

УДК 66.023-024.22(048.83)

МКУЛЬОНОК І. О.*, **КАРВАЦЬКИЙ А. Я.**, **ІВАНЕНКО О. І.**, **ЛЕЛЕКА С. В.**
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ФЛАНЦЕВІ З'ЄДНАННЯ ОБЛАДНАННЯ І ТРУБОПРОВОДІВ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Предмет дослідження – найбільш поширений вид роз'ємних з'єднань у хімічному, нафтохімічному, нафтопереробному, харчовому та енергетичному машино- та апаратобудуванні, а саме фланцеві з'єднання технологічного й допоміжного обладнання, а також трубопроводів.

Дослідження стану питання й тенденцій розвитку конструктивно-технологічного оформлення фланцевих з'єднань ґрунтуються на критичному аналізі науково-технічних джерел інформації й передусім – патентної інформації провідних країн світу, оскільки саме в патентній документації наводяться відомості про інноваційні розробки у відповідній галузі техніки й технології.

За допомогою методів аналізу й синтезу систематизовано фланцеві з'єднання, які впливають на ефективність експлуатації обладнання та трубопроводів хімічної і споріднених галузей технології. Для кожного виду пристроїв розроблено ґрунтовну класифікацію, на основі якої докладно розглянуто найбільш цікаві конструкції, запропонованих науковцями, конструкторами й винахідниками провідних країн світу. Надано критичну оцінку більшості наведених конструкцій, обговорено їхні переваги й недоліки. Перевагу надано джерелам інформації кінця другого та початку третього тисячоліття.

Конструкції фланцевих з'єднань проаналізовано 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. Показано, що, 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.

Ключові слова: хімічна технологія, обладнання, трубопроводи, фланцеві з'єднання, класифікація, конструкція.

DOI: 10.20535/2617-9741.2.2023.283516

*Corresponding author: i.mikulionok@kpi.ua

Received 03 July 2022; Accepted 22 September 2022

Постановка проблеми. 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 [1–4].

Класичними в обладнанні хімічних виробництв є сталеві фланці: приварні (плоскі приварні та приварні встик), а також вільні на приварному кільці [1, 5]. Проте, незважаючи на те, що вимоги до цих фланців стандартизовані на міждержавному рівні, конструкції фланців і фланцевих з'єднань постійно вдосконалюються, що потребує ретельного аналізу новітніх розробок для можливості їх застосування в промисловості.

Зазначене питання вже було порушене авторами [6], проте далі наведено більш ґрунтовний аналіз розроблених конструкцій фланцевих з'єднань обладнання і трубопроводів.

Метою статті є розроблення розгорнутої класифікації фланцевих з'єднань, використовуваних у конструкціях технологічного й допоміжного обладнання, а також трубопроводах хімічної, харчової, газохімічної, нафтопереробної, енергетичної та інших галузей промисловості.

Аналіз попередніх досліджень

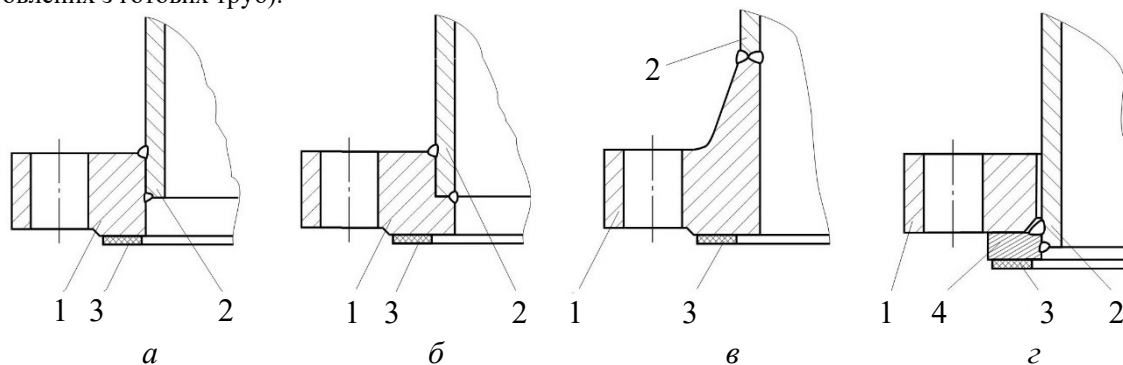
Як уже було зазначено, найбільш поширеними в обладнанні й трубопроводах хімічних виробництв є плоскі приварні та приварні встик фланці а також вільні на приварному кільці (рис. 1).

Переваги плоских приварних фланців – простота конструкції та виготовлення, недоліки – невисока

жорсткість та утворення напливів металу поблизу отворів під болти або шпильки після зварювання. Зазначені недоліки повністю відсутні в приварних устик фланцях, проте вони мають велику вартість і металоємність.

Переваги вільних фланців на приварному кільці – вільна орієнтація навколо його осі та найкращі умови експлуатації за високої температури, недолік – більша, ніж у приварних фланців, товщина.

Сталеві плоскі приварні фланці та приварні встик фланці для посудин та апаратів виготовляються в різних виконаннях (з гладкою ущільнювальною поверхнею, пазом, шипом, западиною, виступом і т. д.; при цьому фланці, зображені на рис. 1, а, використовуються переважно для з'єднання елементів обладнання, виготовлених з готових труб).



а, б – плоскі приварні; в – приварні встик; з – вільні на приварному кільці; 1 – фланець; 2 – обичайка (патрубок); 3 – прокладка; 4 – приварне кільце

Рис. 1 – Основні типи фланців, використовуваних у сталевих посудинах та апаратах

Необхідна герметичність фланцевого з'єднання зазвичай забезпечується прокладками (неметалевими, металевими й комбінованими).

Як кріпильні вироби у фланцевих з'єднаннях використовуються болти, шпильки, гайки й шайби. Для фланців з різьбовими отворами й розташованими в них шпильками за наявності різниці між коефіцієнтами лінійного розширення матеріалів фланців і шпильок напруження, що виникають від температурної деформації фланцевого з'єднання, будуть меншими, ніж відповідні напруження фланцевого з'єднання з болтами.

У техніці сталевих емальованих апаратів, у фланцях якої технологічно важко отримати емальове покриття стінок отворів під кріплення, зазвичай використовують фланцеві з'єднання на затискачах (а. с. № SU345318A1, SU602738A1 і SU1221454A2; [2, 4]; рис. 2).

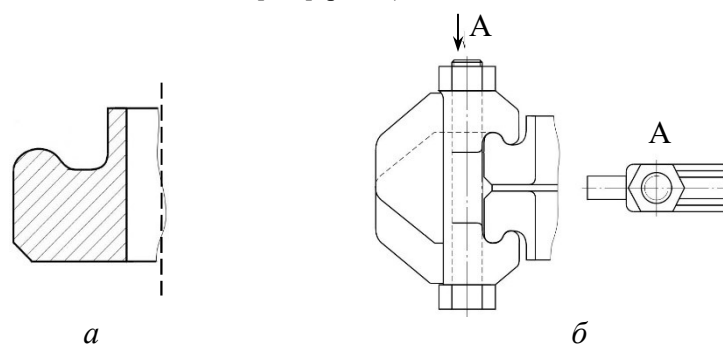


Рис. 2 – Конструкції сталевих приварних фланців (а) під затискачі (б) для сталевих емальованих посудин та апаратів

Однак далі будуть розглянуто конструкції фланців у класичному тлумаченні цього терміну: «Фланець – з'єднувальна частина труб, валів і т. ін., що має форму плескатого кільця або диска з рівномірно розташованими отворами для болтів» [7].

Таким чином, у цьому огляді представлені фланці, що з'єднуються елементами, які мають осьовий натяг, і не розглядаються фланці, що з'єднуються щонайменше одним елементом, що має радіально-осьовий натяг. Тобто далі не розглянуто конструкції фланцевих з'єднань на затискачах, що стягуються хомутами суцільних

фланців (без отворів під кріплення), сполучних муфт та інших подібних засобів (наприклад, пат. № UA104301U, UA132031U).

Аналіз існуючих конструкцій фланцевих з'єднань обладнання і трубопроводів дає змогу запропонувати їхню класифікацію (рис. 3):

- ступінь складання;
- ступінь рухливості одного або обох фланців;
- можливість зняття фланців без демонтажу всього з'єднання;
- механізм стискання ущільнювальної прокладки;
- номінальний діаметр з'єднуваних елементів;
- наявність додаткових функцій;
- матеріал фланців.



Рис. 3 – Класифікація фланцевих з'єднань обладнання і трубопроводів хімічної технології

За ступенем складання розрізняють фланці, виконані у вигляді деталі та складальної одиниці.

Виконаний у вигляді деталі фланець зниженої матеріалоемності описано в заявці № EP2058573A1 (рис. 4). Недолік цього фланця – можливість виготовлення його переважно литтям, що негативно впливає на міцність фланцевого з'єднання.

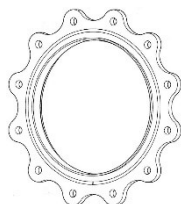


Рис. 4 – Фланець зниженої матеріалоемності (заявка № EP2058573A1)

Також виготовлюваний здебільшого литтям фланець з радіальними ребрами жорсткості, виконаними на зовнішній поверхні його диска, наведено в пат. RU2249749C2.

Фланець підвищеної жорсткості з радіальними й кільцевими гофрами запропоновано в а. с. № SU428150A1 (рис. 5). Однак, на відміну від попередніх конструкцій фланців з ребрами жорсткості, цей фланець виготовляється штампуванням з листової заготовки, що істотно підвищує його технологічність та експлуатаційні характеристики, зокрема міцність.

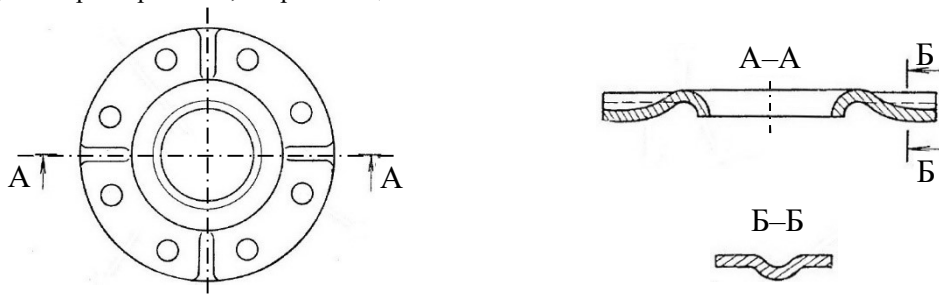


Рис. 5 – Фланець виготовлюваний штампуванням з листа (а. с. № SU428150A1)

Конструкцію фланця, що вирізняється низькою матеріалоемністю, описано в а. с. № SU1346891A1 (рис. 6). Його призначено для обладнання, що працює під внутрішнім тиском до 2,5 МПа, і виконано з гофрованої стрічки, при цьому стрижні болтів або шпильок фланцевого з'єднання розташовуються у западинах гофрів.

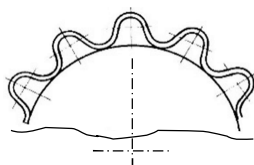


Рис. 6 – Фланець згідно з а. с. № SU1346891A1

Ще одну конструкцію фланцевого з'єднання, що характеризується низькою матеріалоемністю, наведено в а. с. № SU1390469A1 і пат. № UA69507C2 (рис. 7). Фланець зазначеного з'єднання в поперечному перерізі виконано S-подібної форми, що вирізняється високою жорсткістю в його осьовому напрямку. Аналогічну конструкцію розглянуто також у пат. № CH521539A.

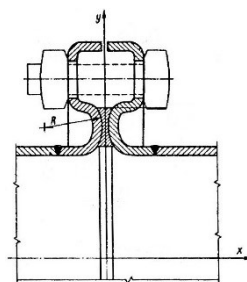
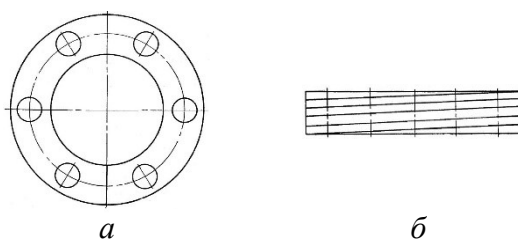


Рис. 7 – Фланцеве з'єднання згідно з а. с. № SU1390469A1 і пат. № UA69507C2

В а. с. № SU1733820A1 і пат. № UA24040C2 запропоновано високоміцний фланець, виготовлений із заготовки у вигляді навитої по спіралі смуги, сусідні витки якої контактують один з одним (рис. 8). Для одержання із зазначеної багатощарової заготовки фланця її піддають механічному обробленню.



**Рис. 8 – Фланець (а) і поперечний переріз його заготовки (б)
згідно з а. с. № SU1733820A1 і пат. № UA24040C2**

В а. с. № SU517744A1 описано з'єднання з фланцями, що центруються самі. Недоліки цього з'єднання – низька технологічність, відсутність взаємозамінності фланців і висока металоємність (рис. 9).

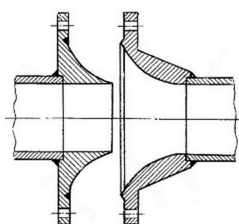


Рис. 9 – Фланцеве з'єднання згідно з а. с. № SU517744A1

У пат. № SU375864A3 і СН512692А описано виконаний у вигляді деталі вільний фланець на приварному кільці, який встановлюється за місцем з боку приварного кільця, що значно полегшує складання та розбирання фланцевого з'єднання в цілому. На внутрішній поверхні фланці виконано опорне кільце з діаметрально розташованими вирізами, що полегшує його монтаж і демонтаж (рис. 10).



Рис. 10 – Вільний фланець на приварному кільці (пат. № SU375864A3 і СН512692А)

В а. с. № SU397709A1 описано фланцеве з'єднання з вільними фланцями на приварних кільцях, в якому ущільнювальні поверхні фланців виконано у вигляді зрізаних конусів, між якими встановлено V-подібне ущільнювальне кільце (рис. 11). Недолік цього з'єднання – значна матеріалоемність і можливість утворення застійної зони рідини в нижній частині V-подібного ущільнювального кільця в разі горизонтального розташування з'єднуваних патрубків.

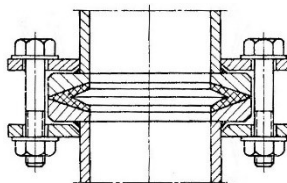


Рис. 11 – Фланцеве з'єднання з вільними фланцями на приварних кільцях (а. с. № SU397709A1)

Конструкцію фланцевого з'єднання з вільними фланцями на приварних кільцях і встановленим між ними V-подібним ущільнювальним кільцем описано в а. с. № SU1610185A1 (рис. 12).

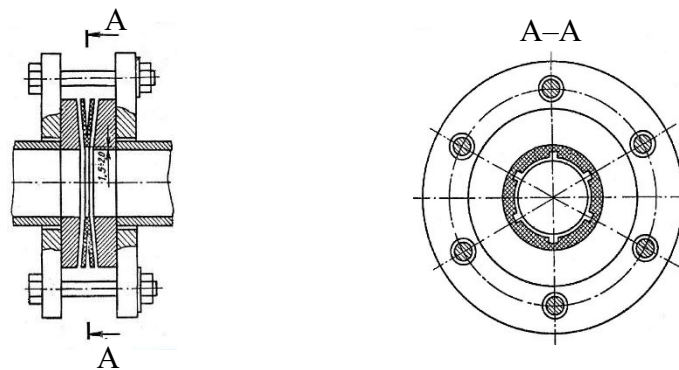


Рис. 12 – Фланцеве з'єднання з вільними фланцями на приварних кільцях (а. с. № SU1610185A1)

Зазначене кільце спрямоване вершиною до поздовжньої осі з'єднання, при цьому на внутрішній поверхні кільця (в його вершині) виконані пази, що полегшують деформування кільця під час затягування елементів кріплення фланцевого з'єднання. На відміну від попередньої конструкції, це з'єднання виключає утворення застійних зон текучого середовища за умови його довільної орієнтації в просторі.

В а. с. № SU383947A1 розглянуто конструкцію фланця для забезпечення ущільнення з'єднання, що працює під вакуумом. У зазначеному фланці з боку іншого фланця з'єднання виконано пружне конусне кільце з різальною крайкою, що зрізує поверхневий шар ущільнювальної прокладки під час тарованого затягування та утворює перед нею кільцевий ущільнювальний валик (рис. 13).

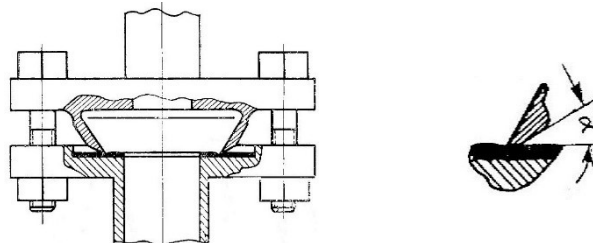


Рис. 13 – Фланець з'єднання, що працює під вакуумом (а. с. № SU383947A1)

В а. с. № SU456956A1 описано з'єднання, в кільцевих западинах фланців якого розташовано ущільнювальну прокладку, при цьому на внутрішній стороні фланців за кожною із западин виконано кільцеві проточки. Завдяки пружності ділянок фланців між їхніми кільцевими западинами та кільцевими проточками забезпечується надійне ущільнення з'єднання в широкому діапазоні температур (рис. 14).

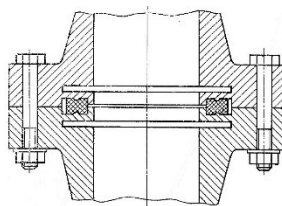


Рис. 14 – Фланцеве з'єднання згідно з а. с. № SU456956A1

В а. с. № SU542062A1 описано фланцеве з'єднання з кільцевим ущільнювальним елементом, що має жорстку та пружну частини, при цьому жорстку частину виконано з наскрізними радіальними отворами (рис. 15). Робоче середовище крізь наскрізні радіальні отвори надходить до пружної частини кільцевого ущільнювального елемента, забезпечуючи необхідну герметичність з'єднання. Недолік зазначеного з'єднання – надзвичайна складність виготовлення кільцевого ущільнювального елемента та його низька ремонтпридатність. При цьому в а. с. № SU892102A2 і SU985540A2 запропоновано ще складніші конструкції аналогічного принципу дії.

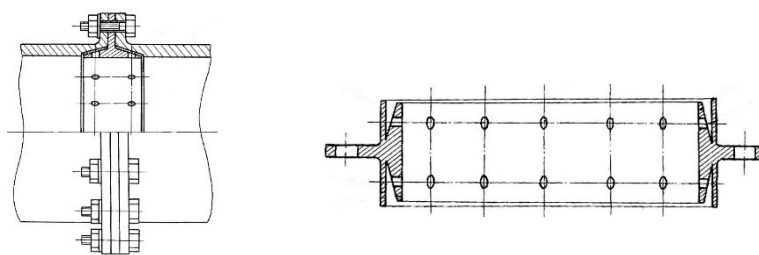


Рис. 15 – Фланцеве з'єднання та його ущільнювальний елемент згідно з а. с. № SU542062A1

В а. с. № SU672429A1 запропоновано фланцеве з'єднання елементів обладнання, що мають спрямовані один до одного кільцеві виступи, між якими встановлено обтюратор (рис. 16). При затягуванні болтів фланцевого з'єднання фланці стискають обтюратор не тільки в осьовому, а й у радіальному напрямку, що підвищує герметичність з'єднання. Недолік цього з'єднання – високі вимоги до точності виготовлення його елементів.

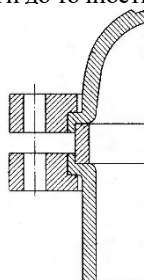


Рис. 16 – Фланцеве з'єднання згідно з а. с. № SU672429A1

В а. с. № SU934145A1 описано з'єднання фланців з гладкими ущільнювальними поверхнями, у западинах однієї з яких встановлено кульки, що входять в кільцевий паз другого фланця (рис. 17). Зазначена конструкція полегшує центрування фланців з'єднання під час їх монтажу, проте вона надто складна у виготовленні, а кільцевий паз одного з фланців істотно знижує його міцність.

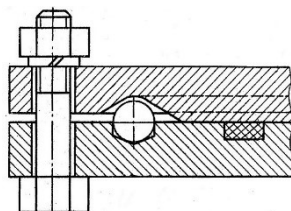


Рис. 17 – Фланцеве з'єднання згідно з а. с. № SU934145A1

В а. с. № SU1668805A1 розглянуто конструкцію фланця з додатковим байонетним кріпленням з боку ущільнювальної поверхні (рис. 18). Зазначене з'єднання характеризується підвищеною герметичністю, проте воно вирізняється низькою технологічністю та складністю в монтажі й демонтажі.



Рис. 18 – Фланцеве з'єднання згідно з а. с. № SU1668805A1

Конструкцію фланцевого з'єднання вільних на втулках приварних фланців описано в заявках № WO01/29469A2 та US2002/074800A1 (рис. 19). Недолік цієї конструкції – висока матеріалоемність.

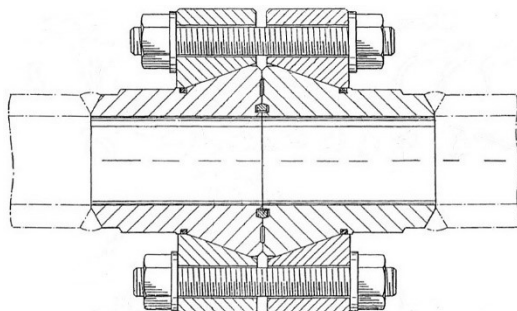


Рис. 19 – Фланцеве з'єднання вільних на приварних втулках фланців згідно із заявками № WO01/29469A2 та US2002/074800A1

Ще одну конструкцію фланцевого з'єднання вільних на втулках приварних фланців описано в пат. № UA22293U (рис. 20). У цьому з'єднанні між торцями труб встановлено втулку з кільцевими канавками на її торцях і розташованими в них ущільнювальними прокладками. Така конструкція полегшує монтаж і демонтаж фланцевого з'єднання, проте вона має низьку жорсткість і високу матеріалоемність.

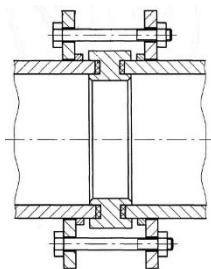


Рис. 20 – Фланцеве з'єднання вільних на приварних втулках фланців згідно з пат. № UA22293U

Конструкцію фланцевого з'єднання, що забезпечує компенсацію температурного розширення елементів, описано в пат. № UA10013U. У зазначеному з'єднанні між розташованими під гайками шайбами й віддаленим від них фланцем зовні стрижнів болтів розташовано втулки, які виготовлені з матеріалу з температурним коефіцієнтом лінійного розширення, що відрізняється від температурних коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів фланців, болтів та ущільнювальної прокладки.

З'єднання з компенсацією температурного розширення його елементів описано й в пат. № RU170560U1 і RU170619U1. Однак міцнісні властивості одного з фланців цих з'єднань, що значно послаблюється кільцевою проточкою з розташованими в ній півкільцями (або кільцем), знижуються.

У пат. № UA10077U описано фланцеве з'єднання з розміщеними під гайками й головками болтів шайбами із зовнішньою різьбою на їхній бічній поверхні. На зазначених шайбах встановлено ковпачкові гайки, що охоплюють гайки та головки болтів і заповнені мастильним матеріалом. Така конструкція полегшує демонтаж фланцевого з'єднання, оскільки його елементи кріплення постійно перебувають в умовах, що перешкоджають їх корозії.

В а. с. № SU422913A1 описано фланцеве з'єднання з двома парами фланців: зовнішніх нерухомих і внутрішніх рухомих вздовж поздовжньої осі з'єднання. При цьому кожен нерухомий і рухомий фланці стягваних елементів з'єднані між собою регульованими різьбовими тягами (рис. 21). Це з'єднання вирізняється високою ущільнювальною здатністю, але й одночасно надзвичайно високою матеріалоемністю.

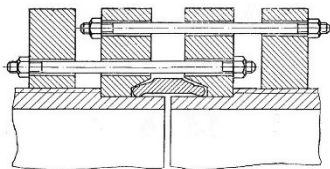


Рис. 21 – Фланцеве з'єднання згідно з а. с. № SU422913A1

В а. с. № SU487272A1 запропоновано фланцеве з'єднання для роботи в умовах підвищеної вібрації. Для зниження дії вібрації на елементи з'єднання по периферії торцевих поверхонь фланців виконано радіальні виступи, між якими розміщено кільцеву прокладку з пружного матеріалу, при цьому радіальні виступи одного з фланців розміщено між радіальними виступами іншого (рис. 22). Недоліки цієї конструкції – складність виготовлення та відсутність взаємозамінності фланців.

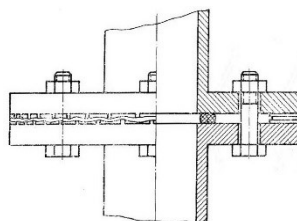


Рис. 22 – Фланцеве з'єднання згідно з а. с. № SU487272A1

Ще одне фланцеве з'єднання, призначене для роботи в умовах підвищеної вібрації, запропоновано в а. с. № SU583348A1. Зазначене з'єднання досить складне у виготовленні та характеризується підвищеною матеріалоемністю.

Виконаний з мідного або мідно-нікелевого сплаву фланець з концентричними канавками трикутного поперечного перерізу, виконаними по всій сполучній з відповідним фланцем з'єднання поверхні, запропоновано в пат. № RU51160U1 (рис. 23). Відмінність зазначеного фланця від відомого [2] полягає в тому, що в останньому концентричні канавки трикутного поперечного перерізу виконуються лише в місці розташування ущільнювальної прокладки.

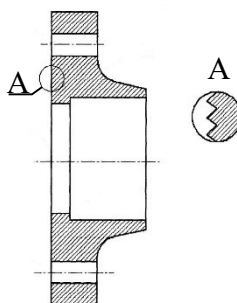


Рис. 23 – Фланець згідно з пат. № RU51160U1

Запропоноване в пат. № RU2280806C1 трубне фланцеве з'єднання містить проміжну ланку, виконану у вигляді відрізка труби з діаметром більшим за діаметр з'єднуваних трубчастих елементів (рис. 24). Недоліки цього з'єднання – підвищена матеріалоемність та утворення застійних зон текучого середовища у проміжній ланці. Аналогічне, але конструктивно складніше, технічне рішення наведено в заявці № KR100786569B1.

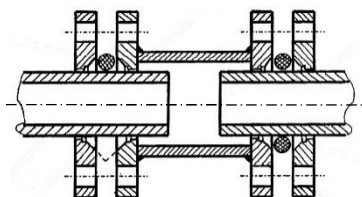


Рис. 24 – Фланцеве трубне з'єднання згідно з пат. № RU2280806C1

Подібне трубне фланцеве з'єднання описано в пат. № RU2348853C1. Воно також містить проміжну ланку, але вже виконану у вигляді відрізка труби, що щільно охоплює з'єднувані трубчасті елементи та має в середній частині внутрішній кільцевий виступ (рис. 25). У цьому разі застійна зона текучого середовища в проміжній ланці не утворюється. Однак за рахунок капілярних сил зазначене середовище крізь зазор між

проміжною ланкою й з'єднуваними трубчастими елементами проходить до самих фланців. У результаті зовнішня поверхня зазначених трубчастих елементів і внутрішня поверхня проміжної ланки можуть піддаватися важко контрольованій корозії.

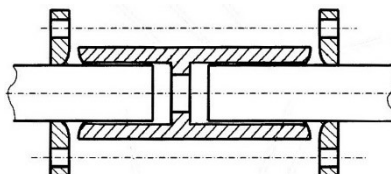


Рис. 25 – Фланцеве трубне з'єднання згідно з пат. № RU2348853C1

У пат. № RU83117U1 і RU2393372C1 описано високоміцне фланцеве з'єднання зі збільшеною кількістю шпильок однакової довжини. На кожній шпильці між фланцем і відповідною гайкою розташовано шайби різної висоти, при цьому висота розташованих через одну шайб перевищує висоту гайки. У цьому разі шайби на сусідніх шпильках з боку відповідного фланця виконано різної висоти (рис. 26). Таке технічне рішення дає змогу зменшити крок розташування кріпильних елементів, а отже й підвищити міцність і щільність фланцевого з'єднання.

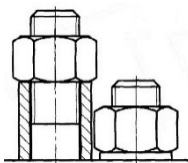


Рис. 26 – Фланцеве трубне з'єднання згідно з пат. № RU83117U1 і RU2393372C1

Аналогічне рішення, але зі шпильками різної довжини запропоновано в пат. № RU2293898C1. При цьому гайка на кожній другій шпильці упирається в шайбу-втулку, висота якої перевищує висоту гайки.

У з'єднанні згідно з пат. № RU23483U1 між з'єднуваними деталями на болтах встановлено проміжні дистанційні шайби, а ущільнювальну прокладку виконано у вигляді плоского кільця з вирізами під дистанційні шайби, при цьому зазначене кільце до затягування болтів має товщину більше за товщину шайб (рис. 27). Таке рішення забезпечує певну початкову деформацію ущільнювальної прокладки.

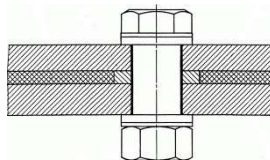


Рис. 27 – Фланцеве з'єднання з незалежним регулюванням ступеня стиснення ущільнювальної прокладки (пат. № RU23483U1)

Фланцеве з'єднання підвищеної герметичності з двома кільцевими ущільнювальними елементами різної конструкції описано в пат. № RU2330209C2.

Фланцеве з'єднання з використанням замороженого ущільнювального матеріалу й кільцевим холодильником описано в а. с. № SU400770A1. Під час монтажу з'єднання еластичний ущільнювальний матеріал деформується й заповнює собою всі ділянки зазору між фланцями, після чого під дією кільцевого холодильника він твердне й надійно ущільнює фланцеве з'єднання. Недолік цієї конструкції – складність її виготовлення та експлуатації, а також її енергозалежність.

Фланцеве електроізолювальне з'єднання описано в пат. № RU34685U1. З'єднання містить розташоване між фланцями армоване гумове кільце з вмонтованими в неї вкладишами, при цьому у вкладишах виконано різьбові отвори для розміщення в них болтів, що стягують між собою фланці. З'єднання аналогічного призначення з ізованими від фланців кріпильними шпильками наведено в пат. № RU165757U1.

Також розроблено конструкції спеціалізованих фланцевих з'єднань, що експлуатуються в екстремальних умовах, наприклад, в умовах високого вакууму. Такі з'єднання характеризуються значною складністю конструкції та експлуатації, насамперед, ущільнювального вузла. (а. с. № SU374479A1, SU387170A1,

SU434200A1, SU522371A1, SU528421A1, SU573667A1, SU612094A1, SU624052A1, SU673801A1, SU699273A1, SU752105A1, SU804985A1, SU1037010A1, пат. № SU713529A3, SU1558309A3, RU47484U1, RU169119U1, RU2150041C1 і RU2269642C2).

За ступенем рухливості одного або обох фланців розрізняють нерухомі та рухомі фланці. При цьому рухомі фланці, у свою чергу, можна поділити на поворотні у площині та поворотні у просторі.

У заявці № US2011/233928A1 розглянуто поворотний у площині фланець, встановлений на центральному тілі за допомогою набору кульок (за аналогією з кульковим підшипником) (рис. 28).

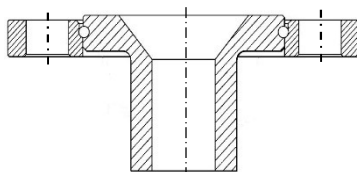


Рис. 28 – Поворотний фланець згідно із заявкою № US2011/233928A1

У заявці № WO2005/089975A1 розглянуто двосекційний поворотний у просторі фланець з кульовим опорним елементом (рис. 29). Перевага цієї конструкції – безступінчасте регулювання положення фланця в просторі, а недолік – висока матеріалоемність.

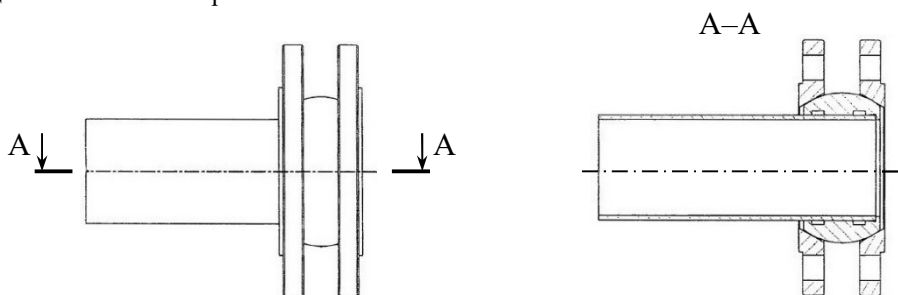


Рис. 29 – Фланець (а) і поперечний переріз його заготовки (б) згідно із заявкою № WO2005/089975A1

Умовно до цієї групи можна віднести з'єднання з проміжними змінними деталями. Наприклад, у пат. № RU2471111C1 розглянуто конструкцію, що забезпечує з'єднання трубчастих елементів, поздовжні осі яких розташовані під гострим кутом одна відносно одної (рис. 30). Недоліки зазначеного фланцевого з'єднання – значна складність його елементів, висока матеріалоемність, а також дискретність регулювання положення фланця в просторі (залежно від кута між опорними площинами проміжної кільцевої вставки).

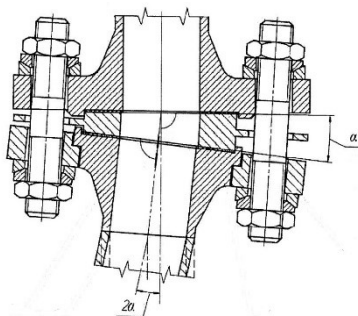


Рис. 30 – Фланцеве з'єднання для трубчастих елементів, поздовжні осі яких розташовано під гострим кутом одна відносно одної (пат. № RU2471111C1)

У пат. № CN221379A розглянуто конструкцію аналогічного призначення, яка також містить розташований між фланцями щонайменше один вкладиш з непаралельними опорними поверхнями (рис. 31). Недолік зазначеного фланцевого з'єднання – підвищені складність його елементів і матеріалоемність, значна довжина кріпильних елементів (болтів), а також дискретність регулювання положення фланців у просторі (залежно від кута між опорними площинами кожної з проміжних кільцевих вставок).

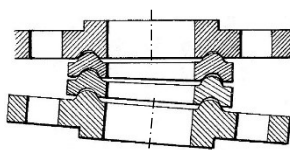


Рис. 31 – Фланцеве з'єднання для трубчастих елементів, поздовжні осі яких розташовано під гострим кутом одна відносно одної (пат. № СН221379А)

У пат. № US4225264А описано фланцеве з'єднання для фіксації трубчастих елементів з паралельними осями. У цьому з'єднанні отвори під болти кріплення виконані в кінцевих втулках, розміщених в аналогічних отворах фланців. При цьому щонайменше в одній із втулок отвір кожної пари втулок під певний болт зміщено відносно її поздовжньої осі (рис. 32). Таке рішення за рахунок повороту втулки дає змогу забезпечити збіг отворів під болти кріплення в обох фланцях.

В а. с. № SU985541А1 для компенсації неперпендикулярності опорної поверхні головки болта осі фланцевого з'єднання під зазначеною головкою розміщено самовстановлювальні шайби з похилою площиною контакту між собою (рис. 33). Недолік конструкції – збільшена довжина болта, що знижує надійність з'єднання за підвищених температур.

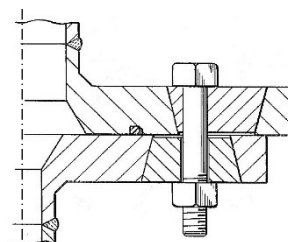


Рис. 32 – Фланцеве з'єднання для фіксації трубчастих елементів з паралельними осями (пат. № US4225264А)

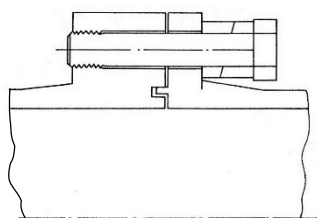


Рис. 33 – Фланцеве з'єднання згідно з а. с. № SU985541А1

За можливістю зняття фланців без демонтажу всього з'єднання розрізняють швидкознімні та незнімні фланці.

У пат. № RU2252357С1 наведено конструкцію плоского фланця, що складається з двох взаємозамінних шайб з центральним та радіальним вирізами, периферійними отворами під болти, а також потовщенням у вигляді радіальної вирізаної ділянки, розташованої з протилежного боку радіального вирізу (рис. 34). Перевага цієї конструкції полягає не тільки в можливості довільної орієнтації фланця на одній зі з'єднуваних деталей, але й значному полегшенні його монтажу та демонтажу.

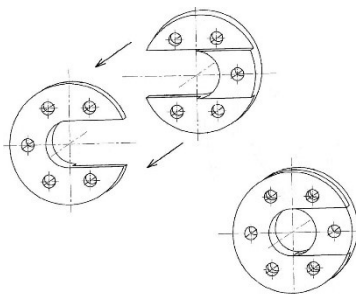


Рис. 34 – Складений вільний фланець для упору в нерухоме кільце (пат. № RU2252357С1)

Фланцеве з'єднання аналогічного призначення описано в пат. № RU2279010C2 (рис. 35).

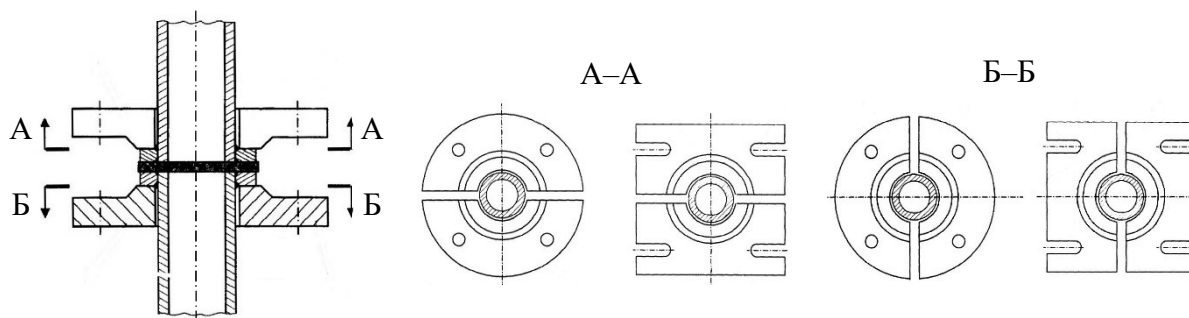


Рис. 35 – Фланцеве з'єднання зі складеними вільними фланцями для упору в нерухоме кільце (пат. № RU2279010C2)

У пат. № UA135089U запропоновано конструкцію фланцевого з'єднання, що містить два патрубкі з приварним фланцем на кінцевій ділянці одного з них і круглим вільним фланцем на приварному кільці на кінцевій ділянці іншого, при цьому по периферії обох фланців виконано отвори для розміщення в них болтів або шпильок, а круглий вільний фланець виконано рознімним у вигляді щонайменше двох кільцевих секторів, центральний кут кожного з яких не перевищує 180° . При цьому круглий вільний фланець доцільно викувати рознімним у вигляді двох однакових кільцевих секторів (рис. 36). Таке конструктивне виконання з'єднання забезпечує спрощення встановлення й знімання вільного фланця (безпосередньо за місцем), що істотно полегшує обслуговування та ремонт відповідних елементів обладнання та/або трубопроводів.

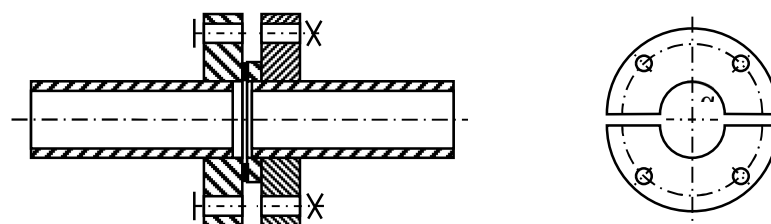


Рис. 36 – Складений вільний фланець для упору в нерухоме кільце (пат. № UA135089U)

За механізмом стиснення ущільнювальної прокладки розрізняють фланцеві з'єднання, в яких ущільнювальна прокладка стискається кріпленням з'єднання, а також з'єднання з індивідуальним стисненням ущільнювальної прокладки.

Наприклад, у пат. № RU2367837C1 розглянуто фланцеве з'єднання, в кільцевому пазу одного з фланців якого за ущільнювальною прокладкою розміщено натискне кільце, в яке впираються болти (рис. 37). Таке технічне рішення забезпечує регулювання зусилля стиснення ущільнювальної прокладки незалежно від ступеня затягування силових болтів фланцевого з'єднання.

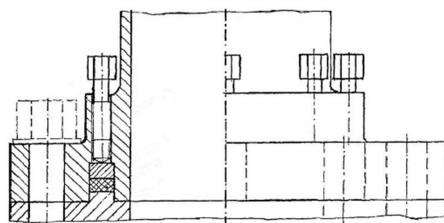


Рис. 37 – Фланцеве з'єднання з незалежним регулюванням ступеня стиснення ущільнювальної прокладки (пат. № RU2367837C1)

В а. с. № SU709902A1 описано фланцеве з'єднання, в кільцевій протоці одного з фланців якого під ущільнювальною прокладкою встановлено кільцевий п'єзоперетворювач, електрично пов'язаний з блоком

керування електричних сигналів (рис. 38). У разі розгерметизації з'єднання блок керування подає електричні сигнали на п'єзоперетворювач, який збільшує тиск на ущільнювальну прокладку й відновлює герметичність з'єднання. Недолік конструкції – її складність та залежність від електропостачання.

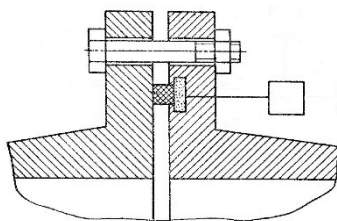


Рис. 38 – Фланцеве з'єднання згідно з а. с. № SU709902A1

Також для стиснення ущільнювальної прокладки використовується тиск текучого середовища (наприклад, пат. № СН379856А та US3589753А), що діє не безпосередньо на ущільнювальну прокладку, а через додаткові засоби (часто винесені за межі фланцевого з'єднання). Однак такі фланцеві з'єднання досить складні як у виготовленні, так і в експлуатації.

За номінальним проходом з'єднаних елементів – розрізняють фланцеві з'єднання для сполучення з'єднаних елементів однакового й різного номінального діаметра.

Переважна більшість фланцевих з'єднань призначено для сполучення з'єднаних елементів однакового номінального діаметра.

Фланцеве з'єднання для сполучення з'єднаних елементів різного номінального діаметра містить плоскі приварні фланці, змонтовані на горизонтальних патрубках різного номінального проходу, при цьому нижні частини внутрішньої поверхні патрубків розташовано на одному рівні (пат. № CN202538408U; рис. 39). Недолік цієї конструкції – утворення застійної зони в патрубку більшого номінального діаметра в разі відносного кутового зміщення отворів під кріпильні вироби обох фланців.

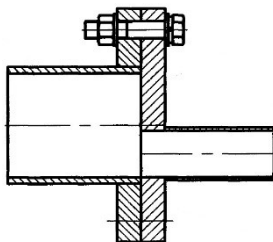


Рис. 39 – Фланцеве з'єднання згідно з пат. № CN202538408U

Фланцеве з'єднання, позбавлене зазначеного недоліку, запропоновано в пат. № UA152102U. Зазначене з'єднання містить два патрубки різного діаметра з приварним фланцем патрубка більшого діаметра та фланцем патрубка меншого діаметра, поздовжню вісь патрубка меншого діаметра зміщено в радіальному напрямку відносно поздовжньої осі патрубка більшого діаметра, при цьому фланець патрубка меншого діаметра виконано вільним на приварному кільці та з центральним отвором для проходу патрубка меншого діаметра (рис. 40). Зазначена конструкція дає змогу безступінчасто регулювати відносне кутове зміщення обох патрубків, а отже й унеможливити утворення застійної зони в патрубку більшого діаметра.

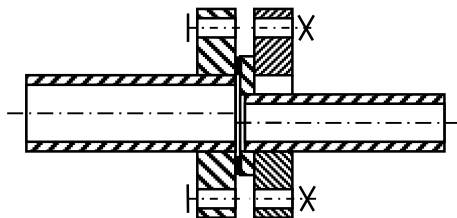


Рис. 40 – Фланцеве з'єднання згідно з пат. № UA152102U

За наявності додаткових функцій розрізняють фланцеві з'єднання без додаткових функцій та фланцеві з'єднання з додатковими функціями.

У пат. № СН479023А розглянуто фланцеве з'єднання з додатковими функціями, в якому між плоскими приварними фланцями розташовано відносно довгу вставку з центральним отвором для проходу текучого середовища й периферійними отворами під кріпильні болти (рис. 41). Зазначену вставку виготовлено з прозорого матеріалу (наприклад, скла або поліметилметакрилату), що забезпечує візуальний контроль над потоком текучого середовища через фланцеве з'єднання.

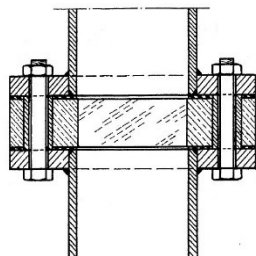


Рис. 41 – Фланець з візуальним контролем руху текучого середовища (пат. № СН479023А)

Також розроблено конструкцію фланцевого з'єднання, призначеного не тільки для транспортування текучого середовища, але й передачі крутного моменту (пат. № RU71725U1).

За матеріалом розрізняють металеві, неметалеві й комбіновані фланці.

Найбільшого поширення набули металеві фланці, які виготовляються зазвичай з того самого матеріалу, що й елементи обладнання, що з'єднуються з їх допомогою.

Серед неметалевих фланців можна виділити, перш за все, конструкції з композитів, що складаються з термореактивного сполучного та одно-, дво- або тривимірною наповнювача [8–12] (пат. № RU2481950C2, RU63485U1, RU85975U1).

У пат. № RU168806U1 наведено конструкцію комбінованого фланцевого з'єднання зі сталевими фланцями на упорних кільцевих виступах неметалевих патрубків (рис. 42). Технічне рішення аналогічного призначення наведено в пат. № RU2459130C1.

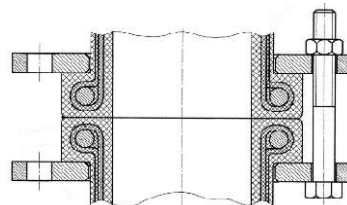


Рис. 42 – Фланцеве з'єднання зі сталевими фланцями на упорних кільцевих виступах неметалевих патрубків (пат. № RU168806U1)

У пат. № RU2208736C2 розглянуто конструкцію фланця з термопластичного матеріалу (поліетилен, етиленвінілацетат), що формується на кінці труби або її фрагменті.

Слід зазначити, що, незважаючи на широкі можливості сучасних полімерних та композиційних матеріалів [8–12], у хімічному апарато- та машинобудуванні основними матеріалами для виготовлення фланців залишаються метали та сплави. Можливо, це пов'язано з бажанням конструкторів мінімізувати ризики, притаманні багатьом хімічним виробництвам, та забезпечити високу надійність технологічного та допоміжного обладнання.

Висновки. Аналіз конструкцій фланцевих з'єднань технологічного обладнання і трубопроводів хімічних виробництв свідчить про їх значну різноманітність, проте найбільш затребуваними промисловістю залишаються апробовані впродовж тривалого часу прості у виготовленні та експлуатації, а також надійні плоскі приварні та приварні встик фланці, а також вільні фланці на приварному кільці.

Розроблена розгорнута класифікація фланцевих з'єднань може стати у пригоді розробникам нової техніки

для створення високоефективного технологічного обладнання різних галузей промисловості. При цьому досягнення сучасного матеріалознавства та комп'ютерного моделювання можуть істотно спростити розробку як удосконалених, так і принципово нових конструкцій фланцевих з'єднань обладнання хімічних, нафтохімічних, нафтопереробних, харчових та інших виробництв.

Перспективи подальших досліджень. Надалі передбачено проаналізувати конструкції інших складових елементів обладнання хімічної та споріднених галузей технології, а також шляхи підвищення їх ефективності.

Список використаної літератури

1. Ignatowitz E. Chemietechnik. Naan-Gruiten : Verlag Europa-Lehrmittel. 2011. 608 s.
2. Мікульонюк І. О. Конструювання фланцевих з'єднань сталених посудин та апаратів. Київ : ІЗМН, 1997. 152 с.
3. Handbook of Precision Engineering. Vol. 6 – Mechanical Design Applications / Ed. by A. Davidson. London : Macmillan, 1972. 320 p.
4. Мікульонюк І. О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 419 с. – URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2061>
5. Биргер И. А., Иосилевич Г. Б. Резьбовые и фланцевые соединения. Москва : Машиностроение, 1990. 368 с.
6. Mikulionok 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. DOI: 10.1007/s10556-021-00883-3
7. Великий тлумачний словник сучасної української мови / уклад. і голов. ред. В. Т. Бусел. Київ, Ірпінь : ВТФ «Перун», 2001. 1440 с.
8. Handbook of fillers and reinforcements for plastics / Eds H. S. Katz, J. V. Milewski, New York : Van Nostrand Reinhold, 1978, 652 p.
9. Handbook of fillers for plastics / Eds H. S. Katz, J. V. Milewski, New York : Van Nostrand Reinhold, 1987. 467 p.
10. Мікульонюк І. О. Термопластичні композитні матеріали та їх наповнювачі. Класифікація та загальні відомості // Хімічна промисловість України. 2005. № 5. С. 30–39.
11. Chung D. D. L. Composite Materials: Science and Applications. London : Springer Verlag London Limited, 2010. 349 p. – URL: https://www.academia.edu/36174278/Composite_Materials_Science_and_Applications
12. Микульонюк И. О. Классификация термопластических композиционных материалов и их наполнителей // Пластические массы. 2012. № 9. С. 29–38.

Igor Mikulionok, Anton Karvatskii, Olena Ivanenko, Serhii Leleka

FLANGE CONNECTIONS OF CHEMICAL TECHNOLOGY EQUIPMENT AND PIPELINES

The subject of the research is the most common type of detachable joints in chemical, petrochemical, oil refining, food and energy machine and apparatus construction, namely flanged joints of technological and auxiliary equipment, as well as pipelines.

The study of the state of the issue and trends in the development of structural and technological design of flanged joints is based on a critical analysis of scientific and technical sources of information and, above all, patent information of the leading countries of the world, since it is in the patent documentation that information is given about innovative developments in the relevant field of engineering and technology.

With the help of methods of analysis and synthesis, flange connections that affect the efficiency of operation of equipment and pipelines in the chemical and related fields of technology have been systematized. A thorough classification has been developed for each type of device, based on which the most interesting designs proposed by scientists, designers

and inventors of the world's leading countries have been examined in detail. A critical assessment of most of the above constructions is provided, their advantages and disadvantages are discussed. Preference is given to sources of information from the end of the second and beginning of the third millennium.

The constructions of flanged joints were analyzed depending on the degree of assembly, the degree of mobility of their structural elements, the possibility of removing the flanges without dismantling the entire joint, the mechanism of compression of the sealing gasket, the presence of additional functions, as well as the material of the flanges.

It is shown that, despite the considerable variety of developed designs of flanged connections, the most demanded by the industry are flat welded and butt-welded flanges, as well as free flanges on a welded ring. However, thanks to the advances in materials science and computer modelling, the search for new flange connection designs continues.

The developed detailed classification of flange connections can be useful to the developers of new equipment for the creation of highly efficient technological equipment of various industries.

Keywords: *chemical technology, equipment, pipelines, flange connections, classification, design.*

References

1. Ignatowitz, E. (2011). *Chemietechnik*. Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten.
2. Mikulionok, I. O. (1997). *Konstruiuvannia flantsevykh zednan stalnykh posudyn ta aparativ* [Design of flanged connections of steel vessels and devices]. IZMN, Kyiv. (Ukr.)
3. *Handbook of Precision Engineering* (1972). Vol. 6 – Mechanical Design Applications / ed. by A. Davidson. Macmillan, London.
4. Mikulionok, I. O. (2012). *Vygotovlennia, montazh ta eksploatatsiia obladnannia khimichnykh vyrobnytstv* [Manufacture, installation and operation of chemical equipment]. NYUU "KPI", Kyiv. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2061> (Ukr.)
5. Birger, I. A., Iosilevich, G. B. (1990). *Rezbovyie i flantsevyie soyedineniia* [Threaded and flange connections]. Mashinostroyeniye, Moscow. (Rus.)
6. Mikulionok, I. O. (2020). Design of Flange Connections of Chemical Production Equipment (Review of Patents). *Chemical and Petroleum Engineering*, vol. 56, no 1–2, pp. 74–81. doi: 10.1007/s10556-021-00883-3
7. *Velykyi tlumachnyi slovnyk suchasnoi ukrainxkoi movy* [A large explanatory dictionary of the modern Ukrainian language] (2001) / Ed V. T. Busel. VTF «Perun», Kyiv, Irpin. (Ukr.)
8. *Handbook of fillers and reinforcements for plastics* (1978) / Eds H. S. Katz, J. V. Milewski, Van Nostrand Reinhold, New York.
9. *Handbook of fillers for plastics* (1987) / Eds H. S. Katz, J. V. Milewski, Van Nostrand Reinhold, New York.
10. Mikulionok, I. O. (2005). *Termoplastychni kompozytni materialy ta ikh napovniuvachi. Klasyfikatsiia ta zagalni vidomosti* [Thermoplastic composite materials and their fillers. Classification and general information]. *Khimichna promyslovist Ukrainy*, no 5, pp. 30–39. (Ukr.)
11. Chung, D. D. L. (2010). *Composite Materials: Science and Applications*. Springer Verlag London Limited, London. URL: https://www.academia.edu/36174278/Composite_Materials_Science_and_Applications
12. Mikulionok, I. O. (2012). *Klassifikatsiia termoplasticheskikh kompozitsionnykh materialov i ikh napolniteley* [Classification of thermoplastic composite materials and their fillers]. *Plasticheskiye massy*, no 9, pp. 29–38. (Rus.)