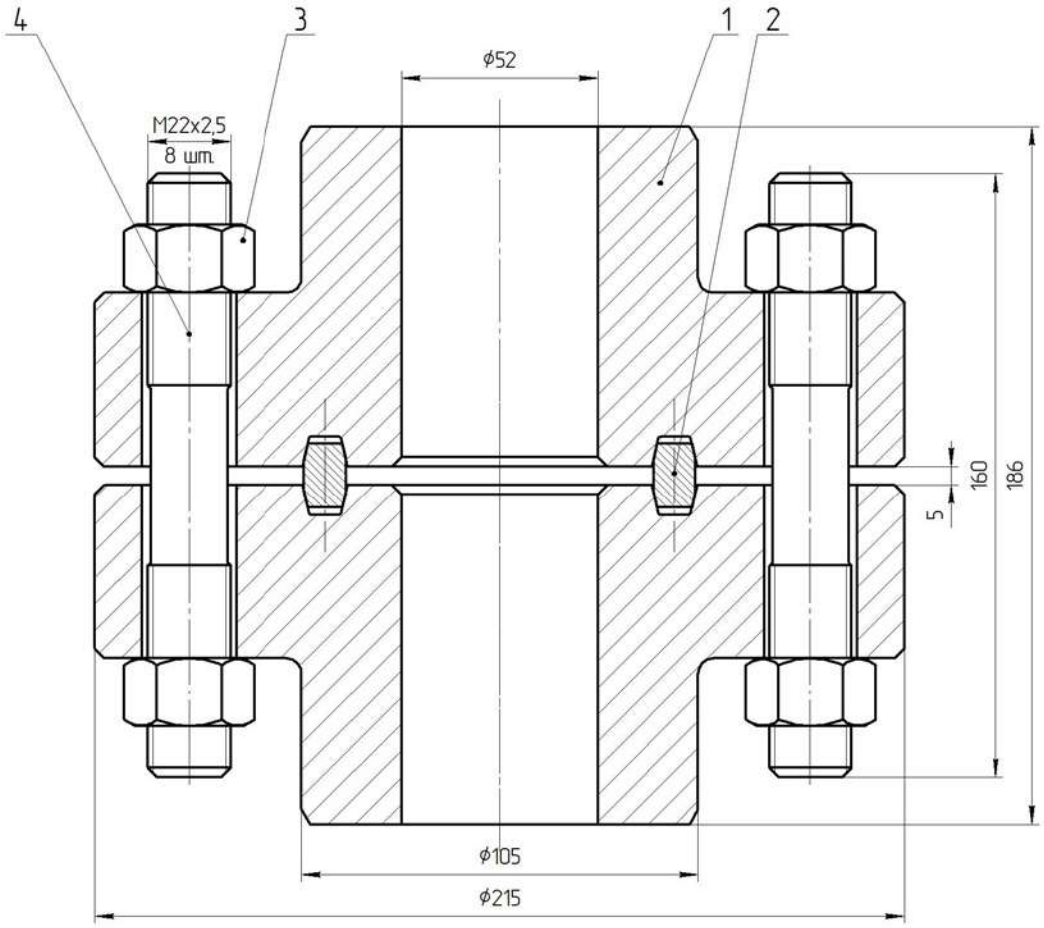
Технічні вимоги

1. Фланці зберігати в сухому приміщенні та в мастилі.
2. Мастило видаляти та знежирювати поверхню безпосередньо перед монтажем.
3. Рекомендується завжди використовувати лише нові прокладки, а під час кожного демонтажу замінювати прокладку на нову.
4. Після виготовлення фланцеве з'єднання випробовується на міцність і герметичність. Пробний тиск рідини при гідравлічних випробовуваннях на міцність становить Рпр=1,5·Рр=105 МПа. При випробуваннях на герметичність Рпр=Рр=70 МПа.

					БР.ГМІ-62.01.02.000 СК		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Фланцеве з'єднання гирлового обладнання типу II 50х70	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Кондратюк				б	–	1:1
Перевірив		Дзюс						
Т.контр.		Дзюс				Лист	Листів 1	
Реценз.		Дейнега						
Н.контр.		Дзюс				ІФНТУНГ ГМІ-22-1		
Затвердив		Грабчук						

Копіював Формат А2

Перед. примен.
Довід. №
Підпис і дата
Інв. № дубл.
Взам. інв. №
Підпис і дата
Інв. №



Технічна характеристика

1. Робочий тиск, МПа	35
2. Діаметр умовного проходу, мм	50
3. Робоче середовище	газ, газоконденсат
4. Температура навколишнього середовища, °С	-40...+60

Технічні вимоги

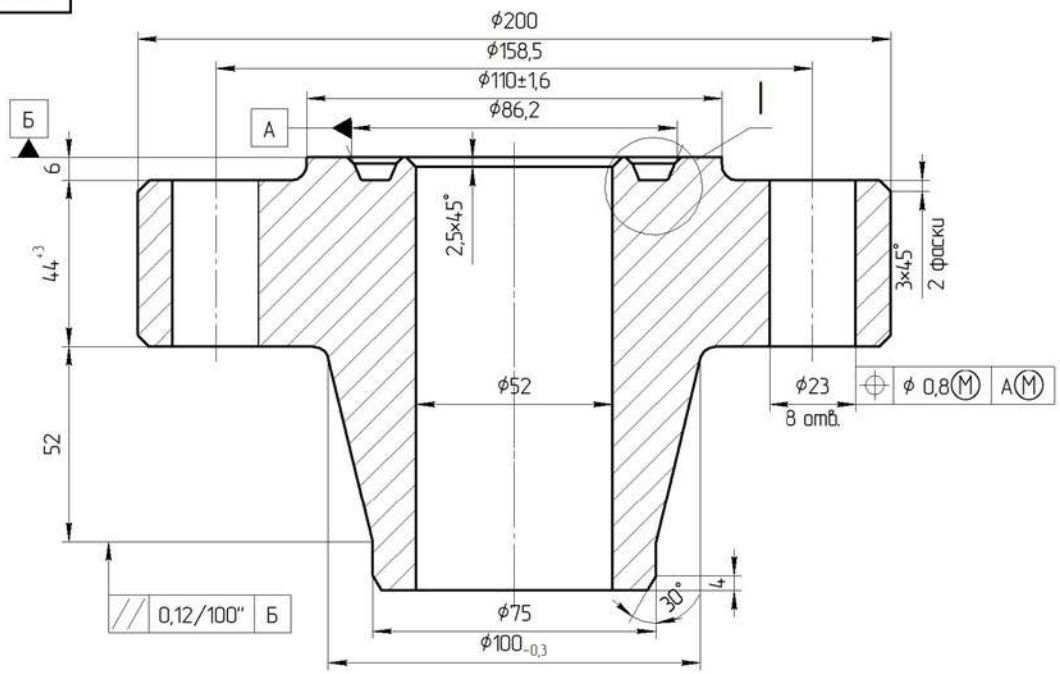
1. Фланці зберігати в сухому приміщенні та в мастилі.
2. Мастило видаляти та знежирювати поверхню безпосередньо перед монтажем.
3. Рекомендується завжди використовувати лише нові прокладки, а під час кожного демонтажу замінювати прокладку на нову.
4. Після виготовлення фланцеве з'єднання випробовується на міцність і герметичність. Пробний тиск рідини при гідравлічних випробовуваннях на міцність становить Рпр=2,0·Рр=70 МПа. При випробуваннях на герметичність Рпр=Рр=35 МПа.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	БР.ГМІ-62.01.01.000 СК			
Розробив		Кондратюк			Фланцеве з'єднання гирлового обладнання типу І 50х35	Літ.	Маса	Масштаб
Перевірив		Джус				б	–	1:1
Т.контр.		Джус				Лист	Листів 1	
Реценз.		Дейнега				ІФНТУНГ ГМІ-22-1		
Н.контр.		Джус						
Затвердив		Грабчук						

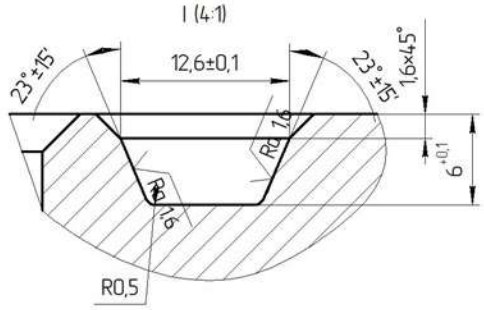
Копіював Формат А2

Перед. примен. | Довід. № | Підпис і дата | Інв. № дубл. | Взам. інв. № | Підпис і дата | Інв. №

БР.ГМІ-62.01.02.001



I (4:1)



1. Гострі кромки притупити.
2. Покриття: Хім. Окс. Прм.
3. Невказані граничні відхилення отворів H14, валів h14, решта ±IT14/2.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Кондратюк		
Перевірив		Джус		
Т.контр.		Джус		
Реценз.		Дейнега		
Н.контр.		Джус		
Затвердив		Гриджук		

БР.ГМІ-62.01.02.001

Фланець 50х70

Літ.	Маса	Масштаб
б	-	1:1

Лист	Листів 1

Сталь 30 ДСТУ 7809:2015

ІФНТУНГ
ГМІ-22-1

Копіював

Формат А3

Перв. примен.

Довід. №

Підпис і дата

Інв. № дубл.

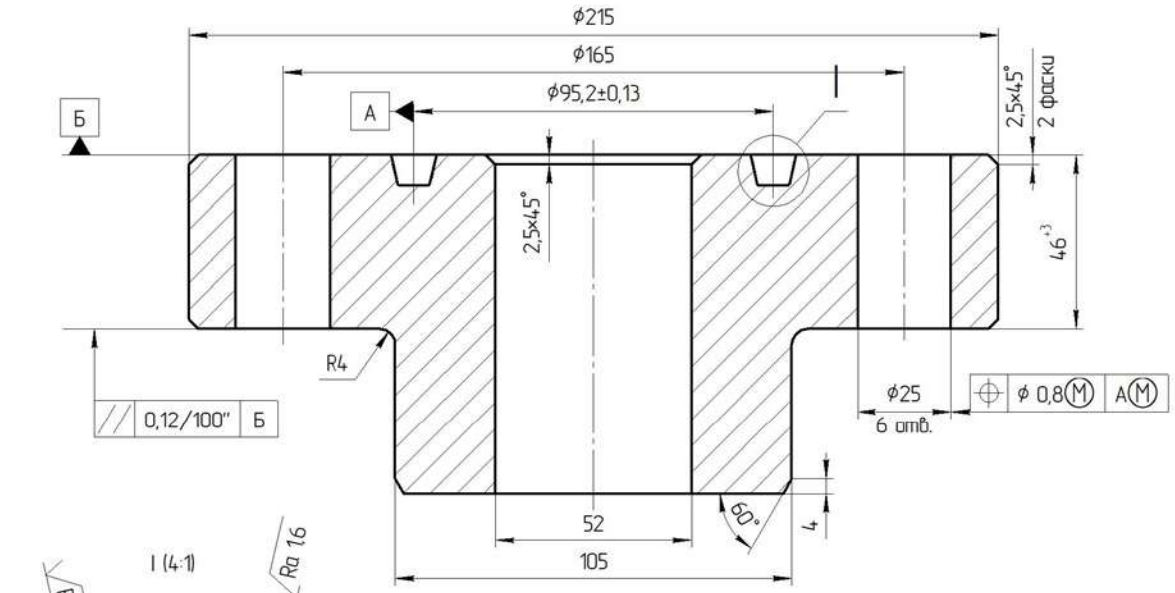
Взам. інв. №

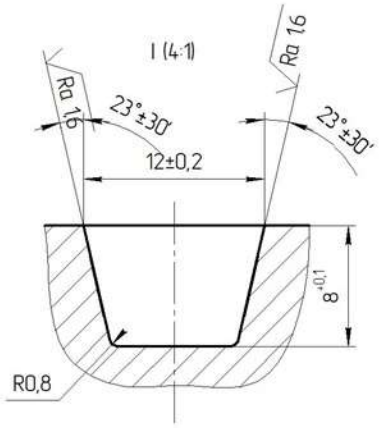
Підпис і дата

Інв. №

БР.ГМІ-62.01.01.001

12,5 (√)





1. Гострі кромки притупити.
2. Покриття: Хім. Окс. Прм.
3. Невказані граничні відхилення отворів H14, валів h14, решта ±IT14/2.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	БР.ГМІ-62.01.01.001			
Розробив		Кондратюк			Фланець 50х35	Літ.	Маса	Масштаб
Перевірив		Джус				б	–	1:1
Т.контр.		Джус				Лист	Листів 1	
Реценз.		Дейнега			Сталь 30 ДСТУ 7809:2015	ІФНТУНГ ГМІ-22-1		
Н.контр.		Джус						
Затвердив		Грудзук						

Копіював Формат А3

Перв. примен.
Довід. №
Підпис і дата
Інв. № дубл.
Взам. інв. №
Підпис і дата
Інв. №

БР.ГМІ-62.01.01.002

√6,3 (√)

1. Твердість НВ, не більше 160.
2. Корозійне виконання – К1.
3. Невказані граничні відхилення отворів Н14, валів h14, решта ±IT14/2.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Кондратюк		
Перевірив		Джус		
Т.контр.		Джус		
Реценз.		Дейнега		
Н.контр.		Джус		
Затвердив		Гриджук		

БР.ГМІ-62.01.01.002

Прокладка П24

Літ.	Маса	Масштаб
б	-	1:1

Лист | Листів 1

Сталь 12Х18Н9Т ДСТУ 7809:2015

ІФНТУНГ
ГМІ-22-1

Копіював

Формат А4

Перед. примен.

Довід. №

Підпис і дата

Інв. № дубл.

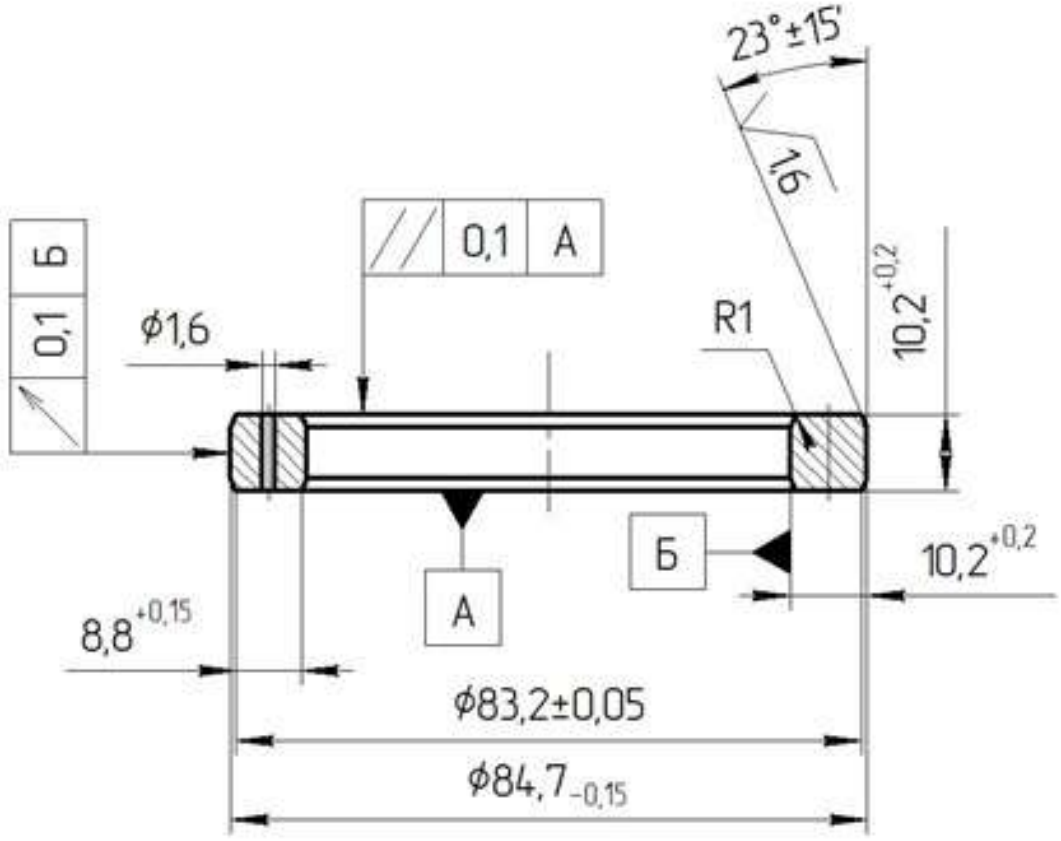
Взам. інв. №

Підпис і дата

Інв. №

БР.ГМІ-62.01.02.002

6,3 (√)



1. Твердість НВ, не більше 160.
2. Корозійне виконання – К1.
3. Невказані граничні відхилення отворів Н14, валів h14, решта ±IT14/2.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Кондратюк		
Перевірив		Джус		
Т.контр.		Джус		
Реценз.		Дейнега		
Н.контр.		Джус		
Затвердив		Гриджук		

БР.ГМІ-62.01.02.002

Прокладка БХ152

Літ.	Маса	Масштаб
б	0,19	1:1
Лист	Листів 1	

Сталь 12Х18Н9Т ДСТУ 7809:2015

ІФНТУНГ
ГМІ-22-1

Копіював

Формат А4

Перед. примен.

Довід. №

Підпис і дата

Інв. № дубл.

Взам. інв. №

Підпис і дата

Інв. №

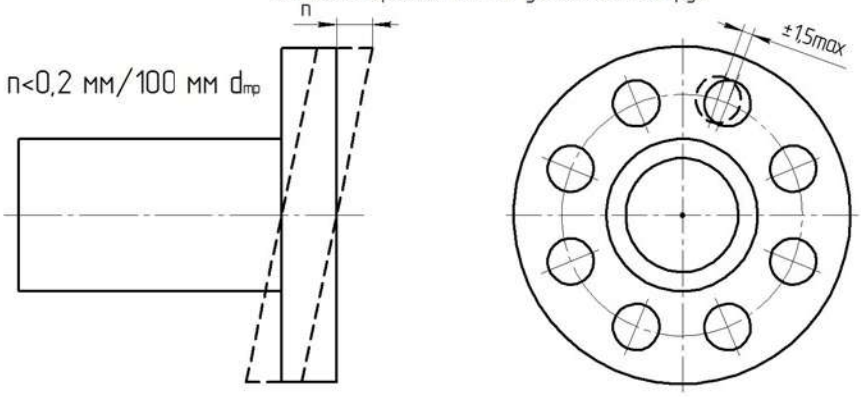
БР.ГМІ-62.01.01.000 С4

Перед. примен.

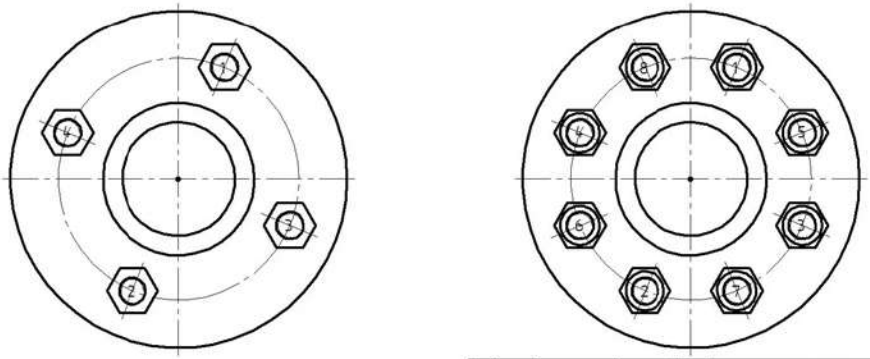
Довід. №

Інв. № | Підпис і дата | Взам. інв. № | Інв. № дубл. | Підпис і дата

Положення фланця під час установки на трубі



Послідовність виконання затягнення болтів



Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Кондратюк		
Перевірив		Дяус		
Т.контр.		Дяус		
Реценз.		Дейнега		
Н.контр.		Дяус		
Затвердив		Гридяцик		

Монтаж фланцевих з'єднань

БР.ГМІ-62.01.01.000 С4

Літ.	Маса	Масштаб
б	–	–

Лист	Листів 1

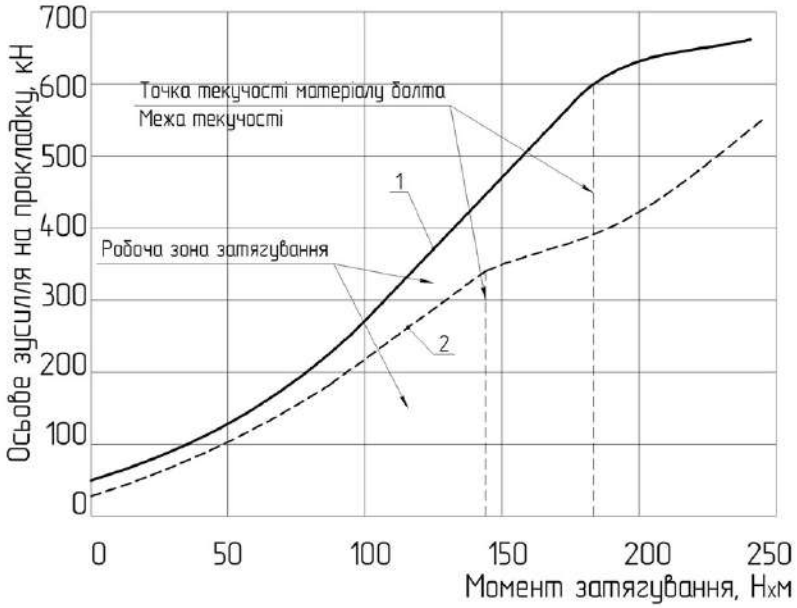
ІФНТУНГ
ГМІ-22-1

Копіював

Формат А3

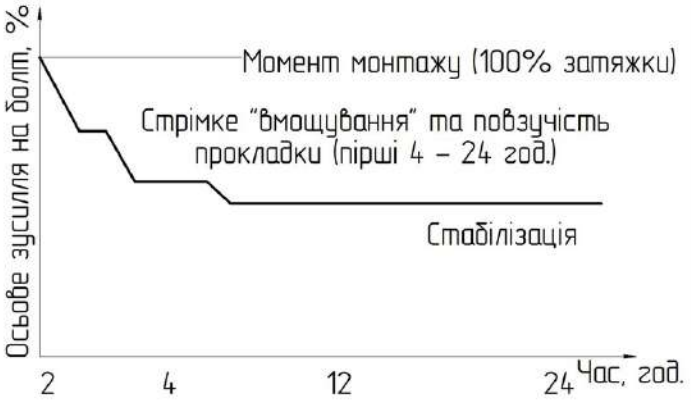
БР.ГМІ-62.01.01.000 Гр

Графічна залежність між моментом затягування і осьовим зусиллям на прокладку



1 – змащене різьбове з'єднання; 2 –О сухе різьбове з'єднання

Графік релаксації напружень у прокладці фланця

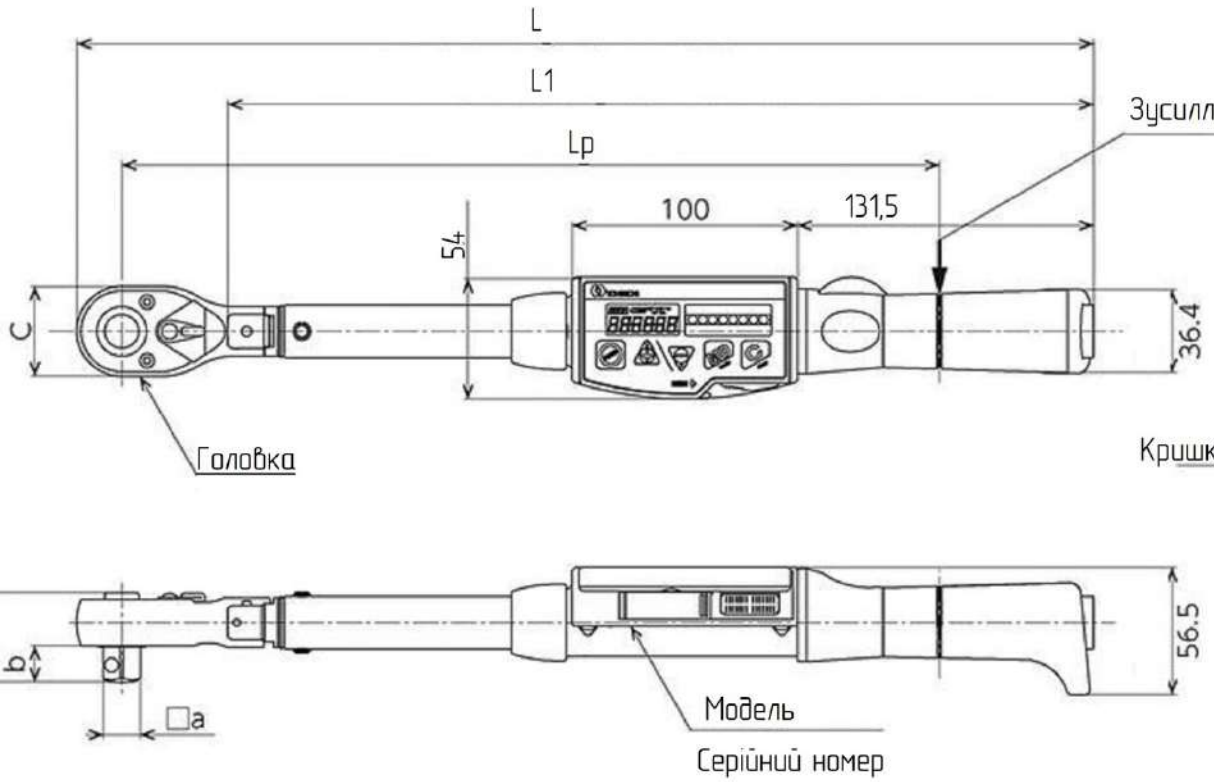


Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.ГМІ-62.01.01.000 Гр		
Розробив	Хоменюк				Графічні залежності	Літ.	Маса	Масштаб
Перевірив	Жуц					О	–	–
Т.контр.	Жуц					Лист	Листів 1	
Реценз.	Деінега					ІФНТУНГ ГМІ-22-1		
Н.контр.	Жуц							
Затвердив	Рудяк							

Копіював

Формат А2

БР.ГМІ-62.02.00.000 ВЗ



Технічна характеристика

1. Максимальний момент, Нм 425
2. Робоча рідина масло індустрійне 12

Технічні вимоги

1. Не перевищувати максимального моменту.
2. *Розміри для довідок.
3. Покриття зовнішніх поверхонь – емаль НЦ 132п.

Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.ГМІ-62.02.00.000 ВЗ			
Розробив		Кондратюк			Ключ динамометричний	Літ.	Маса	Масштаб
Перевірив		Вакус				О1		
Т.контр.		Вакус				Аркуш	Аркушів 1	
Рецензія		Дейнега				ІФНТУНГ ГМІ-22-1		
Н.контр.		Вакус						
Затвердив		Рудницк.						

Копіював Формат А2*