

ВСТУП

Із циклопарафінів у хімічній промисловості застосовується головним чином циклогексан. Його здобувають із деяких нафтових фракцій, або синтезують гідруванням бензолу.

Циклогексан (C_6H_{12}) - це цикл із шести атомів вуглецю, у кожного знаходиться за 2 атома водню. Він схожий з бензолом, але в ньому немає подвійних зв'язків. Це безбарвна нерозчинна у воді і не корозійна рідина, що має гострий запах. Він горючий, як і будь-який продукт, що отримується з нафти; його транспортують у цистернах, автоцистернах, баржах і металевих бочках.

Циклогексан міститься у всіх нафтах, однак його кількості невеликі (найчастіше 1 - 2 %). Внаслідок цього добування циклогексану безпосередньо з нафти є досить складним і дорогим процесом. Розроблено декілька способів виділення циклогексану з легкокиплячих дистилятів нафти. Так, наприклад, ректифікацією бензинів прямої гонки вдається одержувати фракції, що містять до 80% циклогексану. Звичайною ректифікацією досягти цього не вдається через наявність великої кількості інших близькокиплячих компонентів. Тому прибігають до так званого процесу екстрактивної дистиляції. У якості екстрагента застосовується фенол. Цим способом вдається одержати висококонцентрований циклогексан. Основну кількість циклогексану одержують шляхом каталітичного гідрування бензолу.

Циклогексан отримав велике промислове застосування: на його основі роблять капролактам і адипінову кислоту - сировина для поліамідних волокон, пластичних пластмас, пластифікаторів і ін.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Каталітичне гідрування бензолу в циклогексан отримало в останні роки важливе практичне значення у зв'язку зі збільшенням попиту на нейлон. Це складний каталітичний процес.

Із загального виробництва циклогексану близько 90% витрачається на одержання нейлону. Росте також споживання адипінової кислоти - продукту окислювання циклогексану у виробництві пінопластів, пластифікаторів і еластомерів[1].

У цей час як сировину для одержання полімерів використовують капролактаму і адипінову кислоту, виробництво яких базується в основному на бензолі. Близько 90% капролактаму одержують за окисною схемою, першою стадією якої є гідрування бензолу до циклогексану.

Основні вузли першої технологічної схеми синтезу капролактаму розробили в Німеччині, де в 1943 році було організоване виробництво потужністю 35 тис.т у рік з використанням фенолу як сировини.

Перше виробництво капролактаму з фенолу було освоєно в СРСР в 1948 році. З початку 50-х років аналогічні виробництва були освоєні в ряді інших країн (Японія, ФРН, Італії). У США й Англії донедавна розвивалося виробництво нейлону 6,6 з Ag-солі, однак зараз у цих країнах швидко збільшується виробництво поліамідного волокна на базі капролактаму. Істотну роль тут зіграло поява методу синтезу з бензолу, заснованого на окислюванні циклогексану киснем повітря.

Світове виробництво капролактаму досягло в середині 70-х років 3,2 млн.т, причому тільки за період 1965-1970 р. випуск у капіталістичних і країнах, що розвиваються, виріс із 950 тис.т до 1,9 млн.т/рік, тобто більш ніж у два рази.

В Україні єдиним виробником капролактаму є Черкаське АОО «Азот».

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обсяг виробництва на 2000 р. - 9,7 тис. т, рівень завантаження потужностей був низьким - 19,4%. Об'єм внутрішнього споживання капролактаму 11,3 тис.т.

У пошуках методів переробки бензолу в капролактамах найбільша увага була приділена процесу одержання циклогексану жидкофазним окислюванням циклогексану. Саме ці дослідження лягли в основу промислового способу одержання капролактаму з бензолу у ФРН, США, Нідерландах і Швейцарії. У СРСР роботи з окислювання циклогексану й виділенню циклогексану необхідного ступеня чистоти проводилися М.С.Фурманом зі співробітниками починаючи з 1955 року.

Паралельно з розробкою окисного методу велися пошуки інших шляхів перетворення бензолу в капролактамах. Так, фірма Du Pont (США) протягом ряду років розробляла технологію одержання капролактаму на основі нітрування циклогексану з відновленням отриманого нітроциклогексана в циклогексаноноксим. Аналогічний процес розроблявся також у СРСР. По методу японської фірми Toray, реалізованому в промисловому масштабі, циклогексаноноксим виходить при взаємодії циклогексану із хлористим нітрозилем під дією світлового випромінювання.

На сьогоднішній день промисловий вихід одержали схеми, засновані на використанні ароматичної сировини.

Фенольна схема включає наступні стадії: гідрування фенолу, ректифікація циклогексану і його дегідрування, ректифікаційне очищення циклогексанона, його окисдування під дією гідроксиламінсульфата, ізомеризація оксима в капролактамах і очищення останнього.

Окисна схема складається зі стадій: гідрування бензолу, окислювання циклогексану, поділ продуктів окислювання з виділенням циклогексану й циклогексанона, наступне дегідрування циклогексану в циклогексанон,

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворення циклогексанона в циклогексаноксим, ізомеризація оксима в капролактам.

Фотохімічна схема передбачає гідрування бензолу в циклогексан, фотохімічне нітרוзування циклогексану (включаючи синтез нітрозилхлорида через нітрозилсірчану кислоту), ізомеризацію циклогексаноксима в капролактамі й його очищення.

Освоєння зазначеної схеми вимагає специфічного встаткування, наприклад, спеціальних потужних ламп-опромінення.

Толуольна схема включає окислювання толуолу в бензольну кислоту, гідрування останньої в циклогексанкарбонову кислоту, нітרוзування з утворенням капролактаму-сирцю, синтез нітрозилсірчаної кислоти й очищення отриманого продукту.

Як бачимо з наведених схем, виробництво капролактаму з фенолу й окислюванням циклогексану включає стадію одержання циклогексану, останній можна синтезувати й з аміаку. Однак використання методу одержання капролактаму з аніліну досить обмежено.

Ще на початку минулого століття Собатьє відкрив, що бензол легко гідрується в циклогексан у присутності дрібнороздробленого нікелю. Пізніше було доведено, що для цієї ж мети можна з успіхом використати кістковий нікель, нікель на носіях, і змішані нікелеві контакти. Гарні результати дає застосування дрібнороздробленої платини. Можна використати також палладій, молібден, вольфрам, реній і їхні сполуки.

1.1. Каталізатори гідрування бензолу

Нікелеві каталізатори.

Гідрування бензолу на нікелевих каталізаторах проводять при низьких і середніх тисках (до 3 МПа). Так, при температурі 150-200°C досягається майже повне перетворення бензолу в циклогексан, причому в таких умовах побічні продукти не утворюються.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проте зважаючи на високу чутливість нікелевих каталізаторів до домішок сірки (особливо тиофеновій), вміст останньої в початковому бензолі не повинен перевищувати десятитисячних доль відсотка; крім того, передбачається спеціальне форконтантне очищення бензолу. Найчастіше застосовуються нікелеві каталізатори на носіях: кизельгуре, окислу алюмінію, окислу хрому і ін.

У табл. 1.1 наведені характеристики деяких нікелевих каталізаторів. Як випливає з таблиці, питома каталітична активність (з розрахунку на одиницю поверхні металевого нікелю) одного порядку.

Таблиця 1.1- Характеристика нікелевих каталізаторів[4].

Характеристика	Ni без носія	Ni на Cr ₂ O ₃	Ni на MgO	Ni на вуглі
Вміст Ni, %	100	50	65	9,1
Поверхня каталізатора, м ² /г				
загальна	3,8	130	200	660
нікелю	3,8	30	42	15
нікелю, м ² /г Ni	3,8	60	65	170
Активність при 100°С 10 ⁻³ моль/(ч·г)	1,74	35	44	120
Питома активність, 10 ⁻³ моль/(ч·м ²)	0,46	0,58	0,68	0,70

Використовуваний для гідрування бензолу нікель - хромовий каталізатор (складається з металевого нікелю або нікелевої черні не менше 48%), нанесеного на окисел хрому (27%). Каталізатор є чорними блискучими пігулками (4X4 мм) висипною щільністю 1,1—1,3 г/мл. Нікель-хромовий каталізатор пирофорен: при контакті з горючими газами у присутності повітря каталізатор може викликати займання; тому його впускають в пасивуючому вигляді, тобто з частково окисленою поверхнею нікелю. Каталізатор пасивують також перед вивантаженням з реактора. У реактор подають азот, поступово додають повітря з таким розрахунком, щоб зміст кисню на виході з апарату

				2017.007.00.000 ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

плавно зростало з 0,2 до 21% (об.). В повітрі каталізатор витримують декілька годин і потім вивантажують. Температура каталізатора не повинна перевищувати 40 °С.

При гідруванні бензолу на нікель-хромовому каталізаторі в інтервалі тиску 2—6 МПа при 120—250°C і об'ємної швидкості по бензолу 0,5—2ч⁻¹ вміст циклогексану в гідрогенізіаті дорівнює 99,9%. Ступінь конверсії бензолу в циклогексан змінюється залежно від висоти шару каталізатора і від тривалості гідрування.

Нікель - хромові каталізатори надзвичайно чутливі навіть до низьких концентрацій ряду домішок, які є каталітичними отрутами. Так кисень, вода, моно оксид та діоксид вуглецю викликають зворотне отруєння каталізатора, що призводить до різкого зниження його продуктивності у процесі гідрування. Після видалення отрути із реакційної суміші активність каталізатора відновлюється.

Після повного віддалення отрутих домішок з сировини, значно більший ніж час отруєння. Сліди аміаку також можуть викликати значне отруєння каталізатора. Незворотне отруєння нікель-хромових каталізаторів викликають навіть дуже малі концентрації сполук сірки, галогенів, свинцю, миш'яку та фосфору. Отруєння нікелевих каталізаторів обумовлено взаємодією сірчанних сполук з активним нікелем в поверхневому шарі з утворенням сульфідів нікелю. Для отруєння каталізатора достатньо вже дезактивації поверхневих активних атомів нікелю. Особливо сильно та необоротно нікелевий каталізатор отруюється тиофеном, присутнім у бензолі. Отруюча дія якого у 5 разів більша ніж сірководню та сірковуглецю. Повне отруєння каталізатора тиофеном настає при адсорбції одним грамом каталізатора 8 мг тиофенової сірки. Після дезактивації каталізатора поглинання тиофену припиняється. При проскакуванні у сировині тиофену повне отруєння каталізатора настає протягом незначного часу. Через високу чутливість нікелевих каталізаторів до домішок

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сірки вміст загальної сірки у вихідному бензолі не повинна перевищувати 0,0001%. Попадання на каталізатор мінеральних мастил також призводить до отруєння каталізатора. У технологічній схемі процесу гідрування бензолу передбачається спеціальне форконтактне очищення.

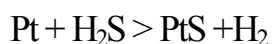
Оскільки при гідруванні бензолу велика частина тепла виділяється в «лобових» шарах каталізатора, для зменшення його активності і запобігання перегріву каталізатор частково розбавляють інертним матеріалом. Запропонована також рецептура термостабільних нікель-алюмінієвих та нікель-алюміній-хромових каталізаторів, стійких при підвищених температурах.

Платинові каталізатори.

На платинових каталізаторах гідрування бензолу протікає за тих самих умов, що й на нікелевих (температура 120-250°C, тиск до 3 МПа, мольне співвідношення газ:бензол = 8:1), причому досягається практично повна конверсія при селективності, близької до 100%.

До переваг платинових каталізаторів варто віднести їх трохи меншу, ніж у нікелевих, чутливість до сірчистих сполук і можливість регенерації каталізатора. До недоліків - чутливість до присутності вологи у сировині, що викликає необхідність ретельно осушувати бензол. Насипна щільність каталізатора близько 1г/см³. Каталізатор не повинен містити хлору й фтору, які сприяють реакції ізомеризації.

Отруєння платинових каталізаторів з'єднаннями сірки, на відміну від нікелевих контактів, оборотне. З'єднання сірки гідруються до сірководня, який взаємодіє з платиною по реакції[4]:



При цьому частина активної поверхні платини блокується сіркою, що призводить до зниження активності каталізатора і проскакування бензолу, як це витікає з приведених нижче даних: таблиця 1.2 [4]

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2

Вміст сірки в бензолі, 10 ⁴ , %	0,6	1,1	1,3	1,7	2,0	3,2
Вміст бензолу, що не прореагував у циклогексан, %	0,15	0,3	1,1	2,0	2,4	4,8

Попадання води на каталізатор викликає його спікання при температурі вище за 300°C, що приводить до зменшення поверхні і зниженню активності. Тому бензол до надходження в реактор повинен бути ретельно зневоднений (допустимий вміст води в бензолі 0,01%). За умови осушення бензолу і вмісті в ньому сірки не більше 0,0002% термін служби платиного каталізатора складає близько 3 років.

Сульфідні каталізатори.

Сульфідні каталізатори, маючи значно меншу активність у порівнянні з нікелевими і платиновими, вимагають більш жорстких умов гідрування: тиск близько 30 МПа й температура 250-300°C, при низьких об'ємних швидкостях по бензолу. За таких умов зростає доля побічних реакцій, наприклад, ізомеризація циклогексану в метил циклогексан [5].

Промислове застосування знайшов вольфрам-нікель-сульфідний каталізатор без носія, що готується осадженням з розчинів нікелевих солей основного карбонату нікелю. Після сушки і подрібнення карбонат нікелю перемішують з вольфрамовою кислотою. Через одержану окисно вольфрамонікелеву масу пропускають при нагріванні сірководень, потім масу таблетують (пігулки 10x10 мм). Каталізатор містить 24 — 28% Ni, 40 — 44% W, 26 — 29% S, що відповідає складу 2NiS·WS₂. Насипна щільність каталізатора 2,6 г/мл, питома поверхня 23—30 м²/г. Термін служби каталізатора близько 2 років.

1.2. Одержання циклогексану

Проблема одержання циклогексану високого ступеня чистоти технічно вирішується гідруванням бензолу в рідкій або паровій фазі. Останнім часом у

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

2017.007.00.000 ПЗ

закордонній практиці віддають перевагу жидкофазному процесу [6]. Його переваги полягають у можливості створення агрегатом більшої одиничної потужності, проведенні процесу з максимальним перетворенням бензолу й виключенням ізомеризації циклогексану в метилциклогексан. Однак енергетично жидкофазне гідрування не має переваг перед парофазним, особливо якщо останній здійснювати в трубчастих реакторах з одночасним одержанням енергетичної пари [4].

Крім того, при реалізації жидкофазного процесу виникають ускладнення, пов'язані з використанням суспендированного каталізатора. Внаслідок цього ряд найбільших закордонних фірм (DSM, BASF, DuPont) застосовують метод парового гідрування бензолу. У вітчизняній промисловості розповсюджений винятково парофазовий процес, причому впроваджено кілька схем, що розрізняються умовами процесу й апаратним оформленням. Як сировину використовують нафтохімічний або коксохімічний бензол.

Нафтохімічний бензол виділяють із нафтових фракцій при 65-105°C на установках платформінга. Продукти платформінга розділяють екстрактивною дистиляцією й ректифікацією, отриманий при цьому бензол містить близько 0,2% домішок, у тому числі до 0,06% н-гептана, 0,06% толуолу й метилциклогексана, 0,0001% загальної сірки.

Коксохімічний бензол містить значно більше сірки, особливо тиофенової, тому на коксохімічних підприємствах передбачають спеціальне гідроочищення бензолу гідруванням сірчистих сполук до сірководню й наступним відпарюванням H_2S і лужним промиванням.

Після очищення в бензолі міститься 0,0002% тиофенової сірки й 0,0001% сірковуглецевої, а також 0,05-0,09% н-гептана й 0,06-0,12% метилциклогексана.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Домішки вуглеводнів у бензолі не впливають на процес гідрування, але потрапляючи в циклогексан, вони можуть в остаточному підсумку погіршити якість капролактаму.

Очищення бензолу ректифікацією виявляється не ефективною в зв'язку з утворенням несприятливих по сполучі сумішей (наприклад, 99,3% бензол і 0,7% н-гептан). У промисловості домішки висококиплячих вуглеводнів виділяють не з бензолу, а із циклогексану на ректифікаційній колоні, що працює при атмосферному тиску. Кубова рідина колони, так називаєма «гептанова фракція», виводиться на спалювання.

У промисловості установки гідрування бензолу забезпечуються воднем, як правило, за рахунок використання водомісткого газу з агрегатів синтезу аміаку.

Перевага в синтезі циклогексану з азотоводневої суміші заманливо, тому що вартість цього газу вдвічі нижче вартості чистого водню, одержуваного на невеликих установках. Однак зі збільшенням змісту інертного компонента зростає витрата водню внаслідок втрат з віддувочними газами. Тому використання 75% водомісткого газу доцільно в системах, що працюють без циркуляції газу.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування обраного методу виробництва

Бензол у присутності каталізаторів легко гідрується до циклогексану. Умови процесу одержання циклогексану визначаються в першу чергу термодинамікою. Гідрування бензолу є оборотною й ізотермічною реакцією. Необхідна для виробництва сировина й досить низький зміст ароматичних сполук в отриманому циклогексані обмежує температуру процесу (не вище 232°C), тому що в протилежному випадку при прийнятому парціальному тиску водню термодинамічна рівновага зміщується у бік зниження виходу цільового продукту – циклогексану. З іншого боку, внаслідок дуже високої екзотермічності реакції (208,2 кдж/моль) при адіабатичних умовах температура в реакторі буде різко зростати. Тому для успішного проведення процесу досить важливий відвід теплоти реакції й регулювання температури в реакторі.

Процес гідрування проводять звичайно в рідкій фазі в присутності нікелевих каталізаторів: суспендірованому (нікель Ренея), нанесеному (Ni/Al_2O_3 ; $Ni/\text{еєçăëïïáóð}$) або низькотемпературному, утримуючий благородний метал (Pt/Al_2O_3 ; Rh/Al_2O_3). Нікелеві каталізатори дешевше, але мають невеликий термін служби. На гідрування подають не чистий бензол, а суміш бензолу й циклогексану в масовому співвідношенні 1:3. У цьому випадку відвід тепла здійснюється за рахунок випару циклогексану. Так як реакція має нульовий порядок по бензолу, рециркуляція циклогексану не знижує ступеня перетворення. Процес проводять під тиском 2,5 – 3 МПа й у співвідношенні водень: бензол, рівному 3:1. Температура в зоні реакції 179-180°C, вихід циклогексану 99,7%. Обчислення значення рівноважних ступенів конверсії бензолу в циклогексан по тиску, температурі й мольному співвідношенню водню до бензолу представлено на рис 1[4]. З рисунка

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2017.007.00.000 ПЗ					

видно, що при атмосферному тиску й температурі нижче 200°C процес іде майже повністю ліворуч – праворуч до циклогексану, а при температурі вище 350°C – рівновага повністю зрушується вліво.

Механізм і кінетика гідрування бензолу на нікелевих каталізаторах докладно досліджувалися Г.Д. Любарским із застосуванням проточно-циркуляційного методу, що дає надійні результати при широкому варіюванні температури, тиску, об'ємній швидкості, парціальних тисків компонентів, розмірів зерна каталізатора й інших параметрів процесу.

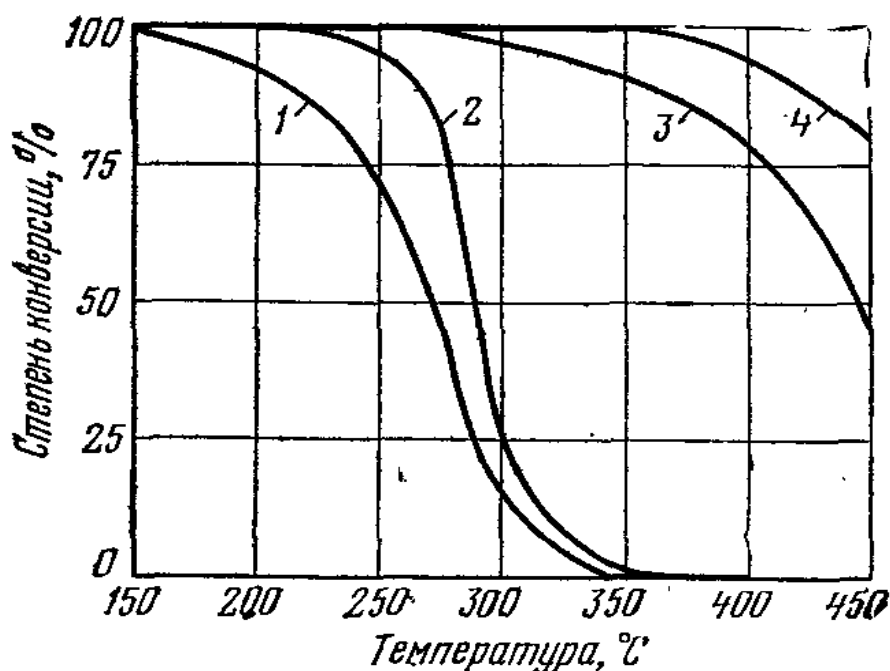


Рис. 2.1- Рівноважний ступінь конверсії бензолу в циклогексан при різних тиску, температурі й відношенні $H_2 : \dot{N}_6 \dot{I}_6$

1- $H_2 : C_6H_6 = 3$, $p = 0,1 \text{ МПа}$; 2- $H_2 : C_6H_6 \geq 3$, $p = 0,1 \text{ МПа}$;

3- $H_2 : C_6H_6 = 3$, $p = 5 \text{ МПа}$; 4- $H_2 : C_6H_6 \geq 3$, $p = 5 \text{ МПа}$.

На рисунку 2 представлена залежність швидкості реакції в кінетичній області від парціального тиску бензолу ($P_{H_2} = const$) при різних температурах.

У температурному інтервалі до 100°C швидкість реакції падає зі зменшенням парціального тиску бензолу, і порядок по бензолу стає більше нуля. При високих температурах область відхилень від нульового порядку по бензолу становить $0,5[7]$.

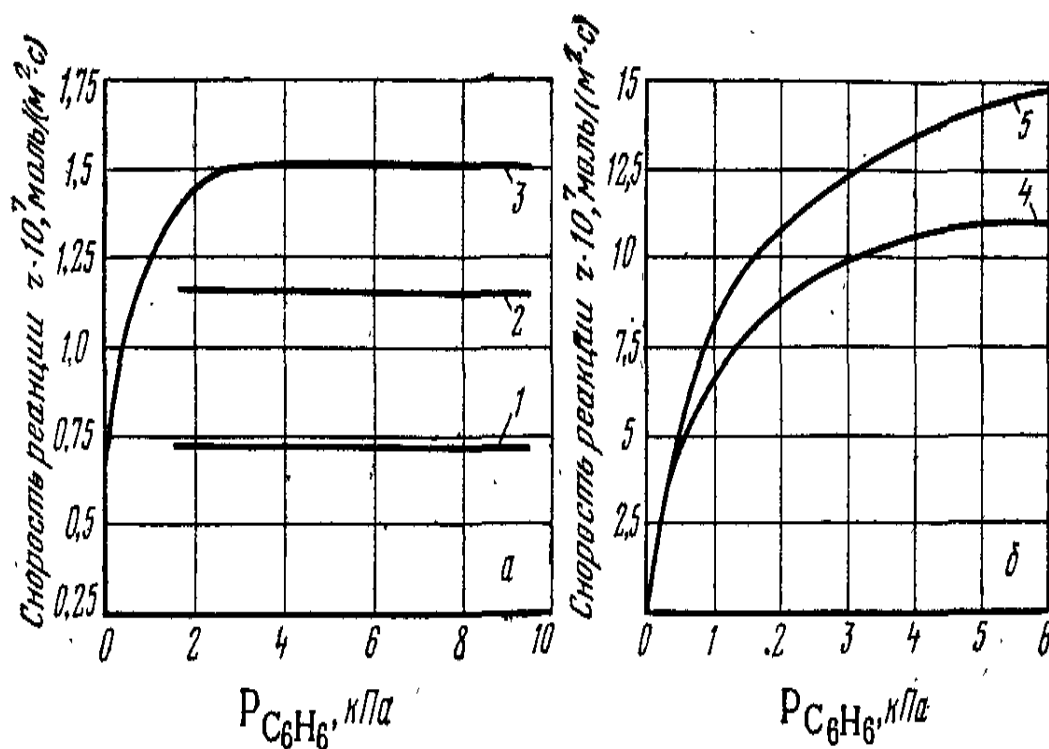


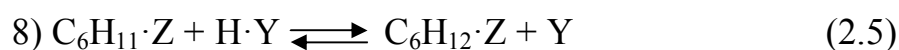
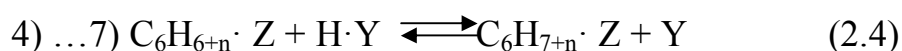
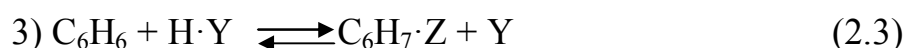
Рис. 2.2 Залежність швидкості гідрування при температурах до 105°C (а) до 185°C (б), від парціального тиску бензолу
1 – при 85°C ; 2 – при 97°C ; 3 – при 105°C ; 4 - при 165°C ; 5 – при 185°C .

На рис. 1.2 представлена залежність швидкості реакції в кінетичній області від парціального тиску бензолу ($H_2 = \text{const}$) при різних температурах.

У температурному інтервалі до 1000°C швидкість реакції залишається практично постійній аж до ступеня конверсії 80% , що засвідчує нульовому порядку по бензолу в цій області. При ступені конверсії вище 80% швидкість реакції падає із зменшенням парціального тиску бензолу, і порядок по бензолу стає більше нуля. При високих температурах область відхилень від нульового порядку по бензолу значно розширюється, і при 185°C порядок реакції по бензолу складає $0,5[7]$.

По водню порядок реакції при температурах до 100 °С рівний 0,5. Із зростанням температури він підвищується до 1,2, що пов'язано із зміною адсорбційних характеристик каталізатора. Продукт реакції, циклогексан, гальмує процес лише в невеликому ступені.

При виведенні кінетичних рівнянь, реакція гідрування бензолу розглядається як процес послідовного приєднання адсорбованих атомів водню до адсорбованої молекули бензолу з утворенням проміжних поверхневих полугідрированих сполук $\tilde{N}_6 I_6 + \delta$, де р міняється від 0 до 5. Приймається, що бензол і водень адсорбуються на різних центрах, і що адсорбція водню невелика. Якщо прийняти, що швидкості приєднання всіх атомів водню до бензолу близькі між собою, швидкість процесу визначається групою реакцій із шести повільних стадій (реакції 3-8) [8]:



Де Y — центри адсорбції водню; Z — центри адсорбції бензолу, значення n змінюється від 1 для стадії 4, до 4 для стадії 7.

Виведене на основі цієї схеми по методу М. І. Темкина [9] повне кінетичне рівняння можна перетворити в рівняння вигляду

$$\omega = kP_{\text{H}_2}^a P_{\text{C}_6\text{H}_6}^b P_{\text{C}_6\text{H}_{12}}^c$$

де ω — швидкість реакції; a, b і c — порядки реакції по водню, бензолу і циклогексану відповідно.

Це рівняння задовільно описує експериментальний кінетичний матеріал. Кінетика процесу в умовах внутрішньої дифузії вивчена в ізотермічних умовах у проточно-циркуляційній системі при тиску до 5 МПа.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У цих умовах швидкість процесу також задовільно описується статечним рівнянням, аналогічним наведеному вище.

Значення уявної енергії активації процесу в кінетичній області становить близько 50 кДж/моль, а в дифузійній (на таблетках каталізатора) – близько 25 кДж/моль[4].

Також вивчена кінетика гідрування бензолу на різних Ni – утримуючих каталізаторах при температурі 140 – 240°C и тиску 0,9 – 2 МПа. Активність каталізаторів регулювали за рахунок кількості Ni (від 50% у промисловому NiCr – каталізаторі, до 0,5% в Ni – каталізаторі, модифікованому гетерополізі'єднанням W), а також за рахунок зміни способу готування. Регулювання активності дозволяє знижувати й підвищувати швидкість тепловиділення й реакції на різних стадіях процесу гідрування. Показано, що модифіковані каталізатори, що містять 2 – 4% Ni, при спеціальному способі готування, порівнянні або перевершують по активності Ni – Cr або Ni – Al – Cr каталізатори.

При оптимізації реакційних вузлів використані отримані кінетичні дані, що дозволяють проводити розрахунки процесу гідрування в умовах безперервної зміни температур, концентрацій і кількості реагуючих речовин у зонах реактора з підбором необхідної активності каталізатора. Розподіл каталізатора в реакторі, відповідно до кінетики процесу, дозволило розробити високопродуктивні реакційні апаратури, у якій процес одержання циклогексану здійснюється в умовах близьких до ізотермічних, з використанням тепла реакції й H_2 [7].

2.2 Опис технологічної схеми виробництва

Схема представлена на кресленні 2017.007.00.000 ТЗ.

Бензол на установку гідрування надходить із базисного складу по трубопроводу. Насосом Н бензол з об'ємною швидкістю не більше 6 м³/ч на

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кожний агрегат, подається в змішувальну камеру, а потім у трубний простір теплообмінника АТ 1.

Свіжий водень із об'ємною часткою не менш 98% надходить на установку гідрування із цеху оцтової кислоти П – 4 з тиском не менш 2 МПа в лінію нагнітання компресорів КМ. При розвантаженні або зупинці цеху П – 4, на установку подається АВС із установки органа з об'ємною часткою водню не менш 91% і тиском не менш 2МПа.

Циркуляційний газ, свіжий водень і бензол подаються в трубний простір теплообмінника АТ 1 через змішувальну камеру, де відбувається змішання газу з бензолом. Випар бензолу й нагрівання вихідної суміші в теплообміннику АТ 1 до температури не більше 150°C здійснюється за рахунок тепла реакційної суміші, що надходить у міжтрубний простір теплообмінника з реактора РТ 3. З теплообмінника АТ 1 вихідна суміш надходить у підігрівник АТ 2, що обігріває паром 0,5 МПа. З підігрівника АТ 2 вихідна суміш надходить у реактор форконтакта (реактор сіркоочистки) РТ 1, де відбувається очищення суміші бензолу й водню від сірковмісних сполук на мідно-хромовому каталізаторі при температурі 130 – 150°C и тиску не менш 1,3 – 2 МПа. Після очищення масова частка сірки у вихідній суміші не повинна перевищувати 0,0001%.

З реактора сіркоочистки РТ 1 вихідна суміш надходить спочатку в трубчастий реактор РТ 2, а потім у засипний реактор РТ 3, у яких відбувається гідрування бензолу при температурі 150 – 230°C и тиску не менш 1,3 МПа на стаціонарному нікелевому каталізаторі.

Реакція гідрування в реакторі РТ 2 протікає з перетворенням бензолу в циклогексан не менш 90%, а в реакторі РТ 3 до 99,9%.

Теплота реакції 2682 Кдж/кг (процес гідрування йде з виділенням тепла) знімається парою конденсату в міжтрубному просторі реактора РТ 2.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У міру зниження активності каталізатора в реакторі РТ 2 все більша частина реакції гідрування відбувається в реакторі РТ 3. зниження активності каталізатора може бути компенсовано деяким підвищенням температури в зоні реакції за рахунок підвищення тиску пари в сепараторі С 1. температура реакційної суміші на виході з реактора РТ 2 не повинна перевищувати 230°C, тому що в реакторі РТ 3 немає можливості знімати теплоту реакції.

З реактора РТ 3 реакційна суміш (циклогексан і реакційний газ) надходить у міжтрубний простір теплообмінника АТ 1, де охолоджується за рахунок віддачі тепла на випар бензолу й нагрівання вихідної суміші.

При цьому відбувається часткова конденсація циклогексану. подальше охолодження реакційної суміші до температури не більше 45°C и конденсація циклогексану відбувається в міжтрубному просторі холодильника АТ 4, охолоджуваного оборотною водою.

З холодильника – конденсатора АТ 4 парожідкісна суміш надходить на поділ у сепаратор С 2, де рідкий циклогексан відокремлюється від циркуляційного газу.

Газова фаза (циклогексан) виводиться з нижньої частини сепаратора С 3 і, з'єднуючись із рідкою фазою сепаратора С 2, подається в збірник сепаратора Е, а газова фаза надходить на всас циркуляційних компресорів КМ, які забезпечують циркуляцію в системі гідрування.

Отдувочний газ охолоджується до температури не більше 10 – 25°C у холодильнику АТ 3, охолоджуваному водою. Газ і циклогексан, що сконденсувався, з холодильника АТ 3 надходить в абсорбер АР, де відбувається очищення газу від циклогексану. газ після абсорбера АР направляється в колектор видачі відкидних газів на котельню.

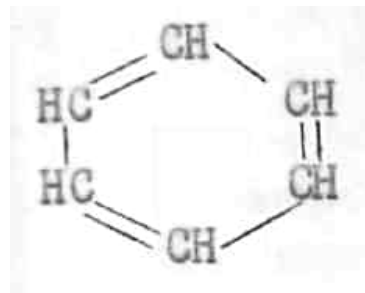
					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Характеристика сировини й готового продукту

Бензол - безбарвна рідина, не містить механічних домішок [11].

Молекулярна формула - C_6H_6

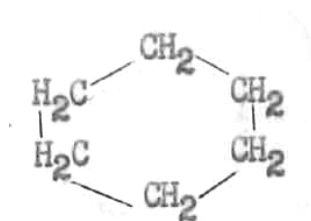
Структурна формула -



Відносна молекулярна маса	78,12
Температура:	
кипіння, °С	80,099
плавлення, °С	5,533
Розчинність у г на 100 мол:	
води	0,08222

Циклогексан - безбарвна рідина, що не містить механічних домішок.

Молекулярна формула – C_6H_{12}



Структурна формула -

Відносна молекулярна маса	84,16
Температура:	
кипіння, °С (при 760 мм.рт.ст.)	80,75
плавлення, °С	6,6
щільність при 20°С, кг/м ³	778,3

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарна масова частка домішок визначена

хроматографічно, %

не більше 0,1

У тому числі:

бензолу, %

0,005

метилциклопентана, %

0,015

гептану, %

0,01

метилциклогексана, %

0,02

Таблиця 2.1 - Характеристика сировини, матеріалів і напівпродуктів [18].

Найменування речовини	Міждержавний або галузевий стандарт ТУ або методика.	Показники обов'язкові для перевірки.	Регламентовані значення показників з додатковими відхиленнями.
1	2	3	4
1. Бензол нафтовий	ГОСТ 9572 – 77 із зміною №1, №2, №3 марка «вищого очищення»	1. Щільність при 20 °С г/см ³ 2. Температура кристалізації не нижча °С 3. Масова частка обший сірки 4. Реакція водної витяжки.	0,878-0,88 5,4 0,00005 нейтральна
2. Бензол нафтовий	ГОСТ 9572 – 77 із зміною марка «очищений»	1. Щільність при 20 °С г/см ³ 2. Температура кристалізації не нижча °С 3. Масова частка обший сірки 4. Реакція водної витяжки.	0,878-0,88 5,4 0,0001 нейтральна

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

2017.007.00.000 ПЗ

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
3. Бензол нафтовий	ГОСТ 9572 – 77 із зміною марка «для синтезу вищого сорту»	1. Щільність при 20 °С г/см ³ 2. Температура кристалізації не нижча °С 3. Масова частка обший сірки 4. Реакція водної витяжки.	0,878-0,88 5,35 0,001 нейтральна
4. Бензол кам'яно-вугільний і сланцевий	ГОСТ 9572 – 77 із зміною марка «вищого очищення»	1. Щільність при 20 °С г/см ³ 2. Температура кристалізації не нижча °С 3. Масова частка обший сірки 4. Реакція водної витяжки.	0,878-0,88 5,4 0,00005 нейтральна
5. Бензол кам'яно-вугільний і сланцевий	ГОСТ 9572 – 77 із зміною марка «для синтезу сорт вищий»	1. Щільність при 20 °С г/см ³ 2. Температура кристалізації не нижча °С 3. Масова частка обший сірки 4. Реакція водної витяжки.	0,878-0,88 5,4 0,00005 нейтральна
6. Водень технічний	Регламент цеху оцетової кислоти (к.с. 1070,П4)	1. Об'ємна частка водню % не менше 2. Тиск на вході в цех, МПа	98 2
7. Азото-водородная суміш.	Регламент установки отримання аргону	1. Об'ємна частка водню % не менше 2. Тиск на вході в цех, МПа	91 2
8. Каталізатор нікелевий	Фірма «Энгельгард» В-472А	1. Зміст нікелю % не менше 2. Розмір пігулок довжина, мм. діаметр, мм. 3. «РАВД» г/мл. 4. Бічний опір, Н.	17 5,2 4,93 0,6 59

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2017.007.00.000 ПЗ

Арк.

Продовження таблиці 2.1

9. Каталізатор нікель хромовий	ОСТ – 113– 036 – 314 – 86	1. Зовнішній вигляд 2. Розмір пігулок довжина, мм. діаметр, мм. 3. Масова частка нікелю в перерахунку на суху речовину, % не менше. 4. Насипна щільність г/см ³ не більше. 5. Масова частка хрому В перерахунку на суху речовину	Чорні блискучі Пігулки 5,0±1,0 5,0±1,0 27,0 1,4 12
10. Каталізатор мідний на окислі магнію	ТУ 38.10266 – 76	1. Насипна вага 2. Масова частка вологи % не більше. 3. Масова частка міді % не менше. 4. Масова частка MgO % 5. Сероємність по тиофеновій сірці % не менше. 6. Кількість дифуглированих пігулок	1,3-1,65 3 50 8-11 50 4

3. КОНСТРУКЦІЯ ТА ПРИНЦИП ДІЇ АПАРАТА

Реактор гідрування являє собою зварений циліндричний вертикальний апарат зі знімними верхньою й нижньою еліптичними кришками. Трубний пучок з сталі 09Г2С Ø 38x3 (1015 шт.) розташований між верхніми й нижньою трубними дошками. У трубний пучок вставлено 10 труб Ø 57x3,5 для термопар, що вимірюють температуру по всій висоті трубного пучка. П'ять напівперегородок сприяють більш повному зняттю тепла реакції гідрування.[3]

Щоб уникнути висипання каталізатора із труб до нижньої трубної решітки кріпляться секторні сітки, що демонтуються при вивантаженні каталізатора. Щоб уникнути віднесення верхнього шару каталізатора, верхня частина трубного пучка заповнена напівпорцеляновими кільцями Рашига 10x10 мм.

Матеріал обичайки реактора - сталь 20К, днищ - сталь 20К, фланців - сталь 20К, трубних решіток - сталь 09Г2С.

Суміш бензолу й водню подається зверху в трубний простір на каталізатор, де й відбувається гідрування. Циклогексан, що утворився, виводиться через штуцера в нижній кришці. Так як реакція йде з виділенням тепла, то для поглинання надлишкового тепла в міжтрубний простір подається конденсат, що відбирає частину тепла, випаровується й виводиться через штуцера у верхній частині трубного пучка.

Вхід і вихід реакційної суміші через штуцер Ду-200 у верхній і нижній кришках. Вхід конденсату для зняття тепла реакції через нижні штуцера Ду-200 обичайки, вихід пароводяної суміші через верхні штуцери Ду-250 обичайки.

Зовні апарат покритий шаром теплоізоляції й озожушен.

Апарат призначений для проведення реакції гідрування бензолу з одержанням кінцевого продукту - циклогексану.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Матеріали, призначені для виготовлення вузлів деталей апарата повинні задовольняти комплексу вимог, обумовлених конструкцією, технологією обробки й експлуатацією апарата.

- достатня корозійна стійкість в агресивному середовищі при заданій концентрації, температурі і тиску, визначена швидкістю проникнення корозії, а також жаростійкість і стійкість проти можливих видів корозійного руйнування;

- достатня механічна міцність при заданому тиску і температурі з урахуванням специфічних вимог, що пред'являються при випробуванні і експлуатації устаткування;

- здатність матеріалу зварюватися із забезпеченням високих механічних властивостей і корозійної стійкості зварних з'єднань, можливість обробки матеріалу різанням, тиском, а також термічної обробки.

При виборі матеріалів для апаратів, що працюють під тиском при високих температурах, необхідно враховувати, що механічні властивості матеріалів істотно змінюються залежно від температури. Як правило, міцнісні властивості металів і сплавів підвищуються при низьких температурах і знижуються при високих. Пониження міцнісних властивостей при високих температурах обумовлене такими, що відбуваються в металі структурними і фазовими перетвореннями.

Для кожуха та кришок реактора застосовують вуглецеву сталь 20К ГОСТ 1050-88.

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0.16	0.24 - 0.15	0.3 - 0.35	до 0.3	до 0.04	до 0.04	до 0.3	до 0.3	до 0.08

Ця сталь має досить гарні механічні властивості $\sigma_a = 37 - 40 \text{ кгс/м}^2$, $\hat{A} = 22 - 24 \text{ кгс/м}^2$, а також гарні корозійні властивості. Ще одна перевага перед іншими видами стали - її доступність і досить низька ціна.

					2017.007.00.000 ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Для теплообмінних труб і трубних решіток приймаємо сталь 09Г2С ГОСТ 5520-79.

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
до 0.12	0.5 - 0.8	1.3 - 1.7	до 0.3	до 0.04	до 0.035	до 0.3	до 0.008	до 0.3	до 0.08

Ця сталь має досить гарними механічними й корозійностійкими властивості, а також може бути використана при температурах 90 – 400 °С, що задовольняє технологічному процесу.

Матеріал фланців – сталь 20 ГОСТ 1050-88.

Для виготовлення шпильок приймаємо сталь конструкційну леговану хромисту марки 40Х ГОСТ 1050-88.

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0.36 - 0.44	0.17 - 0.37	0.5 - 0.8	до 0.3	до 0.035	до 0.035	0.8 - 1.1	до 0.3

Хром (Cr) - робить сталь стійкою проти корозії і окислення, зменшує схильність до ломкого руйнування. Хромиста сталь має підвищену стійкість проти відпуску. Хром підвищує дозакалювання сталі, сприяє отриманню високої і рівномірної твердості, забезпечує підвищену зносостійкість.

Нікель (Ni) - знижує критичну швидкість охолодження сталі і підвищує дозакалювання сталі, в сталях, що відпалюють, трохи підвищує міцність. Сильно зменшує схильність до ломкого руйнування загартованої і відпущеної сталі при кімнатній і знижених температурах. Підвищує опір стали окисленню при нагріванні і її міцність при підвищених температурах. Нікель забезпечує отримання високої пластичності і в'язкості одночасно з підвищеною міцністю.

Спільна дія хрому і нікелю ефективніше і дає можливість більш повно використовувати переваги обох елементів.

Титан (Ti) - вводить в неіржавіючих сталі, як стабілізуючий елемент.

					2017.007.00.000 ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Марганець - найдешевший і доступний легуючий елемент. Він додається в сталь для її розкислення і усуває шкідливий вплив сірки і підвищує її пружність, але при цьому не зменшуючи теплопровідність.

Кремній дешевий і доступний легуючий елемент. При вмісті до 1% кремнію в сталі збільшується її міцність. При більшому вмісті кремнію вона стає крихкою. Даний елемент підвищує її жаростійкість і збільшує електричний опір.

Матеріал прокладок фланцевих з'єднань трубопроводів приймаємо якісний паронит марки ПМБ.

Пароніт - це листовий матеріал, виготовлений на паронітових вальцях з суміші волокон хризотилового азбесту, синтетичного каучуку, наповнювачів і вулканізуючий групи. Азбестові прокладочні матеріали типу пароніт застосовують в хімічній і нафтохімічній промисловості, в машинобудуванні, металургії і металообробці, електротехніці та електроенергетиці для забезпечення необхідної герметичності з'єднань різного типу в умовах дії агресивних середовищ, високих температур і тиску. Пароніт буває загального призначення і маслобензостойкий.

Парний ПМБ (маслобензостойкий) застосовується в якості матеріалу прокладки. Матеріал дозволяє виготовляти прокладки різних форм і розмірів. Це універсальний ущільнювач плоских роз'ємів нерухомих з'єднань трубопроводів, компресорів, насосів та судин. У робочому середовищі пароніт ПМБ гарантує відмінну герметичність з'єднань.

Маслобензостойкий пароніт використовується в умовах таких середовищ: легкі і важкі нафтопродукти, розплав воску, масляні фракції, газоподібні і зріджені вуглеці С1-С15, коксовий газ, розсоли, азот і газоподібний кисень. Необхідна температура експлуатації в межах від -40 - +490 градусів при щільності 1,5 - 2,0 г/см³.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ПАРАМЕТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ АПАРАТА

5.1 Матеріальний баланс

Вихідні дані:

1. Продуктивність 97 000 т/рік
2. Річний фонд робочого часу 8000 год;
3. Склад технічного бензолу (ω_i , %) :
 $C_6H_6 - 99,91$; $C_6H_5CH_3 - 0,03$; $C_6H_{11}CH_3 - 0,03$;
 $C_5H_9CH_3 - 0,02$; $C_7H_{16} - 0,01$;
4. Витрати циклогексану з продувочними та танковими газами 0,2%;
5. Об'ємне співвідношення компонентів на вході в реакторі першого ступеню
 $H_2 : N_2 : C_6H_6 = 5,5 : 2,5 : 1,0$;
6. Час на перезавантаження каталізатора 760 г/рік
7. Об'ємна швидкість газів 0,6 л/год.
8. Температура уведення газів у реактор 130 – 140°C
9. Температура гідрування 180 – 200°C
10. Температура конденсації 35°C;
11. Тепловий ефект гідрування 2560 кДж/кг бензолу
12. Ступень конверсії бензолу в циклогексан, %:
в реактор першого ступеню (уточнюється розрахунком) 90-95;
13. З'єднання циркуляційного газу $H_2 - 50\%$,
 $N_2 - 50\%$
14. Тиск у системі 1,8 МПа
15. Тиск в сепараторі С1 1,7 МПа
15. Коефіцієнт розчинності

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- водню в реакційній суміші при 35 °С 0,12
 нм³/т. атм.

- азоту в реакційній суміші при 35 °С 0,25
 нм³/т. атм.

Процес виробництва циклогексану - безперервний. Звідси річний фонд робочого часу:

$$365 \cdot 24 - 760 = 8000 \text{ год/рік};$$

Річний фонд робочого часу виробництва при простою в ремонті:

$$365 \cdot 24 - 888 = 7872 \text{ год/рік};$$

Годинна продуктивність по циклогексану з урахуванням 0,2% втрат:

$$(97000 \cdot 1000 / 8000) \cdot 1,002 = 12149,25 \text{ кг/год};$$

$$\text{або } 12149,25 \cdot 22,4 / 84 = 3239,8 \text{ м}^3/\text{год};$$

По рівнянню реакції $C_6H_6 + 3H_2 \rightarrow C_6H_{12}$ витрачається:

$$\text{бензолу: } 3239,8 \text{ м}^3/\text{год або } 11281,45 \text{ кг/год};$$

$$\text{водню: } 3 \cdot 3239,8 = 9719,4 \text{ м}^3/\text{ч или } 867,80 \text{ кг/год};$$

Витрата технічного бензолу:

$$11281,45 \cdot 100 / 99,91 = 11291,61 \text{ кг/год};$$

Таблиця 5.1 Склад технічного бензолу по компонентам:

	C ₆ H ₆	C ₆ H ₅ CH ₃	C ₆ H ₁₁ CH ₃	C ₅ H ₉ CH ₃	C ₇ H ₁₆	Сума
ω _i , %)	99,91	0,03	0,03	0,02	0,01	100
m _τ , кг/год	11281,45	3,39	3,39	2,25	1,13	11291,61
N _i , кг/кмоль	78	92	98	84	100	—
V _τ , м ³ /год	3239,80	0,82	0,77	0,61	0,25	3242,25

Відповідно до заданого об'ємного відношення компонентів [(H₂+N₂)/C₆H₆ = 8; H₂ : N₂ : C₆H₆ = 5,5:2,5:1] у реактор першого ступеню.

подають:

$$\text{водню: } 5,5 \cdot 3239,8 = 17818,9 \text{ м}^3/\text{год};$$

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2017.007.00.000 ПЗ					

азоту: $2,5 \cdot 3239,8 = 8099,5 \text{ м}^3/\text{год}$;

залишається водню в циркуляційному газі після реактора першого ступеню:

$$17818,9 - 9719,4 = 8099,5 \text{ м}^3/\text{год};$$

Виходить після реактора азотоводневої суміші:

$$8099,5 + 8099,5 = 16199 \text{ м}^3/\text{год};$$

Визначаємо об'ємну частку циклогексану в циркуляційному газі з урахуванням часткової конденсації циклогексану з газової суміші. Тиск насиченої пари циклогексану при 35°C становить $p_{\text{п}} = 24,6 \cdot 10^3 \text{ Па}$. При тиску газової суміші в сепараторі $p_{\text{см}} = 18 \cdot 10^5 \text{ Па}$ об'ємна частка циклогексану в циркуляційному газі:

$$\varphi = (p_{\text{п}} / p_{\text{см}}) \cdot 100 = [24600/1800000] \cdot 100 = 1,37 \%$$

Зневажаючи для спрощення розрахунку розчинністю азоту й водню в циклогексані, знаходимо кількість циклогексану в газовій суміші на вході в реактор першого ступеню:

$$8099,5 \cdot 1,37 / (100 - 1,37) = 224,45 \text{ м}^3/\text{год} \text{ або } 841,70 \text{ кг/год};$$

Склад газової суміші на вході в реактор I ступеня визначаємо підсумовуючи кількість компонентів в потоці та розраховуємо кількість циклогексану, водню та азоту. Органічні сполуки в технічному бензолі в кількості:

$$0,82 + 0,77 + 0,61 + 0,25 = 2,45 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$\text{або } 3,39 + 3,39 + 2,25 + 1,13 = 10,16 \text{ кг/год};$$

у подальших розрахунках об'єднані під загальною назвою „домішки”.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2- Склад газової суміші на вході в реактор I ступеню.

	C_6H_6	C_6H_{12}	H_2	N_2	Домішки	Σ
V_{τ} , м ³ /год	3239.80	224.45	17818.90	8099.50	2.45	29385.11
φ_i , %	11.03	0.76	60.64	27.56	0.01	100
m_{τ} , кг/год	11281.45	841.70	1590.97	10124.38	10.16	23848.66
W_i , %	47.30	3.53	6.67	42.45	0.04	100

Приймаємо, що ступінь конверсії бензолу в реакторі першого ступеню дорівнює 0,93, отже, реагує:

$$\text{бензолу: } 3239,8 \cdot 0,93 = 3013 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$\text{водню: } 3013 \cdot 3 = 9039 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$\text{Утвориться циклогексану: } 3013 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Таблиця 5.3- Склад газової суміші на виході із реактора I ступеню

	V_{τ} , м ³ /год	φ_i , %
C_6H_6	226.79	1.11
C_6H_{12}	3237.47	15.91
H_2	8779.86	43.15
N_2	8099.50	39.81
Домішки	2.45	0.01
Σ	20346.07	100

З метою уточнити ступінь конверсії, розраховуємо константу рівноваги реакції добування циклогексану[22]:

Визначаємо константу рівноваги K_p при температурі

$$T = 180 + 273 = 453 \text{ }^\circ\text{K};$$

за емпіричним рівнянням

$$\lg K_p = 9590/T - 9,9194 \lg T + 0,002285 T + 8,565;$$

$$\lg K_p = 4.423182;$$

$$K_p = 26496.13;$$

Знаходимо константу рівноваги реакції за значеннями парціальних тисків компонентів.

Парціальний тиск розраховуємо (у МПа) за формулою:

$$P_{\text{п}} = P \cdot Y_{\text{п}};$$

$$P_{\text{п}} = P \cdot X_{\text{п}};$$

$$P_{\text{C}_6\text{H}_6} = 1,9 \cdot 0,0112 = 0.020064;$$

$$P_{\text{C}_6\text{H}_{12}} = 1,9 \cdot 0,1549 = 0.286416;$$

$$P_{\text{H}_2} = 1,9 \cdot 0,4337 = 0.776747;$$

$$K_p = P_{\text{C}_6\text{H}_{12}} / (P_{\text{C}_6\text{H}_6} \cdot P_{\text{H}_2}^3);$$

де - $P_{\text{C}_6\text{H}_{12}}$, $P_{\text{C}_6\text{H}_6}$, P_{H_2} – парціальний тиск, Па;

$$K_p = (0,449267 \cdot 1000) / (0,032486 \cdot 1,257677^3) = 30461.45;$$

де 1000 – коефіцієнт (враховує різницю в одиницях вимірювання тиску: у формулі для розрахунку K_p коефіцієнти рівняння визначені по значенням тиску, виражених в атм.)

Порівнюємо значення K_p , розраховані за значеннями парціальних тисків компонентів

Так як $30461.5 < 26496.128$, то прийнята ступінь конверсії 0.93 занижена.

Приймаємо ступень конверсії бензола 0,932, тоді в реакторі першого ступеню витрачається :

бензолу: $3239.80 \cdot 0.932 = 3019.49 \text{ м}^3/\text{Год};$

водню: $3019.49 \cdot 3 = 9039.042 \text{ м}^3/\text{Год};$

утворюється циклогексану: $3019.49 \text{ м}^3/\text{Год};$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.4- Склад газової суміші на виході із реактору I ступеню

	C ₆ H ₆	C ₆ H ₁₂	H ₂	N ₂	Домішки	Σ
V _т , м ³ /год	220.31	3243.95	8779.86	8099.50	2.45	20346.07
φ _i , %	1.08	15.94	43.15	39.81	0.01	100
m _т , кг/год	767.14	12164.80	783.92	10124.38	10.16	23850.39
W _i , %	3.22	51.00	3.29	42.45	0.04	100

Розраховуємо парціальний тиск компонентів у МПа:

$$P_{C_6H_6} = 1,9 \cdot 0,0108 = 0.01949;$$

$$P_{C_6H_{12}} = 1,9 \cdot 0,1583 = 0.286989;$$

$$P_{H_2} = 2,9 \cdot 0,4321 = 0.776747;$$

Константа рівноваги:

$$K_p = (0,472471 \cdot 1000) / (0,009282 \cdot 1,25767^3) = 31420.14;$$

В реакторі II ступеня реагує 220.31 м³/год бензолу, витрачається $3 \cdot 220.31 = 660.93$ м³/год водню та утворюється 220.31 м³/год циклогексану;

залишається $8779,86 - 660,92 = 8118.94$ м³/год водню.

Кількість циклогексану на виході з реактору II ступеню:

$$3243,95 + 220,31 = 3464.26 \text{ м}^3/\text{год};$$

Кількість газової суміші на виході з реактору II ступеню:

$$3464,24 + 8118,94 + 8099,5 + 2,45 = 19685.15 \text{ м}^3/\text{год};$$

Витрати циклогексану з віддувочними та танковими газами складає 0.2% або $3239,80 \cdot 0,002 = 6.48$ м³/год, повертається в реактор I ступеню 224.45 м³/год циклогексану.

Кількість циклогексану, який конденсується в сепараторі С1:

$$3464,26 - 6,48 - 224,45 = 3233.32 \text{ м}^3/\text{год} \text{ або } 12124.95 \text{ кг/год};$$

Розчинність компонентів газу в циклогексані при температурі 35°C та тиску 10⁵Па:

					2017.007.00.000 ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$H_2 - 0,12 \text{ м}^3/\text{т},$$

$$N_2 = 0,25 \text{ м}^3/\text{т};$$

В циклогексані при тиску $17 \cdot 10^5 \text{ Па}$ розчиняється:

$$\text{водню: } 0,12 \cdot 17 \cdot (12124,95/1000) = 24,73 \text{ м}^3/\text{год} \text{ або } 2,21 \text{ кг/год};$$

$$\text{азоту: } 0,25 \cdot 17 \cdot (12124,95/1000) = 51,53 \text{ м}^3/\text{год} \text{ або } 64,41 \text{ кг/год};$$

Всього з сепаратору С1 виходить рідкої фази:

$$3233,32 + 24,73 + 51,53 + 2,45 = 3312,04 \text{ м}^3/\text{год};$$

Розраховуємо склад газової суміші після сепаратору С1:

Таблиця 5.5- Склад газової суміші після сепаратору С1.

	$V_{\tau}, \text{ м}^3/\text{год}$	$\varphi_i, \%$
C_6H_{12}	230.94	1.41
H_2	8094.21	49.44
N_2	8047.97	49.15
Σ	16373.12	100

Таблиця 5.6- Склад віддувочних газів

	$V_{\tau}, \text{ м}^3/\text{год}$
1	2
C_6H_{12}	6.48
H_2	198.30
N_2	225.88
Σ	430.66

Таблиця 5.7- Склад циркуляційного газу

	$V_{\tau}, \text{ м}^3/\text{год}$
C_6H_{12}	224.45
H_2	7914.16
N_2	7867.14
Σ	16005.75

Витрати свіжої азотоводневої суміші повинні компенсувати витрати водню на реакцію гідрування, витрати азотоводневої суміші при продувці та на розчинення в циклогексані.

Таблиця 5.8- Склад азотоводневої суміші

	$V_{\tau}, \text{ м}^3/\text{год}$
H_2	9942.43
N_2	277.41
Σ	10219.84

Продувочні гази охолоджуються в холодильнику при температурі 10 °С.

Парціальний тиск пари циклогексану при цій температурі $6,33 \cdot 10^3 \text{ Па}$, що після холодильника складає:

$$[6,33 \cdot 10^3 / (27 \cdot 10^5)] \cdot 100 = 0.23 \%$$

Кількість водню та азоту у віддувочних газах:

$$430,66 - 6,48 = 424,18 \text{ м}^3/\text{год};$$

Кількість циклогексану у віддувочних газах після холодильника та сепаратора складає:

$$424,18 \cdot 0,23 / (100 - 0,23) = 1,0 \text{ м}^3/\text{год} \text{ або } 3,75 \text{ кг/год};$$

Кількість циклогексану, що поступає з сепаратору в збірник:

$$6,48 - 1,0 = 5,48 \text{ м}^3/\text{год} \text{ або } 20,55 \text{ кг/год};$$

скидають на факел газу: $424,18 + 1,0 = 425,18 \text{ м}^3/\text{год}$.

Розчинені в циклогексані водень та азот відділяються при дроселюванні газу до тиску $3,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Утворюються танкові гази в яких об'ємна доля циклогексану складає:

$$(24,6 \cdot 10^3 / 3,0 \cdot 10^5) \cdot 100 = 8,2 \%$$

Кількість циклогексану в танкових газах розраховуємо так, як і його кількість у дроселюючих газах:

$$(22,71 + 47,31) \cdot 8,2 / (100 - 8,2) = 6,25 \text{ м}^3/\text{год} \text{ або } 23,44 \text{ кг/год};$$

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

2017.007.00.000 ПЗ

де: 22,71 та 47,31 – кількість водню та азоту, розчинених в циклогексані, м³/год.

Кількість танкових газів:

$$22,71 + 47,31 + 6,25 = 82,51 \text{ м}^3/\text{год};$$

Загальні витрати циклогексану складають:

$$(12124,95+3,75+5,48) \cdot 0,002 = 24,27 \text{ кг/год};$$

Втрати з газами дроселювання 3.74 кг/год, звідси з газами дроселювання після їх охолодження в холодильнику конденсується:

$$24,27-3,75 = 20.52 \text{ кг/год або } 5.48 \text{ м}^3/\text{год};$$

Повертається у збірник:

$$23,44 - 20,52 = 2,92 \text{ кг/год або } 6,25-5,48 = 0,77 \text{ м}^3/\text{год};$$

Скидають у атмосферу після холодильнику:

$$82,51-0,77 = 81,74 \text{ м}^3/\text{год};$$

Скидають на факел газу:

$$425,18+81,74 = 506,92 \text{ м}^3/\text{год};$$

Складаємо матеріальний баланс вироблення циклогексану.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.9- Матеріальний баланс відділення гідрування

Заходить	м ³ /ГОД	кг/ГОД	Виходить	м ³ /ГОД	кг/ГОД
1	2	3	4	5	6
бензол	3239.80	11281.45	циклогексан	3233.32	12124.95
толуол	0.82	3.39	толуол	0.82	3.39
C ₆ H ₁₁ -CH ₃	0.77	3.39	C ₆ H ₁₁ -CH ₃	0.77	3.39
C ₅ H ₉ -CH ₃	0.61	2.25	C ₅ H ₉ -CH ₃	0.61	2.25
C ₇ H ₁₆	0.25	1.13	C ₇ H ₁₆	0.25	1.13
Всього	3242.25	11291.61	Всього	3235.77	12135.11
азотоводнева суміш:			Віддувочні газ:		
азот	277.41	346.68	циклогексан	1.00	3.74
водень	9942.43	887.71	азот	225.88	282.27
			водень	198.30	17.70
Всього	10219.84	1234.39	Всього	425.18	303.72
циркуляційний газ:			танкові газ:		
циклогексан	224.45	841.70	циклогексан	5.48	20.52
азот	7867.14	9834.01	азот	51.53	64.41
водень	7914.16	706.63	водень	24.73	2.21
Всього	16005.75	11382.34	Всього	81.75	87.14
			циркуляційний газ:		
			циклогексан	224.45	841.70
			азот	7867.14	9834.01
			водень	7914.16	706.63
			Всього	16005.75	11382.34
Всього	29467.84	23908.34	Всього	19748.45	23908.34

Розрахунок основних витратних коефіцієнт на одиницю виробленої продукції:

Витратні коефіцієнти розраховано по даним таблиці 5.9.

Витратні коефіцієнти:

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

2017.007.00.000 ПЗ

по технічному бензолу:

$$\frac{11291,61}{12124,95} = 0,931 \text{ кг/кг};$$

по азот – водневій суміші:

$$\frac{10219,84}{12,124} = 843 \text{ м}^3/\text{т};$$

5.2 Тепловий розрахунок і тепловий баланс

Ціль розрахунку - визначення теплового навантаження реактора й витрати теплоносія (парового конденсату) у міжтрубному просторі.

Таблиця 5.10

Температура на вході у реактор	135°C
Температура на виході з реактору	180°C

Рівняння теплового балансу реактору у загальному виді:

$$\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_3 + \Phi_4 + \Phi_{\text{витрати}};$$

де Φ_1 , Φ_3 – теплові потоки газової суміші на вході в реактор та на виході з реактору, кВт;

Φ_2 – теплота екзотермічної реакції, кВт;

Φ_4 – теплота, яка віддається конденсатом, кВт;

$\Phi_{\text{витрати}}$ – тепловтрати у навколишнє середовище, кВт.

Визначаємо значення Φ_1 та Φ_2 , але спочатку розраховуємо середні об'ємні теплоємності газової суміші на вході в реактор, та на виході з нього.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.11- Середні об'ємні теплоємності газової суміші.

Компонент	T= 408 К			T= 453 К		
	φ_i %	$C_i, \text{Дж}/$ (моль·К)	$(C_i \cdot \varphi_i)/$ (22,4·100)	φ_i %	$C_i, \text{Дж}/$ (моль·К)	$(C_i \cdot \varphi_i)$ /(22,4·100)
C ₆ H ₆	1.09	125.3	0.0612436	0.00	125.3	0
C ₆ H ₁₂	15.94	172.33	1.2266092	17.52	172.33	1.347867
H ₂	43.15	29	0.5586721	41.24	29	0.533911
N ₂	39.81	29.81	0.5297753	41.24	29.81	0.548823
Σ	100.00	-	2.3763003	100.00	-	2.430601

Тепловий потік газової суміші на вході в реактор:

$$\Phi_1 = (29467,84 / (2 \cdot 3600)) \cdot 2,376 \cdot 135 = 1312,8 \text{ кВт};$$

Визначаємо теплоту реакції гідрування бензолу:

$$\Delta H_{298}^0 = \Sigma \Delta H_{298}^0 (\text{кінцеве}) - \Sigma \Delta H_{298}^0 (\text{початкове});$$

$$\Delta H_{298}^0 = -123,14 - 82,93 = -206,07 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta_r = 206,07 \text{ кДж/моль};$$

Визначаємо кількість теплоти, яка виділяється за рахунок екзотермічної реакції:

$$\Phi_2 = ((12124,95 - 841,70) / (2 \cdot 3600 \cdot 84)) \cdot 206,07 \cdot 10^3 = 3884,48 \text{ кВт};$$

Тепловий потік газової суміші на виході з реактору

$$\Phi_3 = (19748,45 / (2 \cdot 3600)) \cdot 2,43 \cdot 180 = 1199,7 \text{ кВт};$$

Приймаємо, що тепловитрати у навколишнє середовище дорівнюють 5 % від загального приходу теплоти:

$$\Phi_{\text{витрат}} = (1312,8 + 3884,48) \cdot 0,05 = 259,86 \text{ кВт};$$

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

2017.007.00.000 ПЗ

Тепло, яке само поглинається у ході реакції розраховується з загального рівняння теплового балансу:

$$\Phi_4 = 1312,8 + 3884,48 - 1199,7 - 259,86 = 3737,72 \text{ кВт};$$

Приймають, що К.К.Д. процесу теплообміну 0,9 та визначаємо кількість утвореного вторинного водяного пара у міжтрубному просторі реактора першого ступеня:

$$m_n = \frac{3737,72}{2095} = 1,784;$$

де 2095 – питома теплота пароутворення при 0,6 МПа и 158⁰С, кДж/к;

Таблиця 5.12- Тепловий баланс реактору I ступеню.

Прихід	кВт	%	Витрата	кВт	%
1	2	3	4	5	6
Тепловий потік газової суміші	1312,80	25,26	Тепловий потік газової суміші	1199,7	23,1
Теплота екзотермічної реакції	3884,48	74,74	Тепло, яке самопоглинається	3737,72	71,9
			Тепловитрати у навколишнє середовище	259,86	5,00
Σ	5197,28	100	Σ	5197,28	100

5.3 Технологічний розрахунок основного обладнання

Мета розрахунку – виконання перевірного розрахунку площі поверхні теплопередачі реактора.

Площа поверхні теплопередачі визначається по формулі

$$F_a = \varphi_a / (K \cdot \Delta T_{cp});$$

Теплове навантаження апарата визначена в тепловому розрахунку

$$\Phi_a = \Phi_4 = 3737,72;$$

Середня різниця температур між газовою сумішю і паровим конденсатом

$$\Delta T_{cp} = 180 - 158 = 22 \text{ }^0\text{C}; \Delta T_{cp} = 22 \text{ }^0\text{C};$$

Витрата газової суміші:

$$G_m = \frac{\Phi_4}{C} \cdot \Delta T;$$

$$G_m = \frac{3737720}{2370} \cdot 22 = 34696,1 \text{ м}^3/\text{Г};$$

Коефіцієнт теплопередачі визначається за формулою

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \Sigma \chi_{cm} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

де α_1 – середній коефіцієнт тепловіддачі от газової суміші до стінки труби, Вт/(м² · К);

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до киплячого конденсату, Вт/(м² · К).

Середній коефіцієнт тепловіддачі від газової суміші до стінки труби визначаються за формулою

$$\alpha_1 = N_{и} \cdot \pi_{cm} / d;$$

Розрахуємо теплофізичні параметри газової суміші при 180⁰С (453 К):

Щільність газової суміші при 101325 Па та 0⁰С :

$$\rho_{cm}^0 = m_r / V_r = \frac{23908,34}{19748,45} = 1,21 \text{ кг/м}^3;$$

Щільність газової суміші при 454 К та 1,8 МПа:

$$\rho_{cm} = 1,21 \left[\frac{(273 \cdot 1,8 \cdot 10^6)}{(453 \cdot 101325)} \right] = 12,95 \text{ кг/м}^3$$

Середня питома теплоємність газової суміші:

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{\text{см}} = \frac{2370}{1,21} = 1958,68 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К};$$

де 2370 – середня об'єму теплоємність газової суміші при 180⁰С, Дж/(м³ · К).

Динамічна в'язкість газової суміші визначається по формулі

Таблиця 5.13 - Розрахунок динамічної в'язкості газової суміші

	Сума	C ₆ H ₆	C ₆ H ₁₂	H ₂	N ₂
φ _i , %	100	1,09	15,84	43,16	39,9
μ, кг/кмоль	—	78	84	2	28
φ _i · M/100	26,191	0,85	13,306	0,863	11,172
μ _i · 10 ⁷ , Па · С	—	116	105	117	238
(φ _i μ _i / 100 M _i) 10 ⁻⁷					
Па · С ⁻¹	0.1884	0,0074	0,1267	0,0074	0,0469

$$\mu_{\text{см}} = \left(\frac{26,191}{0,1884} \right) \cdot 10^{-7} = 139,039 \cdot 10^{-7} \text{ Па} \cdot \text{С};$$

Приймаємо значення критерія Прандтля для двоатомних газів ρ_r = 0,72, тоді теплопровідність суміші дорівнює [12]:

$$\pi_{\text{см}} = C_{\text{см}} \cdot \mu_{\text{см}} / \rho_r = \frac{2026,065 \cdot 139,039 \cdot 10^{-7}}{0,72} = 0,039 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)};$$

Об'ємний расход газової суміші при 453 К и 1,9 МПа:

$$V_r = \left[\frac{19748,45}{3 \cdot 3600} \right] \cdot \left[\frac{453 \cdot 101325}{273 \cdot 180000} \right] = 0,17 \text{ м}^3 / \text{с};$$

Площа сечіння трубного простору реактора:

$$S_{\text{тр}} = 0,785 d^2 n = 0,785 \cdot 0,032^2 \cdot 1010 = 0,8118 \text{ м}^2 ,$$

де d – внутрішній діаметр, мм;

n – число труб.

Фіктивна швидкість газової суміші у сечінні трубного простору реактора:

$$\omega_0 = V_r / S_{\text{тр}} = \frac{0,17}{0,8118} = 0,138 \text{ м/с};$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

2017.007.00.000 ПЗ

Критерій Рейнольдса при русі газу в трубному просторі через нерухомий шар катализатора [7]:

$$Re = \omega_0 \cdot d_r \cdot \rho_{cm} / \mu_{cm};$$

Діаметр шарообразних частиц d_r приймаємо рівними діаметру шара, площа поверхні якого дорівнює площі поверхні частинці циліндричної форми ($d^l = 4$ мм, $h = 6$ мм):

$$Fr = \pi d^l \left(\frac{n + d^l}{2} \right) = 3,14 \cdot 0,004 \left(\frac{0,006 + 0,004}{2} \right) = 0,0001 \text{ м}^2;$$

Діаметр частинці:

$$d_r = \sqrt{\frac{Fr}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,0001}{3,14}} = 0,0056 \text{ м};$$

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{0,186 \cdot 0,0056 \cdot 12,95}{139,04 \cdot 10^{-7}} = 970,286;$$

Критерій Нуссельта:

$$Nu = \frac{0,813 Re^{0,9}}{e^{6dr/d}} = \frac{0,813 \cdot 970,286^{0,9}}{2,72^{6 \cdot 0,0056 / 0,032}} = 275,82;$$

де d – діаметр труби, м.

Середній коефіцієнт тепловіддачі від газової суміші до стінки труби:

$$\alpha_1 = \frac{275,82 \cdot 2,7 \cdot 10^{-2}}{0,032} = 232,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до газової суміші визначаються по формулі:

$$\alpha_2 = 6,83 \cdot \varepsilon \cdot \rho^{0,4} \cdot \varphi^{0,7} = 6,83 \cdot 1 \cdot 0,6^{0,4} \cdot \varphi^{0,7} = 5,574 \cdot \varphi^{0,7},$$

де ε – коефіцієнт, враховуючий фізичні властивості рідини, для киплячої води $\varepsilon = 1$;

ρ – тиск в системі, МПа;

φ – поверхнева щільність теплового потоку, Вт/м²

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сума термічного опіру стінки з урахуванням шарів забрудненої з обох сторін:

$$\Sigma r_{ст} = r_1 + r_2 + r_3 = 0,00043 \text{ Вт}/(\text{ м}^2 \cdot \text{ К});$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \left(\frac{1}{232,7} + 0,00043 + \frac{1}{5,57\varphi^{0,7}} \right)^{-1} = (0,0043 + 0,00043 + 0,1795\varphi^{0,7}) = 0,00473 + 0,1795\varphi^{0,7} \text{ Вт}/\text{ м}^2\text{ К};$$

Визначають поверхневу щільність теплового потоку ($\varphi = \Phi_a/F$) з рівняння:

$$\varphi = K \cdot \Delta T_{ср} = \frac{22}{(0,00473 + 0,1795\varphi^{0,7})};$$

звідки $0,00473 + 0,1795 \cdot \varphi^{0,7} - 22 = 0$

Отримане рівняння розв'яжемо графічно (рис. 2)

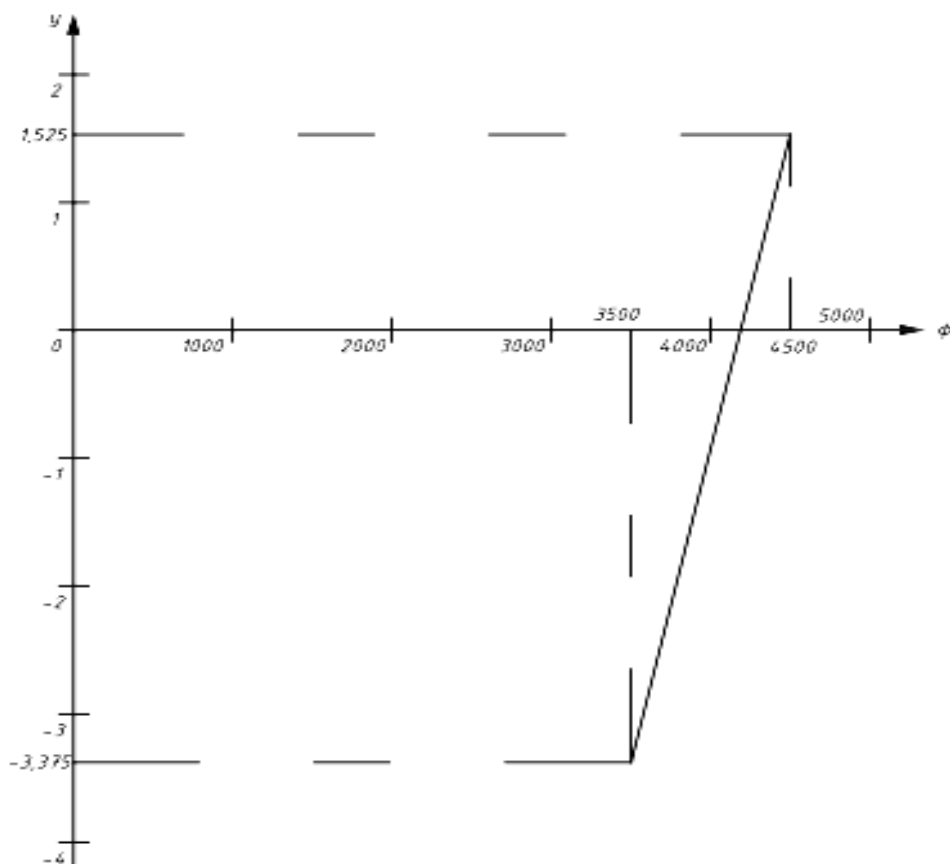


Рисунок 2 –графічне визначення функції $y = f(\varphi)$

Задаючись значенням поверхневої щільності теплового потоку від 3500 до 4500 Вт/м², будують графік функції $y = f(\varphi)$ (при $\varphi_1 = 3500$ $y_1 = -3,375$; $\varphi_2 = 4500$ $y_2 = 1,525$) та визначають значення φ , при якому $y = 0$:

$$\varphi = 4190 \text{ Вт/м}^2$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \varphi / \Delta T_{\text{cp}} = \frac{4190}{22} = 190,45 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

Необхідна площа поверхні теплопередачі:

$$F_a = \frac{3737720}{4190} = 892 \text{ м}^2;$$

Запас площі поверхні теплопередачі апарату:

$$\frac{(1113,6 - 892) \cdot 100}{892} = 24,84\%$$

Площа поверхні трубчастого реактора достатня.

5.4 Гідравлічний розрахунок

Діаметр штуцерів розраховується по формулі:

$$d = \sqrt{\frac{G}{0,785w\rho}},$$

де G – масова витрата потоку, кг/с;

ρ - щільність потоку, кг/м³;

w - швидкість руху потоку в штуцері, м/с.

Приймаємо швидкість рідини в штуцері $w = 2$ м/с, а для газової суміші $w = 50$ м/с;

Тоді діаметр штуцера для входу й виходу реакційної суміші:

$$d = \sqrt{\frac{29467,84/4}{0,785 \cdot 50 \cdot 1,215 \cdot 3600}} = 0,207 \text{ м},$$

Приймаємо стандартний розмір труби для виготовлення штуцера: 219x6 мм.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діаметр штуцера для входу й виходу теплоносія:

$$d = \sqrt{\frac{34696,1}{0,785 \cdot 2 \cdot 0,778}} = 0,168 \text{ м,}$$

Приймаємо стандартний розмір труби для виготовлення штуцера:
219х6 мм.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ, ЖОРСТКІСТЬ І СТІЙКІСТЬ

6.1. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ

6.1.1 Розрахункова температура

Робоча температура в реакторі, що відповідає оптимальній температурі проведення контрольованої реакції становить у трубному просторі 250°C, у міжтрубному просторі (кожусі) - 200°C.

За розрахункову температуру в міжтрубному просторі приймаємо найбільше значення температури стінки кожуха $t_k=200^\circ\text{C}$; у трубному просторі $t_T=250^\circ\text{C}$.

Розрахункову температуру для умов випробування й монтажу приймаємо рівною 20 °C.

6.1.2 Допустимі напруження

Допустимі напруження матеріалу реактора при розрахунковій температурі $[\sigma]$, визначаємо по таблиці А.1 [8].

Для матеріалу кожуха – $[\sigma]_{20} = 147$ МПа; $[\sigma] = 136$ МПа.

для матеріалу труб, розподільних камер і трубних решіток

$[\sigma]_{T20} = 196$ МПа; $[\sigma]_T = 162$ МПа.

6.1.3 Робочий, розрахунковий і пробний тиск

Під робочим тиском реактора варто розуміти максимальний внутрішній надлишковий тиск, що виникає при нормальному протіканні робочого процесу, без урахування гідростатичного тиску середовища й без урахування припустимого короткочасного підвищення тиску під час дії запобіжного клапана.

Для захисту посудин від можливого підвищення тиску вище припустимого вони забезпечуються запобіжними пристроями.

Максимальний робочий тиск в апараті:

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у міжтрубному просторі

$$P_{\text{раб. м. ін}} = 1,6 \text{ МПа};$$

у трубному просторі

$$P_{\text{раб тр. ін}} = 2,5 \text{ МПа};$$

Тиск при повному відкритті запобіжного клапана

$$P_{\text{к}} = 1,15 \cdot P_{\text{раб}}, \quad (6.1)$$

$$P_{\text{к м ін}} = 1,15 \cdot 1,6 = 1,84 \text{ МПа};$$

$$P_{\text{к тр ін}} = 1,15 \cdot 2,5 = 2,875 \text{ МПа};$$

Елементи апарата повинні розраховуватися на тиск, що становить 90% тиску при повному відкритті клапана:

$$P_{\text{р}} = 0,9 \cdot P_{\text{к}}, \quad (6.2)$$

$$P_{\text{р м ін}} = 0,9 \cdot 1,84 = 1,66 \text{ МПа};$$

$$P_{\text{р тр ін}} = 0,9 \cdot 2,875 = 2,59 \text{ МПа};$$

Гідростатичний тиск за умови заповнення апарата середовищем

$$P_{\text{г}} = \rho_{\text{с}} \cdot g \cdot H_{\text{жс}} \cdot 10^{-6} \quad (6.3)$$

де $\rho_{\text{с}}$ – щільність робочого середовища,

$$\rho_{\text{с}} = 880 \text{ кг/м}^3;$$

g – прискорення вільного падіння,

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2;$$

$H_{\text{жс}}$ – висота стовпа рідини в апараті.

Приймаємо максимальну висоту рідини рівною

$$H_{\text{жс}} = 8000 \text{ мм.}$$

$$P_{\text{г}} = 880 \cdot 9,81 \cdot 8 \cdot 10^{-6} = 0,069 \text{ МПа};$$

Перевіряємо умову:

$$P_{\text{г}} > 0,05 \cdot P_{\text{раб}},$$

$$0,05 \cdot P_{\text{раб}} = 0,05 \cdot 2,5 = 0,125 \text{ МПа};$$

Гідростатичний тиск середовища становить не більше 5 % від робочого тиску

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$0,069 \text{ МПа} < 0,125 \text{ МПа};$$

тому визначаємо розрахунковий тиск без урахування гідростатичного тиску, тобто приймаємо

$$P_{m \text{ in}} = P_{p \text{ m in}} = 1,66 \text{ МПа};$$

$$P_{tr \text{ in}} = P_{p \text{ tr in}} = 2,59 \text{ МПа};$$

За розрахунковий тиск приймаємо

$$P_{m \text{ in}} = 1,7 \text{ МПа};$$

$$P_{tr \text{ in}} = 2,6 \text{ МПа};$$

Під пробним тиском в апараті варто розуміти тиск, при якому проводиться випробування апарата на міцність і герметичність. Випробування сталевих зварних посудин повинне проводитися пробним тиском, що визначається по формулі

$$P_{np} = 1,25 \cdot P \cdot [\sigma]_{20} / [\sigma], \quad (6.4)$$

де P – розрахунковий тиск у трубному й міжтрубному просторах відповідно,

$[\sigma]_{20}$ - допустимі напруження, для матеріалу посудини при температурі 20°C,

$[\sigma]$ - допустиме напруження, для матеріалу посудини при розрахунковій температурі.

Пробний тиск для трубного простору

$$P_{np} = 1,25 \cdot 2,6 \cdot 196/162 = 3,93 \text{ МПа};$$

Пробний тиск для міжтрубного простору

$$P_{np} = 1,25 \cdot 1,7 \cdot 147/136 = 2,30 \text{ МПа};$$

Гідростатичний тиск під час випробування реактора у вертикальному положенні, МПа

$$P_e = \rho_e \cdot g \cdot H_e \cdot 10^{-6}, \quad (6.5)$$

де ρ_e – щільність води, кг/м³,

$$\rho_e = 1000 \text{ кг/м}^3;$$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

H_g – висота стовпа води, м.

Для трубного простору $H_g = 8$ м.

$$P_g = 1000 \cdot 9,81 \cdot 8 \cdot 10^{-6} = 0,078 \text{ МПа};$$

$$P_g < 0,05 \cdot P_{np},$$

$$0,05 \cdot P_{np} = 0,05 \cdot 3,93 = 0,197 \text{ МПа};$$

Розрахунковий тиск при гідровипробуванні в трубному просторі

$$P_u = P_g = 3,93 \text{ МПа};$$

Для міжтрубного простору $H_g = 9,04$ м.

$$P_g = 1000 \cdot 9,81 \cdot 9,04 \cdot 10^{-6} = 0,089 \text{ МПа};$$

$$P_g < 0,05 \cdot P_{np},$$

$$0,05 \cdot P_{np} = 0,05 \cdot 2,30 = 0,115 \text{ МПа};$$

Розрахунковий тиск при гідровипробуванні в міжтрубному просторі

$$P_u = P_g = 2,30 \text{ МПа};$$

Перевіряємо умову необхідності розрахунку на міцність в умовах випробування:

$$P_u < 1,35 \cdot P \cdot [\sigma]_{20} / [\sigma], \quad (6.6)$$

Для трубного простору

$$3,93 \text{ МПа} < 1,35 \cdot 2,6 \cdot 196/162 = 4,25 \text{ МПа};$$

Для міжтрубного простору

$$2,30 \text{ МПа} < 1,35 \cdot 1,7 \cdot 147/136 = 2,48 \text{ МПа};$$

Умова (6.6) виконується, отже, розрахунок на міцність в умовах випробування проводити не потрібно.

6.1.4 Коефіцієнт міцності зварних швів

Коефіцієнт міцності зварних швів φ_p приймаємо залежно від групи апарата по методичних вказівках [8].

Для трубного простору при розрахунковому тиску 2,6 МПа й розрахунковій температурі 250°C для вибухо-, пожежонебезпечного середовища – група апарата 1 [8], для міжтрубного простору при

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розрахунковому тиску 1,7 МПа й розрахунковій температурі 200°C для вибухобезпечного, пожежобезпечного середовища група апарата - 3 [8].

Для апаратів 3 групи обсяг зварних з'єднань посудини і їхніх елементів радіографічним методом або ультразвуковою дефектоскопією становить не менш 50 % від загальної довжини швів.

Коефіцієнт міцності зварного шва приймаємо по таблиці 4 [8]. Для стикових або таврових швів із двостороннім суцільним проваром, виконуваних автоматичним і напівавтоматичним зварюванням коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi_{\delta} = 1$.

6.1.5 Збільшення до розрахункових величин конструктивних елементів

При розрахунку посудин і апаратів необхідно враховувати збільшення C к розрахунковим товщинам елементів посудин і апаратів.

Збільшення до розрахункових товщин визначаємо по формулі

$$C = C_1 + C_2, \quad (6.7)$$

де C_1 – збільшення для компенсації корозії й ерозії, мм;

C_2 – збільшення для компенсації мінусового допуску, мм;

Збільшення для компенсації корозії й ерозії приймається з урахуванням умов експлуатації, розрахункового терміну служби, швидкості корозії.

Збільшення C_1 визначаємо по формулі

$$C_1 = P \cdot \tau + C_3, \quad (6.8)$$

де P – швидкість проникнення корозії, мм/рік;

τ - термін служби апарата, років;

C_3 – збільшення для компенсації ерозії, мм.

Збільшення для компенсації корозії прийняті, виходячи з максимально припустимої швидкості проникнення корозії, рівної $P = 0,1$ мм/рік.

Для елементів корпусу, підданих корозії, при терміні служби апарата $\tau = 20$ років збільшення на корозію складе:

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_1 = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ мм};$$

Збільшення C_2 для компенсації мінусового допуску приймаються залежно від товщини листового прокату [8]. Збільшення C_2 ураховуємо в тому випадку, коли її значення перевищує 5 % від номінальної товщини листа.

6.2. РОЗРАХУНОК ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБИЧАЙОК

6.2.1. Розрахунок циліндричної обичайки кожуха (міжтрубний простір)

Циліндрична обичайка є одним з основних елементів хімічних апаратів. Обичайки виготовляються вальцюванням з листового прокату (рис.6.1). Крайки обичайок, що утворюють корпус апарата, з'єднують між собою переважно встик.

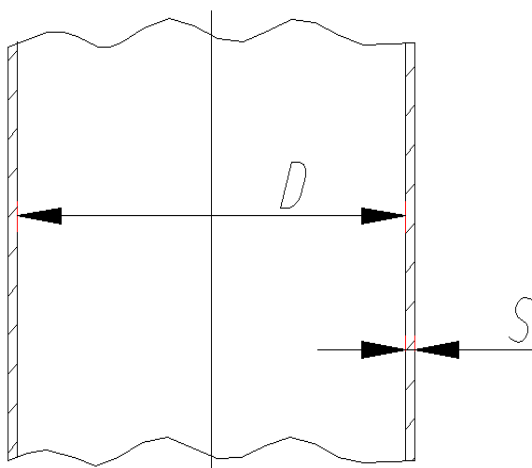


Рис.6.1. Циліндрична обичайка

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха розраховується по формулі

$$S \geq S_p + C, \quad (6.9)$$

де S_p – розрахункова товщина стінки корпусу апарата;

C – сума збільшень до розрахункової товщини.

Товщину стінки обичайки кожуха, мм, що працює під надлишковим внутрішнім тиском, визначаємо по формулі

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P}, \quad (6.10)$$

де P – розрахунковий тиск, МПа;

D – внутрішній діаметр обичайки, мм;

φ_p – коефіцієнт міцності зварного шва.

Розрахункова товщина стінки обичайки:

$$S_p = \frac{1,7 \cdot 1800}{2 \cdot 136 \cdot 1,0 - 1,7} = 11,4 \text{ мм};$$

Суму збільшень до розрахункової товщини

$$C = 2 + 0,8 = 2,8 \text{ мм};$$

Виконавча товщина стінки обичайки

$$S = 11,4 + 2,8 = 14,2 \text{ мм};$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки кожуха: $S = 22$ мм.

Перевірка виконання умови:

$$P \leq [P]; \quad (6.11)$$

Допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S + C)}, \quad (6.12)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 136 \cdot 1 \cdot (22 - 2)}{1800 + (22 - 2)} = 2,9 \text{ МПа},$$

$$1,7 < 2,9 \text{ МПа};$$

Умова виконується.

6.2.2. Розрахунок циліндричної обичайки камери (трубний простір)

Розрахункова товщина стінки обичайки:

$$S_p = \frac{2,6 \cdot 1800}{2 \cdot 162 \cdot 1,0 - 2,6} = 14,6 \text{ мм};$$

Сума збільшень до розрахункової товщини

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C = 2 \text{ мм};$$

Виконавча товщина стінки обичайки

$$S = 14,6 + 2 = 16,6 \text{ мм};$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки камери: $S = 22 \text{ мм}$.

Перевірка виконання умови:

$$P \leq [P];$$

Допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot 162 \cdot 1 \cdot (22 - 2)}{1800 + (22 - 2)} = 3,56 \text{ МПа},$$

$$2,6 < 3,56 \text{ МПа};$$

Умова виконується.

6.3 РОЗРАХУНОК ВИПУКЛИХ ДНИЩ

Днища, так само як і обичайки, є одним з основних елементів хімічних апаратів. Днища розподільних камер являють собою еліптичні відбортовані днища (рис.6.2).

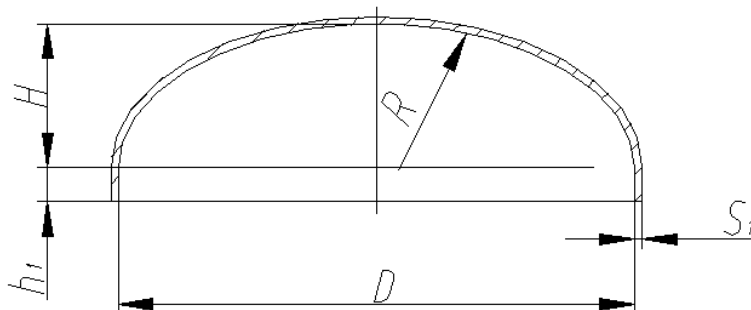


Рис.6.2. Еліптичне днище

Виконавчу товщину стінки еліптичного днища розраховуємо по формулі

$$S_1 \geq S_{1P} + C, \quad (6.13)$$

де S_{1P} – розрахункова товщина стінки днища;

C – сума збільшень до розрахункової товщини.

Товщину стінки днища, мм, що працює під надлишковим внутрішнім тиском, визначаємо по формулі

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{1p} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - 0,5P}, \quad (6.14)$$

де P – розрахунковий тиск, МПа;

D – внутрішній діаметр апарата, мм;

φ_p – коефіцієнт міцності поздовжнього звареного шва.

Розрахункова товщина стінки днища:

$$S_{1p} = \frac{2,6 \cdot 1800}{2 \cdot 162 \cdot 1,0 - 0,5 \cdot 2,6} = 14,5 \text{ мм};$$

Суму збільшень до розрахункової товщини

$$C = C_l = 2 \text{ мм};$$

$$S_l = 14,5 + 2 = 16,5 \text{ мм};$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки днища: $S_l = 22$ мм.

Перевірка виконання умови:

$$P \leq [P].$$

Допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S_l - C)}{R + 0,5 \cdot (S_l + C)}, \quad (6.15)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 162 \cdot 1 \cdot (22 - 2)}{1800 + 0,5(22 - 2)} = 3,56 \text{ МПа},$$

$$2,7 < 3,56 \text{ МПа};$$

Умова виконується.

6.4. ЗМІЦНЕННЯ ОТВОРІВ

6.4.1. Розрахунок зміцнення отворів в обичайці кожуха

Розрахунковий діаметр одиночного отвору d_0 , що не вимагає додаткового зміцнення, при надлишковій товщині стінки посудини:

$$d_0 = 2 \left(\frac{S - C}{S_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)}, \quad (6.16)$$

де $S = 22$ мм – виконавча товщина обичайки кожуха;

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$S_p = 11,4$ мм – розрахункова товщина обичайки кожуха;

$D_p = D = 1800$ мм – розрахунковий діаметр.

$$d_0 = 2 \left(\frac{22 - 2}{11,4} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1800 \cdot (22 - 2)} = 366,8 \text{ мм};$$

Отвір не вимагає додаткового зміцнення, якщо виконується умова

$$d_p \leq d_0, \quad (6.17)$$

де d_p – розрахунковий діаметр отвору в стінці обичайки.

На обичайці кожуха розташовані штуцера Г ($d_y = 250$), і В ($d_y = 200$).

Штуцера розташовані по нормалі до поверхні обичайки. Штуцер Г виконаний із труби $\emptyset 273 \times 7$, штуцер В - із труби $\emptyset 219 \times 6$.

Перевіримо умову (6.17) штуцера Г.

Розрахунковий діаметр отвору в стінці обичайки:

$$d_p = d_1 + 2C_s, \quad (6.18)$$

де C_s – сума збільшень до розрахункової товщини стінки штуцера.

$$C_s = C_{s1} + C_{s2}, \quad (6.19)$$

де $C_{s1} = C_1 = 2$ мм – збільшення для компенсації корозії й ерозії.

Для сталевих безшовних труб збільшення для компенсації мінусового допуску становить 15 % від товщини стінки труби.

$$C_{s2} = 0,15 \cdot S_1 = 0,15 \cdot 7 = 1,05 \text{ мм}.$$

$$C_s = 2 + 1,05 = 3,05 \text{ мм}.$$

$$d_p = 259 + 2 \cdot 3,05 = 265,1 \text{ мм};$$

Умова (6.17) виконується

$$265,1 \leq 366,8 \text{ (мм)};$$

отже, отвір під штуцер Г не вимагає зміцнення.

Перевіримо умову (6.17) штуцера В.

Розрахунковий діаметр отвору в стінці обичайки:

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_p = d_1 + 2C_S,$$

де C_S – сума збільшень до розрахункової товщини стінки штуцера.

$$C_S = C_{S1} + C_{S2},$$

де $C_{S1} = C_1 = 2$ мм – збільшення для компенсації корозії й ерозії.

$$C_{S2} = 0,15 \cdot S_1 = 0,15 \cdot 6 = 0,9 \text{ мм.}$$

$$C_S = 2 + 0,9 = 2,9 \text{ мм.}$$

$$d_p = 207 + 2 \cdot 2,9 = 212,8 \text{ мм;}$$

Умова (6.17) виконується

$$212,8 > 366,8 (\text{мм});$$

отже, отвір під штуцер У не вимагає зміцнення.

6.4.2. Розрахунок зміцнення отворів в обичайці камери

$S = 22$ мм – виконавча товщина обичайки камери;

$S_p = 11,4$ мм – розрахункова товщина обичайки камери;

$D_p = D = 1800$ мм – розрахунковий діаметр.

$$d_0 = 2 \left(\frac{22 - 2}{14,5} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1800 \cdot (22 - 2)} = 217,6 \text{ мм;}$$

На обичайці камери розташовані штуцера Б ($d_y = 200$). Штуцера розташовані по нормалі до поверхні обичайки. Штуцер Б виконаний із труби $\text{Ø } 219 \times 6$.

Перевіримо умову (6.17) штуцера Б.

Розрахунковий діаметр отвору в стінці обичайки:

$$d_p = d_1 + 2C_S,$$

де C_S – сума збільшень до розрахункової товщини стінки штуцера.

$$C_S = C_{S1} + C_{S2},$$

де $C_{S1} = C_1 = 2$ мм – збільшення для компенсації корозії й ерозії.

$$C_{S2} = 0,15 \cdot S_1 = 0,15 \cdot 6 = 0,9 \text{ мм.}$$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_s = 2 + 0,9 = 2,9 \text{ мм.}$$

$$d_p = 207 + 2 \cdot 2,9 = 212,8 \text{ мм;}$$

Умова (6.17) виконується

$$212,8 \leq 217,6 (\text{мм}),$$

отже, отвір під штуцер Б не вимагає зміцнення.

6.4.3 Розрахунок зміцнення отворів на днищах камер

На верхніх і нижньому еліптичних днищах камер розташовані штуцера Ж ($d_y = 50$) і И₁₋₁₀ ($d_y = 50$).

Розрахункові діаметри зміцнюваного елемента, (еліптичного днища) по центру отворів визначаємо по формулі:

$$D_p = 2 D \cdot \sqrt{1 - 3 (x/D)^2}, \quad (6.20)$$

Розрахунковий діаметр отвору для зміщеного штуцера на еліптичному днищі визначаємо по формулі

$$d_p = \frac{d + 2 C_s}{\sqrt{1 - \left(2 x/D_p\right)^2}}, \quad (6.21)$$

При $x_1 = 350$ мм – штуцера И₁₋₄ ($d_y = 50$):

$$D_p = 2 \cdot 1800 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot (350/1800)^2} = 3390 \text{ мм,}$$

$$S_p = \frac{2,6 \cdot 3390}{4 \cdot 1 \cdot 162 - 2,6} = 13,66 \text{ мм,}$$

$$d_0 = 2 \left(\frac{22 - 2}{13,66} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1800 \cdot (22 - 2)} = 346,1 \text{ мм,}$$

$$d_p = \frac{50 + 2 \cdot 2}{\sqrt{1 - \left(2 \cdot 350/3390\right)^2}} = 55,2 \text{ мм,}$$

$$d_p = 55,2 < d_0 = 346,1 \text{ мм;}$$

Умова виконується, штуцера И₁₋₄ не вимагають зміцнення.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При $x_2 = 600$ мм – штуцера И₅₋₁₀ ($d_y = 50$):

$$D_p = 2 \cdot 1800 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot (600/1800)^2} = 2939 \text{ мм},$$

$$S_p = \frac{2,6 \cdot 2939}{4 \cdot 1 \cdot 162 - 2,6} = 11,84 \text{ мм},$$

$$d_0 = 2 \left(\frac{22-2}{11,84} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1800 \cdot (22-2)} = 431,1 \text{ мм},$$

$$d_p = \frac{50 + 2 \cdot 2}{\sqrt{1 - (2 \cdot 600/2939)^2}} = 59,2 \text{ мм},$$

$$d_p = 59,2 < d_0 = 431,1 \text{ мм};$$

Умова виконується, штуцера И₅₋₁₀ не вимагають зміцнення.

При $x_3 = 0$ мм – штуцер Ж ($d_y = 50$):

$$D_p = 2 \cdot 1800 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot (0/1800)^2} = 3600 \text{ мм},$$

$$d_0 = 2 \left(\frac{22-2}{14,5} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{3600 \cdot (22-2)} = 310,7 \text{ мм},$$

$$d_p = 51 + 2 \cdot 2,45 = 55,9 \text{ мм},$$

$$d_p = 55,9 < d_0 = 310,7 \text{ мм};$$

Умова виконується, отже, не потрібне додаткове зміцнення.

6.5 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ, ЖОРСТКІСТЬ І СТІЙКІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ТРУБЧАСТОГО РЕАКТОРА

Товщина трубних решіток призначається конструктивно. Прийнята товщина трубних решіток повинна забезпечувати можливість кріплення труб у решітках. Для решіток, у яких кріплення теплообмінних труб проводиться розвальцьовуванням або зварюванням з наступним розвальцьовуванням, прийнята товщина решіток повинна забезпечувати міцність і гарантований тиск герметизації вальцювального з'єднання, а також не жолоблення решітки

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при розвальцьовуванні труб. На рис. 5.4 показаний вузол з'єднання трубних решіток із фланцем.

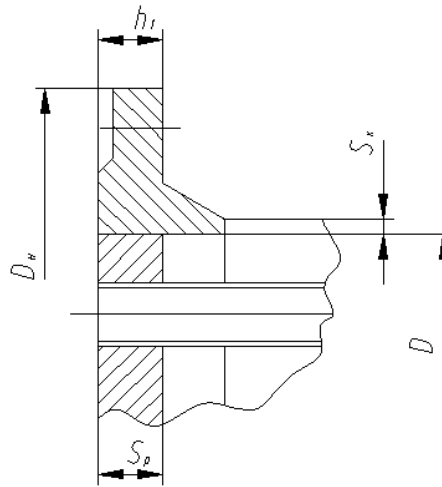


Рис. 6.4 Конструкція вузла з'єднання трубних решіток із фланцем

Прийнята товщина трубних решіток повинна задовольняти умові міцності безтрубної зони

$$S_{\delta} \geq S_{\delta\delta} + C_{\delta}, \quad (6.22)$$

де S_{pp} – розрахункова товщина трубних решіток, мм;

C_p – сума збільшень до розрахункової товщини решіток, мм.

Розрахункова товщина трубних решіток з умови міцності максимально безтрубної зони визначається по формулі

$$S_{\delta\delta} = 0,5 \cdot D_e \cdot \sqrt{\frac{P}{[\sigma]_{\delta}}}, \quad (6.23)$$

де D_e – діаметр окружності вписаної в максимальну безтрубну зону, $D_e = 45,35$ мм;

P – розрахунковий тиск, $P = 2,6$ МПа;

$[\sigma]_{\delta}$ – допустиме напруження для матеріалу трубних решіток при розрахунковій температурі, $[\sigma]_{\delta} = 162$ МПа;

$$S_{pp} = 0,5 \cdot 45,35 \cdot \sqrt{\frac{2,6}{162}} = 3,2 \text{ мм};$$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунковий тиск визначається по формулі

$$D = \max \{ |D_\delta|; |D_\varepsilon|; |D_\delta - D_\varepsilon| \}, \quad (6.24)$$

де P_T – розрахунковий тиск у трубному просторі, $P_T=2,6$ МПа;

P_K – розрахунковий тиск у міжтрубному просторі, $P_K=1,7$ МПа.

$$S_{\delta\delta} = \max \{ |2,6|; |1,7|; |2,6 - 1,7| \} = 2,6 \text{ } \dot{\text{I}} \text{ } \dot{\text{a}}.$$

Суму збільшень до розрахункової товщини трубних решіток приймаємо $S_p=3,5$ мм.

З конструктивних міркувань приймаємо товщину трубних решіток

$$S_p = 120 \text{ мм.}$$

$$S_p = 120 \geq 3,2 + 3,5 = 6,7 \text{ мм;}$$

умова виконується.

6.5.1. Основні параметри трубних решіток

Коефіцієнт ослаблення трубних решіток визначається по формулі

$$\varphi_\delta = 1 - \frac{d_o}{t_\delta} \quad (6.25)$$

Розміри t_p , d_o приймаються залежно від зовнішнього діаметра труби й класу точності з'єднання труба – трубні решітки по таблиці 1 [10].

Зовнішній діаметр труби $d_T=38$ мм, $t_p=48$ мм, $d_o=38,45$ мм.

$$\varphi_\delta = 1 - \frac{38,45}{48} = 0,199;$$

Відносна характеристика безтрубного краю трубних решіток

$$m_n = \frac{0,5 \cdot D}{a_1} \quad (6.26)$$

де D – внутрішній діаметр кожуха, $D=1800$ мм;

a_1 – відстань від осі кожуха до осі найбільш вилученої труби,

$a_1=860$ мм, (мал. 5.5).

$$m_n = \frac{0,5 \cdot 1800}{860} = 1,047;$$

Коефіцієнт впливу тиску на трубні решітки

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta_{\epsilon} = 1 - \frac{3 \cdot d_T^2}{4 \cdot a_1^2} \quad (6.27)$$

$$\eta_{\kappa} = 1 - \frac{1015 \cdot 38^2}{4 \cdot 860^2} = 0,505;$$

$$\eta_{\delta} = 1 - \frac{3 \cdot (d_{\delta} - 2 \cdot S_{\delta})^2}{4 \cdot a_1^2}; \quad (6.28)$$

$$\eta_m = 1 - \frac{1015 \cdot (38 - 2 \cdot 3)^2}{4 \cdot 860^2} = 0,649;$$

де i – кількість труб у решітках, $i=1015$ шт;

d_T – зовнішній діаметр труби, $d_T=38$ мм;

S_T – товщина стінки труби, $S_T=3$ мм.

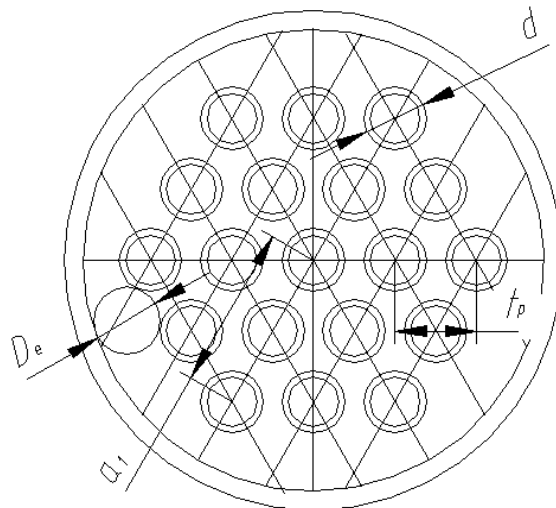


Рис. 6.5 Розбивка трубних решіток

Коефіцієнт твердості трубних решіток визначається по формулі

$$\psi_i = \eta_{\delta}^{2,33} \quad (6.29)$$

$$\psi_o = 0,649^{2,33} = 0,365;$$

Модуль пружності підстави (системи труб) визначається по формулі

$$\hat{E}_{\delta} = \frac{2 \cdot A_{\delta} \cdot (\eta_{\delta} - \eta_{\epsilon})}{\ell}, \quad (6.30)$$

де E_T – модуль поздовжньої пружності матеріалу труб при розрахунковій температурі, $E_T=1,76 \cdot 10^5$ МПа;

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

l - довжина труб, $l=6900$ мм.

$$K_y = \frac{2 \cdot 1,76 \cdot 10^5 \cdot (0,649 - 0,505)}{6500} = 7,35 \text{ н/мм}^3.$$

Наведене відношення твердості труб до твердості кожуха розраховується по формулі

$$\rho = \frac{\hat{E}_\delta \cdot \dot{a}_1 \cdot \ell}{2 \cdot \hat{A}_\delta \cdot S_k}; \quad (6.31)$$

де E_k – модуль поздовжньої пружності матеріалу кожуха при розрахунковій температурі, $E_k=1,81 \cdot 10^5$ МПа;

S_k – виконавча товщина стінки кожуха, $S_k=22$ мм.

$$\rho = \frac{7,35 \cdot 860 \cdot 6900}{2 \cdot 1,81 \cdot 10^5 \cdot 22} = 5,47;$$

Коефіцієнти зміни твердості системи труби - кожух визначаються по формулі

$$\hat{E}_q = 1 + K_q^*, \quad (6.32)$$

$$\hat{E}_p = 1 + K_p^*, \quad (6.33)$$

Для апаратів з нерухомими трубними решітками $K_q^* = K_p^* = 0$.

Тоді $\hat{E}_q = K_\delta = 1$.

Зведений тиск визначається по формулі

$$D_i = 0,5 \cdot [\alpha_\delta \cdot (t_k - t_o) - \alpha_\delta \cdot (t_\delta - t_o)] \cdot K_\delta \cdot \ell + [\eta_\delta - 1 + m_{\text{нд}} + m_n \cdot (m_n + 0,5 \cdot \rho \cdot K_q)] \cdot P_\delta - [\eta_\delta - 1 + m_{\text{нд}} + m_n \cdot (m_n + 0,3 \cdot \rho \cdot K_p)] \cdot P_\delta; \quad (6.34)$$

де m_{cp} – безрозмірний коефіцієнт, визначаємо по формулі

$$m_{\text{нд}} = 0,15 \cdot \frac{^3 \cdot (d_\delta - s_\delta)^2}{\dot{a}_1^2}; \quad (6.35)$$

$$m_{cp} = 0,15 \cdot \frac{1015 \cdot (38 - 3)^2}{860^2} = 0,252;$$

α_T – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу труб,

$$\alpha_T = 14,65 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C};$$

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

2017.007.00.000 ПЗ

$\alpha_{до}$ – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу кожуха,

$$\alpha_{до} = 12,6 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C};$$

$$P_o = 0,5 \cdot [12,6 \cdot 10^{-6} \cdot (200 - 20) - 14,65 \cdot 10^{-6} \cdot (250 - 20)] \cdot 5,37 \cdot 6900 + \\ + [0,649 - 1 + 0,252 + 1,047 \cdot (1,047 + 0,5 \cdot 5,37 \cdot 1)] \cdot \\ \cdot 2,6 - [0,505 - 1 + 0,252 + 1,047 \cdot (1,047 + 0,3 \cdot 5,37 \cdot 1)] \cdot 1,7 = -22,27 \text{ МПа};$$

Коефіцієнт системи кожух - решітки визначаються по формулі

$$\beta = \frac{1,82}{S_D} \cdot \sqrt[4]{\frac{\hat{E}_{\delta} \cdot S_p}{\psi_0 \cdot E_p}}, \quad (6.36)$$

де E_p – модуль поздовжньої пружності матеріалу решітки при розрахунковій температурі, $E_p = 1,81 \cdot 10^5$ МПа;

$$\beta = \frac{1,82}{120} \cdot \sqrt[4]{\frac{7,35 \cdot 120}{0,365 \cdot 1,81 \cdot 10^5}} = 0,0052;$$

Коефіцієнт системи кожух – решітки й обичайка – фланець камери відповідно β_1 і β_2 визначається по формулі

$$\beta_1 = \frac{1,84}{\sqrt{D \cdot S_1}}, \quad (6.37)$$

$$\beta_2 = \frac{1,84}{\sqrt{D \cdot S_2}}, \quad (6.38)$$

де S_1 – товщина стінки кожуха в місці з'єднання із трубними решітками або фланцем, у цьому випадку

$$S_1 = S_3; \quad (6.39)$$

S_2 – товщина стінки камери в місці з'єднання із трубними решітками або фланцем, $S_2 = S_1 = S_3$;

Еквівалентна товщина втулки приварного встик фланця визначається по формулі

$$S_y = \hat{E} \cdot S_0; \quad (6.40)$$

де S_0 – товщина конічної втулки фланця в місці з'єднання з кожухом (рис. 6.6), $S_0 = 21 \text{ мм}$;

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2017.007.00.000 ПЗ					

K - безрозмірний коефіцієнт, визначається по формулі

$$\hat{E} = 1 + \frac{(\beta_3 - 1) \cdot \tilde{O}}{\tilde{O} + 0,25 \cdot (1 + \beta_3)}; \quad (6.41)$$

де β_3, X - безрозмірні коефіцієнти, по формулі

$$\beta_3 = \frac{S_{1\phi}}{S_0}; \quad (6.42)$$

$$\tilde{O} = \frac{\ell_{\phi}}{\sqrt{D \cdot S_0}}; \quad (6.43)$$

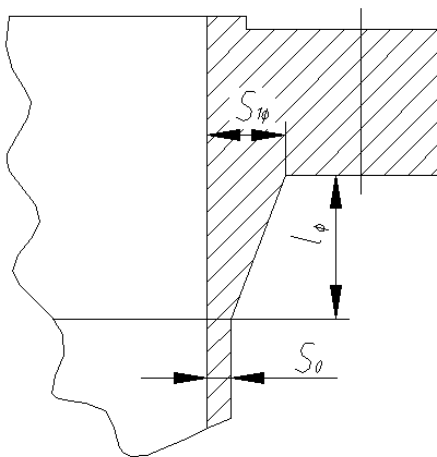


Рис. 6.6 Конструктивні розміри фланця

ℓ_{ϕ} - довжина конічної втулки фланця, $\ell_{\phi} = 77$ мм;

$S_{1\phi}$ - товщина конічної втулки в місці з'єднання із фланцем, $S_{1\phi} = 48$ мм;

$$\beta_3 = \frac{48}{21} = 2,286,$$

$$X = \frac{77}{\sqrt{1800 \cdot 21}} = 0,396,$$

$$K = 1 + \frac{(2,286 - 1) \cdot 0,396}{0,396 + 0,25 \cdot (1 + 2,286)} = 1,418;$$

$$S_s = 1,418 \cdot 21 = 29,783;$$

$$\beta_1 = \beta_2 = \frac{1,84}{\sqrt{1800 \cdot 29,783}} = 0,008;$$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Жорсткість фланцевого з'єднання при вигині розраховується по формулі

$$\hat{E}_{\delta} = \hat{E}_{\delta 1} + \hat{E}_{\delta 2} \quad (6.44)$$

$$\text{де } \hat{E}_{\delta 1} = \frac{A_1 \cdot h_1^3 \cdot b_1}{12 \cdot R_1^2} + K_1 \cdot \left(1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2}\right), \quad (6.45)$$

$$\hat{E}_{\delta 2} = \frac{A_2 \cdot h_2^3 \cdot b_2}{12 \cdot R_2^2} + K_2 \cdot \left(1 + \frac{\beta_2 \cdot h_2}{2}\right), \quad (6.46)$$

$$\hat{E}_1 = \frac{\beta_1 \cdot D \cdot E_k \cdot S_1^3}{11 \cdot R_1}, \quad (6.47)$$

$$\hat{E}_2 = \frac{\beta_2 \cdot D \cdot E_{\delta, \epsilon} \cdot S_2^3}{11 \cdot R_2}, \quad (6.48)$$

де E_1 , E_2 , E_k , $E_{p.k}$ – модулі поздовжньої пружності матеріалу відповідно фланця кожуха, фланця розподільної камери, кожуха й камери при розрахунковій температурі, $E_1=1,81 \cdot 10^5$ МПа, $E_2=1,76 \cdot 10^5$ МПа, $E_k=1,81 \cdot 10^5$ МПа,

$$E_{p.k}=1,76 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

R_1 , R_2 – радіуси центрів ваги тарілки фланця відповідно кожуха й камери, визначаються по формулі

$$R_1 = R_2 = \frac{D_i + D}{4}, \quad (6.49)$$

$$R_1 = R_2 = \frac{2025 + 1800}{4} = 956,25 \text{ мм},$$

де h_1 , h_2 – товщини фланців відповідно кожуха й розподільної камери, $h_1=96$ мм, $h_2=88$ мм;

D_n – зовнішній діаметр фланця, $D_n=2025$ мм;

D – внутрішній діаметр кожуха, $D=1800$ мм;

b_1 , b_2 – ширини фланців відповідно кожуха й розподільної камери, визначається по формулі

										2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

$$b_1 = b_2 = \frac{D_i - D}{2}, \quad (6.50)$$

$$b_1 = b_2 = \frac{2025 - 1800}{2} = 112,5 \text{ мм.}$$

$$K_1 = \frac{0,008 \cdot 1800 \cdot 1,81 \cdot 10^5 \cdot 29,783^3}{11 \cdot 956,25} = 6,503 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$K_2 = \frac{0,008 \cdot 1800 \cdot 1,76 \cdot 10^5 \cdot 29,783^3}{11 \cdot 956,25} = 6,323 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$K_{\phi 1} = \frac{1,81 \cdot 10^5 \cdot 96^3 \cdot 112,5}{12 \cdot 956,25^2} + 6,503 \cdot 10^6 \cdot \left(1 + \frac{0,008 \cdot 96}{2}\right) = 10,6 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$K_{\phi 2} = \frac{1,76 \cdot 10^5 \cdot 88^3 \cdot 112,5}{12 \cdot 956,25^2} + 6,323 \cdot 10^6 \cdot \left(1 + \frac{0,008 \cdot 88}{2}\right) = 9,77 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$K_{\phi} = K_{\phi 1} + K_{\phi 2} = 10,6 \cdot 10^6 + 9,77 \cdot 10^6 = 20,37 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

Коефіцієнти впливу тиску на вигин фланців визначається по формулі

$$m_1 = \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2 \cdot \beta_1^2}, \quad (6.51)$$

$$m_2 = \frac{1 + \beta_2 \cdot h_2}{2 \cdot \beta_2^2}, \quad (6.52)$$

$$m_1 = \frac{1 + 0,008 \cdot 96}{2 \cdot 0,008^2} = 13960 \text{ мм}^2,$$

$$m_2 = \frac{1 + 0,008 \cdot 88}{2 \cdot 0,008^2} = 13450 \text{ мм}^2.$$

Наведене відношення твердості труб до твердості фланцевого з'єднання визначається по формулі

$$\rho_1 = \frac{\hat{E}_{\sigma} \cdot D \cdot \dot{a}_1}{2 \cdot \beta^2 \cdot \hat{E}_{\sigma} \cdot R_1}, \quad (6.53)$$

$$\rho_1 = \frac{7,35 \cdot 1800 \cdot 860}{2 \cdot 0,0052^2 \cdot 6,503 \cdot 10^6 \cdot 956,25} = 10,82;$$

Значення коефіцієнтів Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 визначають по таблиці 2 [17] залежно від величини ω . Величину ω визначають по формулі

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega = \beta \cdot \dot{a}_1, \quad (6.54)$$

$$\omega = 0,0052 \cdot 860 = 4,466;$$

$$\Phi_1 = 6,87;$$

$$\Phi_2 = 4,60;$$

$$\Phi_3 = 6,66;$$

Значення T_1 , T_2 , T_3 визначаються по таблиці 3 [17] залежності від коефіцієнта ω і відносної характеристики безтрубного краю трубних решіток m_n або по формулах

$$\dot{O}_1 = \hat{O}_1 \cdot [m_n + 0,5 \cdot (1 + m_n \cdot t) \cdot (t - 1)], \quad (6.55)$$

$$\dot{O}_2 = \hat{O}_2 \cdot t, \quad (6.56)$$

$$\dot{O}_3 = \hat{O}_3 \cdot m_n, \quad (6.57)$$

$$\text{де } t = 1 + 1,4 \cdot \omega \cdot (m_n - 1), \quad (6.58)$$

$$t = 1 + 1,4 \cdot 4,466 \cdot (1,047 - 1) = 1,293;$$

$$T_1 = 6,87 \cdot [1,047 + 0,5 \cdot (1 + 1,047 \cdot 1,293) \cdot (1,293 - 1)] = 9,557;$$

$$T_2 = 4,60 \cdot 1,293 = 5,942;$$

$$T_3 = 6,66 \cdot 1,047 = 6,97.$$

6.5.2 Визначення зусиль в елементах апарата

Згинальний момент, розподілений по периметрі трубних решіток визначається по формулі

$$\dot{i} = \frac{\dot{a}_1}{\beta} \cdot \frac{D_1 \cdot ((\dot{O}_1 + \rho \cdot \hat{E}_q) - D_i \cdot \dot{O}_2)}{(\dot{O}_1 + \rho \cdot \hat{E}_q) \cdot (\dot{O}_3 + \rho_1) - \dot{O}_2^2}, \quad (6.59)$$

$$M = \frac{860}{0,0052} \cdot \frac{(-0,781) \cdot (9,557 + 5,477 \cdot 1) + 20,57 \cdot 5,942}{(9,557 + 5,477 \cdot 1) \cdot (6,97 + 10,823) - 5,942^2} = 8,6 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{мм} / \text{мм};$$

$$\text{де } D_1 = \frac{\hat{E}_\delta}{\beta \cdot \hat{E}_\delta} \cdot (m_1 \cdot D_\delta - m_2 \cdot P_\delta), \quad (6.60)$$

$$P_1 = \frac{7,35}{0,0052 \cdot 20,37 \cdot 10^6} \cdot (13960 \cdot 1,7 - 13450 \cdot 2,6) = -0,781;$$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перерізуюча сила, розподілена по периметру трубних решіток визначається по формулі

$$Q = \frac{a_1 \cdot [P_o \cdot (\dot{O}_3 + \rho_1) - D_1 \cdot \dot{O}_2]}{(\dot{O}_1 + \rho \cdot \hat{E}_q) \cdot (\dot{O}_3 + \rho_1) - \dot{O}_2^2}, \quad (6.61)$$

$$Q = \frac{860 \cdot [(-20,57) \cdot (6,66 + 10,82) - (-0,781) \cdot 5,942]}{(9,557 + 5,477 \cdot 1) \cdot (6,66 + 10,82) - 5,942^2} = -1467 \text{ Н / мм.}$$

Згинальний момент, розподілений по периметру перфорованої зони трубних решіток визначається по формулі

$$\dot{I}_a = \dot{I} + (0,5 \cdot D - a_1) \cdot Q; \quad (6.62)$$

$$M_a = 8,6 \cdot 10^4 + (0,5 \cdot 1800 - 860) \cdot (-1467) = 2,73 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

Перерізуюча сила, розподілена по периметру перфорованої зони трубних решіток визначається по формулі

$$Q_a = m_n \cdot Q, \quad (6.63)$$

$$Q_a = 1,047 \cdot (-1467) = -1536 \text{ Н} \cdot \text{мм} / \text{мм};$$

Осьова сила діюча на трубу визначається по формулі

$$N_o = \frac{\pi \cdot \dot{a}_1}{i} \cdot [(\eta_e \cdot D_e - \eta_o \cdot D_o) \cdot \dot{a}_1 + \hat{O}_1 \cdot Q_a + \hat{O}_2 \cdot \beta \cdot \dot{I}_a]; \quad (6.64)$$

$$N_m = \frac{3,14 \cdot 860}{1015} \cdot [(0,505 \cdot 1,7 - 0,649 \cdot 2,6) \cdot 860 + 6,87 \cdot (-1467) + 4,596 \cdot 0,0052 \cdot 2,73 \cdot 10^4] = -2,824 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

Згинальний момент, що діє на трубу визначаємо по формулі

$$\dot{I}_o = \frac{\hat{A}_o \cdot I_o \cdot \beta}{\hat{E}_o \cdot \dot{a}_1 \cdot \ell_{io}} \cdot (\hat{O}_2 \cdot Q_a + \hat{O}_3 \cdot \beta \cdot \dot{I}_a), \quad (6.65)$$

$$M_m = \frac{1,76 \cdot 10^5 \cdot 50880 \cdot 0,0052}{7,35 \cdot 860 \cdot 297} \cdot (4,596 \cdot (-1467) + 6,66 \cdot 0,0052 \cdot 2,73 \cdot 10^4) = -1,51 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

де I_T – момент інерції поперечного переріза труби, визначається по формулі

$$I_o = \frac{\pi}{64} \cdot (d_o^4 - (d_o - 2 \cdot S_o)^4), \quad (6.66)$$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\ell_{i\delta}$ - приведена розрахункова довжина труби, визначається по формулі

$$\ell_{i\delta} = 0,33 \cdot \ell_{1\delta} = 0,33 \cdot 900 = 297 \text{ мм}; \quad (6.67)$$

де $\ell_{1\delta}$ - максимальний проліт труби між решітками й перегородкою,

$$\ell_{1\delta} = 900 \text{ мм};$$

$$I_m = \frac{3,14}{64} \cdot (38^4 - (38 - 2 \cdot 3)^4) = 50880 \text{ мм}^4;$$

Осьове зусилля, розподілене по периметру кожуха визначається по формулі

$$Q_e = 0,25 \cdot D \cdot P_\delta - Q, \quad (6.68)$$

$$Q_k = 0,25 \cdot 1800 \cdot 2,6 + 1467 = 2637 \text{ Н / мм};$$

Згинальний момент, розподілений по периметру кожуха визначається по формулі

$$\dot{I}_e = \frac{\hat{E}_1}{\rho_1 \cdot \hat{E}_\delta \cdot \beta} \cdot (\dot{O}_2 \cdot Q + \dot{O}_3 \cdot \beta \cdot \dot{I}) - \frac{D_e}{2 \cdot \beta_1^2}, \quad (6.69)$$

$$M_k = \frac{6,503 \cdot 10^6}{10,82 \cdot 20,37 \cdot 10^6 \cdot 0,0052} \cdot (5,942 \cdot (-1467) + 6,66 \cdot 0,0052 \cdot 8,76 \cdot 10^4) - \frac{1,7}{2 \cdot 0,008^2} = -4,53 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{мм} / \text{мм};$$

Осьове зусилля в кожусі визначається по формулі

$$F = \pi \cdot D \cdot Q_e, \quad (6.70)$$

$$F = 3,14 \cdot 1800 \cdot 2637 = 14,91 \cdot 10^6 \text{ Н}.$$

6.5.3. Визначення напруг в елементах апарата

Напруги в трубних решітках у місці з'єднання з кожухом:

згинальні

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{6 \cdot |\dot{I}|}{(S_{1\delta} - \tilde{N}_1 - \tilde{N}_2 - \tilde{N}_3)^2}, \quad (6.71)$$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{p1} = \frac{6 \cdot |8,6 \cdot 10^4|}{(120 - 2,0 - 2,0 - 0)^2} = 38,4 \text{ МПа};$$

дотичні

$$\tau_{\delta 1} = \frac{|Q|}{S_{1\delta} - \tilde{N}_1 - \tilde{N}_2 - \tilde{N}_3}, \quad (6.72)$$

$$\tau_{p1} = \frac{|1467|}{120 - 2,0 - 2,0 - 0} = 12,7 \text{ МПа};$$

де S_{1p} – товщина трубних решіток у місці приварки до фланця, $S_{1p}=120$ мм.

Напруга в перфорованій частині трубних решіток визначається по формулі

- згинальні

$$\sigma_{\delta 2} = \frac{6 \cdot \dot{I}_{\max}}{\varphi_{\delta} \cdot (S_{\delta} - \tilde{N}_1 - \tilde{N}_2 - \tilde{N}_3)^2}, \quad (6.73)$$

- дотичні

$$\tau_{\delta 2} = \frac{|Q_a|}{\varphi_{\delta} \cdot (S_{\delta} - \tilde{N}_1 - \tilde{N}_2 - \tilde{N}_3)}, \quad (6.74)$$

де M_{\max} – максимальний розрахунковий згинальний момент у перфорованій частині трубних решіток, розподілений по її периметру.

Параметр m визначається по формулі

$$m = \beta \cdot \frac{M_a}{Q_a}, \quad (6.75)$$

$$m = 0,0052 \cdot \frac{2,73 \cdot 10^4}{-1536} = -0,092;$$

При $-1,0 \leq m \leq 1,0$ $\dot{I}_{\max} = \frac{A \cdot |Q_a|}{\beta},$

(6.76)

де A – коефіцієнт, по таблиці 4 [16] залежно від параметра m і коефіцієнта ω . Маємо $A=0,33$.

						2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$M_{\max} = \frac{0,33 \cdot |-1536|}{0,0052} = 9,76 \cdot 10^4 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{p2} = \frac{6 \cdot 9,76 \cdot 10^4}{0,199 \cdot (120 - 2,0 - 2,0 - 0)^2} = 218,7 \text{ МПа},$$

$$\tau_{p2} = \frac{|-1536|}{0,199 \cdot (120 - 2,0 - 2,0 - 0)} = 63,6 \text{ МПа};$$

Розрахункові напруги в кожусі в місці приєднання до решіток визначаються по формулах

у меридіональному напрямку:

- мембранні

$$\sigma_{mx} = \frac{|Q_{\dot{\epsilon}}|}{S_1 - C_7 - C_8}, \quad (6.77)$$

де Z_7 – збільшення до розрахункової товщини стінки кожуха для компенсації корозії й ерозії, $Z_7=2,0$ мм;

Z_8 – збільшення до розрахункової товщини стінки кожуха для компенсації мінусового допуску, $Z_8=0$ мм.

$$\sigma_{mx} = \frac{|2637|}{22 - 2,0 - 0} = 131,9 \text{ МПа};$$

- згинальні

$$\sigma_{\dot{\epsilon}x} = \frac{6 \cdot |I_{\dot{\epsilon}}|}{(S_1 - C_7 - C_8)^2}, \quad (6.78)$$

$$\sigma_{ux} = \frac{6 \cdot 4,53 \cdot 10^4}{(22,0 - 2,0 - 0)^2} = 379 \text{ МПа};$$

в окружному напрямку:

- мембранні

$$\sigma_{m\phi} = \frac{0,5 \cdot |D_{\dot{\epsilon}}| \cdot D}{S_1 - C_7 - C_8}, \quad (6.79)$$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{m\phi} = \frac{0,5 \cdot |1,7| \cdot 1800}{22 - 2,0 - 0} = 76,5 \text{ МПа};$$

- згинальні

$$\sigma_{u\phi} = 0,3 \cdot \sigma_{u\delta}, \quad (6.80)$$

$$\sigma_{u\phi} = 0,3 \cdot 379 = 124 \text{ МПа};$$

Розрахункові напруги в трубах

в осьовому напрямку:

$$\sigma_{1m} = \frac{|N_{\delta}|}{\pi \cdot (d_{\delta} - S_{\delta}) \cdot S_{\delta}}, \quad (6.81)$$

$$\sigma_1 = \sigma_{1m} + \frac{0,5 \cdot d_{\delta} \cdot |I'_{\delta}|}{I_{\delta}}, \quad (6.82)$$

$$\sigma_{1m} = \frac{|2,82 \cdot 10^4|}{3,14 \cdot (38 - 3) \cdot 3} = 85,6 \text{ МПа};$$

$$\sigma_1 = 85,6 + \frac{0,5 \cdot 38 \cdot |1,514 \cdot 10^5|}{50880} = 142,1 \text{ МПа};$$

в окружному напрямку:

$$\sigma_{2m} = 0,5 \cdot (d_{\delta} + S_{\delta}) \cdot \frac{D}{S_{\delta}}, \quad (6.83)$$

$$\sigma_{2m} = 0,5 \cdot (38 + 3) \cdot \frac{1,7}{3} = 17,8 \text{ МПа};$$

6.5.4 Розрахунок трубних решіток на міцність

Умова статичної міцності трубних решіток

$$\max \{ \tau_{\delta 1}; \tau_{\delta 2} \} \leq 0,5 \cdot [\sigma]_{\delta}, \quad (6.84)$$

$$\max \{ 12,7; 63,6 \} = 63,6 \text{ МПа} \leq 0,5 \cdot 162 = 81 \text{ МПа}, \quad \text{т. е. умова}$$

статичної міцності трубних решіток виконується.

6.5.5. Розрахунок кожуха на міцність і стійкість

Умова статичної міцності кожуха в місці приєднання до решіток

$$\sigma_{mx} \leq 1,3 \cdot [\sigma]_{\epsilon}, \quad (6.85)$$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $[\sigma]_e$ - допустиме напруження для матеріалу кожуха при розрахунковій температурі, $[\sigma]_e = 136 \text{ } \dot{\text{I}} \text{ } \dot{\text{a}}$;

$\sigma_{mx} = 131,9 \text{ МПа} \leq 1,3 \cdot 136 = 176,8 \text{ МПа}$, умова статичної міцності кожуха в місці приєднання до решіток виконується.

6.5.6 Розрахунок труб на міцність і стійкість

Умова статичної міцності труб

$$\max \{ \sigma_{1m}; \sigma_{2m} \} \leq [\sigma]_o, \quad (6.86)$$

де $[\sigma]_o$ - допустиме напруження, для матеріалу труб при розрахунковій температурі, $[\sigma]_o = 162,0 \text{ } \dot{\text{I}} \text{ } \dot{\text{a}}$;

$\max \{ 85,6; 17,8 \} = 85,6 \text{ МПа} \leq 162 \text{ МПа}$, умова статичної міцності труб виконується.

6.5.7. Розрахунок кріплення труб у трубних решітках

У випадку кріплення труб у решітках за допомогою розвальцьовування повинне виконуватися умова

$$|N_o| \leq [N]_{o\delta}, \quad (6.87)$$

де $[N]_{o\delta}$ - допустиме навантаження на з'єднання труби із решітками, визначається по формулі

$$[N]_{o\delta} = d_o \cdot \ell_a \cdot [q], \quad (6.88)$$

де ℓ_a - довжина (глибина) розвальцьовування труби, приймаємо $\ell_a = 80 \text{ мм}$;

$[q]$ - допустиме навантаження на одиницю умовної поверхні з'єднання труб із решітками, для труб завальцьованих у пази $[q] = 29,4 \text{ } \dot{\text{I}} \text{ } \dot{\text{a}}$.

$$[N]_{mp} = 38 \cdot 80 \cdot 29,4 = 8,938 \cdot 10^4 \text{ МПа}.$$

$$|N_m| = |-2,824 \cdot 10^4| \text{ МПа} \leq [N]_{mp} = 8,938 \cdot 10^4 \text{ МПа},$$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умова кріплення труб у решітках за допомогою розвальцьовування виконується.

6.6. РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ ТА ГЕРМЕТИЧНІСТЬ ФЛАНЦЕВИХ З'ЄДНАНЬ

Розрахунковий тиск в апараті $P = 2,6$ МПа, розрахункова температура $t = 250$ °С, внутрішній діаметр обичайки $D = 1800$ мм, матеріал фланців – сталь 09Г2С. Група апарата – 1. Додаток до розрахункової товщини обичайки для компенсації корозії та ерозії $C_1 = 2$ мм.

По розрахунковому тиску і розрахунковій температурі для апарата 1 групи приймаємо фланці приварні встик із ущільнювальною поверхнею шип-паз. У фланцевому з'єднанні застосовуємо паронітову прокладку.

Розрахункова температура стінки апарата складає $t = 250$ °С, тому апарат і фланцеве з'єднання повинні бути теплоізовані.

Розміри елементів фланцевого з'єднання, мм:

Внутрішній діаметр обичайки D	1800
Діаметр окружності шпильок D_6	1965
Товщина фланця у перерізу S_0 , мм	21
Товщина фланця у перерізу S_1 , мм	48
Товщина фланця в місці ущільнення h_1 , мм	88
Товщина фланця в місці ущільнення h_2 , мм	96
Зовнішній діаметр прокладки D_1	1908
Внутрішній діаметр прокладки D_2	1877
Товщина прокладки h_n	3
Діаметр шпильок d	M36

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.6.1. Розрахункова температура елементів фланцевого з'єднання

Визначаємо розрахункові температури фланця і шпильок

$$t_{\phi} = t = 250 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_{\sigma} = 0,97 \cdot t = 0,97 \cdot 250 = 242,5 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

При заданих розрахункових параметрах для фланців зі сталі 09Г2С для виготовлення шпильок приймаємо сталь марки 40Х.

6.6.2. Визначення допустимих напружень

Допустиме напруження матеріалу шпильок $[\sigma]_{\sigma}$, МПа, при розрахунковій температурі $t_{\sigma} = 242,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ визначаємо за таблицею 2 [9] методом лінійної інтерполяції

$$[\sigma]_{\sigma} = 222,45 \text{ МПа};$$

Допустимі напруження для матеріалу фланців при розрахунковій температурі $[\sigma] = 162 \text{ МПа}$, при температурі $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – $[\sigma]_{20} = 196 \text{ МПа}$.

Мінімальне значення границі текучості для сталі 09Г2С при розрахунковій температурі приймаємо рівним $R_e = 243 \text{ МПа}$; при температурі $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – $R_e^{20} = 300 \text{ МПа}$. Мінімальне значення тимчасового опору при розрахунковій температурі приймаємо рівним $R_m = 444 \text{ МПа}$, при температурі $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – $R_m^{20} = 470 \text{ МПа}$.

Визначаємо допустимі напруження, для матеріалу фланця в перерізу S_0 :

– в робочих умовах за формулою

$$[\sigma]_{S_0} = \left(4,5 - 2,0 \frac{R_{p0,2}}{R_m} \right) \cdot [\sigma] = \left(4,5 - 2,0 \cdot \frac{243}{444} \right) \cdot 162 = 551,6 \text{ МПа};$$

– в умовах затягування фланцевого з'єднання за формулою

$$[\sigma]_{S_0}^{20} = \left(4,5 - 2,0 \frac{R_{p0,2}^{20}}{R_m^{20}} \right) \cdot [\sigma]^{20} = \left(4,5 - 2,0 \cdot \frac{300}{470} \right) \cdot 196 = 631,7 \text{ МПа};$$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо допустимі напруження, для матеріалу фланця в перерізу S_1 :

– в робочих умовах

$$[\sigma]_{S1} = 1,5 \cdot [\sigma], \quad (6.89)$$

$$[\sigma]_{S1} = 1,5 \cdot 162 = 243 \text{ МПа};$$

– в умовах затягування

$$[\sigma]_{S120} = 1,5 \cdot [\sigma]_{20}, \quad (6.90)$$

$$[\sigma]_{S120} = 1,5 \cdot 196 = 294 \text{ МПа}.$$

Розрахунковий тиск в робочих умовах, помножений на величину $1,35 [\sigma]_{20} / [\sigma]$

$$P_g = 3,93 < 1,35 \cdot 2,6 \cdot \frac{196}{162} = 4,25 \text{ МПа};$$

більше розрахункового тиску в умовах випробувань, тому розрахунок фланцевого з'єднання для умов випробувань не проводимо.

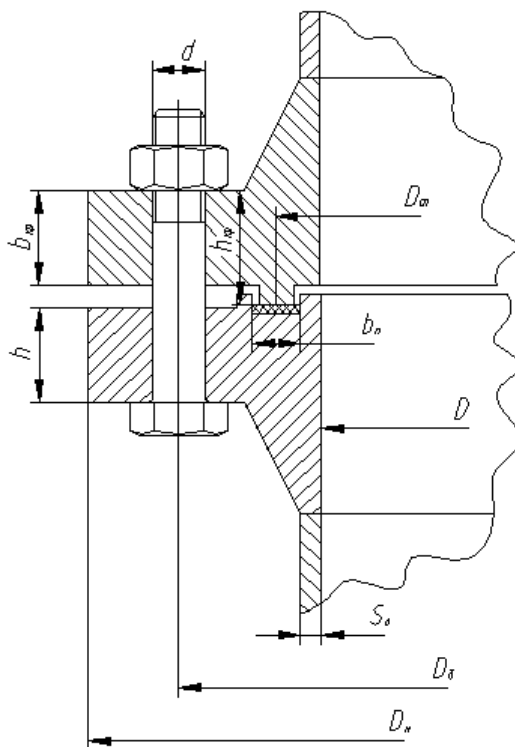


Рис. 6.7 Схема фланцевого з'єднання

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення допоміжних величин

Визначаємо виконавчу ширину

$$b_n = \frac{D_1 - D_2}{2} = \frac{1908 - 1877}{2} = 15,5 \text{ мм};$$

і середній діаметр прокладки

$$D_{cn} = \frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{1908 + 1877}{2} = 1893,5 \text{ мм};$$

Ефективну ширину прокладки визначаємо за формулою

$$b_0 = 3,8 \sqrt{b_n} = 3,8 \cdot \sqrt{15,5} = 14,96 \text{ мм};$$

Для прокладки з пароніту товщиною 3 мм визначаємо коефіцієнт обтиснення $K = 0,9$ і умовний модуль стиску $E_n = 0,02 \cdot 10^5$ МПа.

Лінійну піддатливість неметалевої прокладки визначаємо за формулою

$$y_n = \frac{h_n \cdot K}{\pi \cdot E_n \cdot D_{cn} \cdot b_n} \quad (6.91)$$

де h_n – товщина прокладки;

K – коефіцієнт обтиснення прокладки;

E_n – умовний модуль стиску прокладки;

D_{cn} – середній діаметр прокладки.

$$y_n = \frac{3 \cdot 0,9}{3,14 \cdot 0,02 \cdot 10^5 \cdot 1829,5 \cdot 14,96} = 1,518 \cdot 10^{-8} \text{ мм/Н};$$

Відстань між опорними поверхнями гайок

$$l_{\sigma 0} = h_1 + h_2 + h_n = 88 + 96 + 3 = 187 \text{ мм};$$

Розрахункову довжину шпильки визначаємо за формулою

$$l_{\sigma} = l_{\sigma 0} + 0,28 d = 187 + 0,28 \cdot 36 = 207,16 \text{ мм};$$

Площу поперечного перерізу шпильки М36 по внутрішньому діаметру нарізі визначаємо за таблицею 5 [9], $f_{\sigma} = 760 \text{ мм}^2$. Модуль подовжньої

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пружності матеріалу шпильки (сталь марки 40X) при температурі $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$E_6^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Піддатливість болтів визначаємо за формулою

$$y_6 = \frac{l_6}{E_6^{20} \cdot f_6 \cdot n} \quad (6.92)$$

$$y_6 = \frac{207,16}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 760 \cdot 80} = 1,712 \cdot 10^{-8} \text{ мм/н};$$

Розміри конічної втулки складають:

– товщина в місці з'єднання з обичайкою

$$S_0 = 21 \text{ мм};$$

– товщина в місці з'єднання з фланцем

$$S_1 = 48 \text{ мм};$$

– довжина конічної втулки

$$l = 77 \text{ мм};$$

Коефіцієнти β , X , K_1 обчислюємо за формулами :

$$\beta = \frac{S_1}{S_0} = \frac{48}{21} = 2,286;$$

$$X = \frac{l}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{77}{\sqrt{1800 \cdot 21}} = 0,396;$$

$$\begin{aligned} K_1 &= 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{X}{X + 0,25 (1 + \beta)} = \\ &= 1 + (2,286 - 1) \cdot \frac{0,396}{0,396 + 0,25 (1 + 2,286)} = 1,418. \end{aligned}$$

Еквівалентну товщину втулки приварного встик фланця визначаємо за формулою

$$S_s = K_1 \cdot S_0 = 1,418 \cdot 21 = 29,78 \text{ мм};$$

Значення коефіцієнтів j , ψ_1 , ψ_2 , λ , ω обчислюємо за формулами для двох фланців:

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$j_1 = \frac{h_1}{S_0} = \frac{88}{21} = 4,19;$$

$$j_2 = \frac{h_2}{S_0} = \frac{96}{21} = 4,571;$$

$$\psi_1 = 1,28 \lg \left(\frac{D_3}{D} \right) = 1,28 \cdot \lg \left(\frac{2025}{1800} \right) = 0,065;$$

$$\psi_2 = \frac{D_3 + D}{D_3 - D} = \frac{2025 + 1800}{2025 - 1800} = 17;$$

$$\lambda_1 = \frac{h_1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{88}{\sqrt{1800 \cdot 21}} = 0,453;$$

$$\lambda_2 = \frac{h_2}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{96}{\sqrt{1800 \cdot 21}} = 0,494;$$

$$\omega_1 = \frac{1}{1 + 0,9 \lambda_1 \cdot (1 + \psi_1 \cdot j_1^2)} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,453 \cdot (1 + 0,065 \cdot 4,19^2)} = 0,533.$$

$$\omega_2 = \frac{1}{1 + 0,9 \lambda_2 \cdot (1 + \psi_1 \cdot j_2^2)} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,494 \cdot (1 + 0,065 \cdot 4,571^2)} = 0,487.$$

Модуль подовжньої пружності для матеріалу фланця при температурі $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$E^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Кутову піддатливість фланця визначаємо за

$$y_\phi = \frac{[1 - \omega \cdot |1 + 0,9 \cdot \lambda|] \cdot \psi_2}{E^{20} \cdot h^3} \quad (6.93)$$

$$y_{\phi 1} = \frac{[1 - 0,533 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,453)] \cdot 17}{1,76 \cdot 10^5 \cdot 88^3} = 3,13 \cdot 10^{-11} \text{ } 1/\text{H} \cdot \text{мм}.$$

$$y_{\phi 2} = \frac{[1 - 0,487 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,494)] \cdot 17}{1,76 \cdot 10^5 \cdot 96^3} = 2,86 \cdot 10^{-11} \text{ } 1/\text{H} \cdot \text{мм}.$$

Плечі моментів сил визначаємо за формулами

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$b = 0,5 (D_{\sigma} - D_{cn}) = 0,5 \cdot (1965 - 1892,5) = 36,25 \text{ мм};$$

$$e = 0,5 (D_{cn} - D - S_{\rho}) = 0,5 \cdot (1892,5 - 1800 - 29,78) = 31,36 \text{ мм};$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

$$J = 1 - \frac{y_n - (y_{\phi 1} \cdot e_1 + y_{\phi 2} \cdot e_2) \cdot b}{\eta}, \quad (6.94)$$

Коефіцієнт η визначають за формулою

$$\eta = y_n + y_{\sigma} + (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot b^2. \quad (6.95)$$

$$\eta = 1,518 \cdot 10^{-8} + 1,712 \cdot 10^{-8} + (3,13 \cdot 10^{-11} + 2,86 \cdot 10^{-11}) \cdot 36,25^2 = 1,11 \cdot 10^{-7}$$

$$J = 1 - \frac{1,518 \cdot 10^{-8} - (3,13 \cdot 10^{-11} \cdot 31,36 + 2,86 \cdot 10^{-11} \cdot 31,36) \cdot 36,25}{1,11 \cdot 10^{-7}} = 1,477$$

Розрахунок навантажень, що діють у фланцевому з'єднанні

Рівнодіючу внутрішнього надлишкового тиску визначаємо за формулою

$$Q_{\sigma} = 0,785 D_{cn}^2 \cdot P \quad (6.96)$$

$$Q_{\sigma} = 0,785 \cdot 1892,5^2 \cdot 2,6 = 7,31 \cdot 10^6 \text{ Н};$$

Коефіцієнт питомого тиску на прокладку $m = 2,5$. Реакцію прокладки в робочих умовах обчислюємо за формулою

$$R_n = \pi \cdot D_{cn} \cdot b_o \cdot m \cdot |P| \quad (6.97)$$

$$R_n = 3,14 \cdot 1982,5 \cdot 14,96 \cdot 2,5 \cdot 2,6 = 5,78 \cdot 10^5 \text{ Н};$$

Коефіцієнти лінійного розширення матеріалів фланців та шпильок визначаємо методом лінійної інтерполяції

$$\alpha_{\phi 1} = \alpha_{\phi 2} = 14,65 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ } ^{\circ}\text{C};$$

$$\alpha_{\sigma} = 13,65 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ } ^{\circ}\text{C};$$

Модулі подовжньої пружності матеріалів фланців та шпильок при розрахунковій температурі

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$E = E_{\phi 1} = E_{\phi 1} = 1,76 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

$$E_{\sigma} = 1,76 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Навантаження, що виникає від температурних деформацій фланцевого з'єднання розраховується за формулою

$$Q_t = \frac{1}{\eta_1} \cdot \left[\alpha_{\phi 1} \cdot h' \cdot (t_{\phi} - 20) + \alpha_{\phi 2} \cdot h'' \cdot (t_{\phi} - 20) - \alpha_{\sigma} \cdot l_{\sigma 0} \cdot (t_{\sigma} - 20) \right], \quad (6.98)$$

Коефіцієнт η_1 визначається за формулою

$$\eta_1 = y_n + y_{\sigma} \cdot \frac{E_{\sigma}^{20}}{E_{\sigma}} + \left(y_{\phi 1} \cdot \frac{E_1^{20}}{E_1} + y_{\phi 2} \cdot \frac{E_2^{20}}{E_2} \right) \cdot b^2. \quad (6.99)$$

$$\eta_1 = 1,518 \cdot 10^{-8} + 1,712 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1,76 \cdot 10^5}{1,99 \cdot 10^5} + 3,13 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1,76 \cdot 10^5}{1,99 \cdot 10^5} \cdot 36,25^2 +$$

$$+ 2,86 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1,76 \cdot 10^5}{1,99 \cdot 10^5} \cdot 36,25^2 = 9,994 \cdot 10^{-8};$$

$$Q_t = \frac{1}{9,994 \cdot 10^{-8}} \cdot [14,65 \cdot 10^{-6} \cdot 88 \cdot (250 - 20) + 14,65 \cdot 10^{-6} \cdot 96 \cdot (250 - 20) -$$

$$- 13,65 \cdot 10^{-6} \cdot 187 \cdot (242,5 - 20)] = 5,207 \cdot 10^5 \text{ Н};$$

Болтове навантаження в умовах монтажу визначається за формулою

$$P_{\sigma} = \max \{ P_{\sigma 1}; P_{\sigma 2}; P_{\sigma 3} \}, \quad (6.100)$$

При відсутності зовнішнього осьового зусилля і зовнішнього згинального моменту болтове навантаження визначається за формулою

$$P_{\sigma 1} = J \cdot Q_o + R_n - Q_t. \quad (6.101)$$

Навантаження від температурних деформацій враховується лише при $Q_t < 0$.

$$P_{\sigma 1} = 1,477 \cdot 7,31 \cdot 10^6 + 5,782 \cdot 10^5 = 1,137 \cdot 10^7 \text{ Н};$$

Болтове навантаження, необхідне для початкового зминання прокладки, визначається за формулою

$$P_{\sigma 2} = 0,5 \pi \cdot D_{cn} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обт}}. \quad (6.102)$$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\sigma 2} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1892,5 \cdot 14,96 \cdot 20 = 8,895 \cdot 10^5 \text{ Н};$$

Болтове навантаження за умови забезпечення міцності болтів (шпильок), визначається за формулою

$$P_{\sigma 3} = 0,4 [\sigma]_{\sigma}^{20} \cdot n \cdot f_{\sigma},$$

$$P_{\sigma 3} = 0,4 \cdot 230 \cdot 80 \cdot 760 = 5,594 \cdot 10^6 \text{ Н};$$

Розрахунок шпильок

Умова міцності шпильок:

– в умовах монтажу

$$\sigma_{\sigma 1} = \frac{P_{\sigma}}{n \cdot f_{\sigma}} \leq [\sigma]_{\sigma}^{20}; \quad (6.103)$$

– в робочих умовах

$$\sigma_{\sigma 2} = \frac{P_{\sigma 1} + \Delta P_{\sigma}}{n \cdot f_{\sigma}} \leq [\sigma]_{\sigma}, \quad (6.104)$$

$$\sigma_{\sigma 1} = \frac{7,31 \cdot 10^7}{80 \cdot 760} = 187,1 \text{ МПа};$$

187,1 МПа < 230 МПа – умова виконується.

При відсутності зовнішнього осьового зусилля і зовнішнього згинального моменту прирощення болтового навантаження визначається за формулою

$$\Delta P_{\sigma} = (1 - J) \cdot Q_{\sigma} + Q_t. \quad (6.105)$$

$$\Delta P_{\sigma} = (1 - 1,477) \cdot 7,31 \cdot 10^6 + 5,207 \cdot 10^5 = -2,964 \cdot 10^6 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\sigma 2} = \frac{7,31 \cdot 10^6 - 2,964 \cdot 10^6}{80 \cdot 760} = 138,3 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{\sigma} = 222,45 \text{ МПа}$$

Умова міцності шпильок виконується.

Розрахунок прокладок

Умова міцності м'яких прокладок

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q = \frac{P_6}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_n} \leq [q], \quad (6.106)$$

где $[q]$ – допустимий питомий тиск на прокладку, $[q]=130$ МПа.

$$q = \frac{7,31 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 1892,5 \cdot 15,5} = 123,4 \text{ МПа} \leq [q] = 130 \text{ МПа};$$

Умова виконується.

Розрахунок фланця на міцність

Розрахунок проводимо для фланця з товщиною $h = 88$ мм.

Кут повороту фланця при затягненні з'єднання визначається за формулою

$$\Theta = M_{01} \cdot \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \lambda)] \cdot \psi_2}{E^{20} \cdot h^3}. \quad (6.107)$$

Згинальний момент від болтового навантаження визначається за формулою

$$M_{01} = P_6 \cdot b. \quad (6.108)$$

$$M_{01} = 7,31 \cdot 10^6 \cdot 36,25 = 4,123 \cdot 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$\theta = 4,123 \cdot 10^8 \cdot \frac{[1 - 0,533 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,453)] \cdot 17}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 88^3} = 0,0065 \text{ рад};$$

Прирощення кута повороту фланця в робочих умовах визначається за формулою

$$\Delta\theta = \Delta M_{01} \cdot \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{E^{20} \cdot h^3},$$

При відсутності зовнішнього осьового зусилля і зовнішнього згинального моменту прирощення згинального моменту від болтового навантаження визначається за формулою

$$\Delta M_{01} = \Delta P_6 \cdot b + Q_d \cdot e; \quad (6.109)$$

$$\Delta M_{01} = -2,964 \cdot 10^6 \cdot 36,25 + 7,31 \cdot 10^6 \cdot 31,36 = 1,128 \cdot 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta\theta = 1,128 \cdot 10^8 \cdot \frac{[1 - 0,533 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,453)] \cdot 17}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 88^3} = 0,0015 \text{ рад};$$

Коефіцієнт f визначаємо за графіком при $\beta = S_1/S_0 = 48/21 = 2,286$ і $l/\sqrt{D \cdot S_0} = 77/\sqrt{1800 \cdot 21} = 0,396$, $f = 2,3$.

Розрахунковий діаметр D^* визначаємо при діаметрі фланцевого з'єднання $D = 1800 \text{ мм} < 20 S_1 = 20 \cdot 21 = 4200 \text{ мм}$ і $f > 1$

$$D^* = D + S_0 = 1800 + 21 = 1821 \text{ мм};$$

Коефіцієнт T обчислюємо за формулою

$$T = \frac{\left(\frac{D_3}{D}\right)^2 \cdot \left[1 + 8,55 \lg\left(\frac{D_3}{D}\right)\right] - 1}{\left[1,05 + 1,945 \left(\frac{D_3}{D}\right)^2\right] \cdot \left[\left(\frac{D_H}{D}\right) - 1\right]}; \quad (6.110)$$

$$T = \frac{\left(\frac{12025}{1800}\right)^2 \cdot \left[1 + 8,55 \cdot \lg\left(\frac{2025}{1800}\right)\right] - 1}{\left[1,05 + 1,945 \cdot \left(\frac{2025}{1800}\right)^2\right] \cdot \left[\left(\frac{2025}{1800}\right) - 1\right]} = 1,866.$$

Максимальне згинальне напруження у перерізу товщиною S_1 визначаємо за формулою

$$\sigma'_e = \frac{T \cdot \omega \cdot M_{01}}{D^* \cdot (S_1 - C)^2}; \quad (6.111)$$

$$\sigma'_e = \frac{1,866 \cdot 0,533 \cdot 4,123 \cdot 10^8}{1821 \cdot (48 - 2)^2} = 106,4 \text{ МПа};$$

Меридіональні напруження в перерізу s_l конічної втулки фланця при затягненні фланцевого з'єднання складають:

– на зовнішній поверхні втулки

$$\sigma_{11} = \sigma'_e = 106,4 \text{ МПа};$$

– на внутрішній поверхні втулки

						2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$\sigma_{12} = -\sigma'_e = -106,4 \text{ МПа};$$

Меридіональні напруження в перерізу S_0 конічної втулки фланця при затягненні фланцевого з'єднання складають:

– на зовнішній поверхні втулки

$$\sigma_{21} = f \cdot \sigma'_e = 2,3 \cdot 106,4 = 244,8 \text{ МПа};$$

– на внутрішній поверхні втулки

$$\sigma_{22} = -f \cdot \sigma'_e = -2,3 \cdot 106,4 = -244,8 \text{ МПа};$$

Прирощення напруження, яка виникає в меридіональному напрямку в перерізу S_1 конічної втулки фланця від дії зовнішніх навантажень в робочих умовах, визначаємо за формулою

$$\Delta\sigma'_m = \frac{Q_0 + 4 \frac{M}{D_{cn}} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_1 - C)} \quad (6.112)$$

$$\Delta\sigma'_m = \frac{7,31 \cdot 10^6 + 0 + 0}{3,14 \cdot 1800 \cdot (48 - 2)} = 27,8 \text{ МПа};$$

Прирощення напруження, яка виникає в меридіональному напрямку в перерізу конічної втулки товщиною S_1 від зміни згинального моменту в робочих умовах, визначаємо за формулою

$$\Delta\sigma'_e = \frac{T \cdot \omega \cdot \Delta M_{01}}{D^* \cdot (S_1 - C)^2} \quad (6.113)$$

$$\Delta\sigma'_e = \frac{1,866 \cdot 0,533 \cdot 1,218 \cdot 10^8}{1821 \cdot (48 - 2)^2} = 31,5 \text{ МПа};$$

Прирощення меридіональних напружень в робочих умовах у перерізу S_1 конічної втулки фланця складають:

– на зовнішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{11} = \Delta\sigma'_m + \Delta\sigma'_e = 27,8 + 31,5 = 59,3 \text{ МПа};$$

– на внутрішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{12} = \Delta\sigma'_m - \Delta\sigma'_e = 27,8 - 31,5 = -3,7 \text{ МПа};$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				2017.007.00.000 ПЗ	

Прирошення напруження, що виникає в меридіональному напрямку в перерізу S_0 конічної втулки фланця від дії зовнішніх навантажень в робочих умовах, визначаємо за формулою

$$\Delta\sigma''_m = \frac{Q_d + 4M/D_{cn} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_0 - C)} \quad (6.114)$$

$$\Delta\sigma''_m = \frac{7,31 \cdot 10^6 + 0 + 0}{3,14 \cdot 1800 \cdot (21 - 2)} = 67,3 \text{ МПа};$$

Прирошення меридіональних напружень в робочих умовах у перерізу S_0 конічної втулки фланця визначаємо:

– на зовнішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{21} = \Delta\sigma''_m + f \cdot \Delta\sigma'_g = 67,3 + 2,3 \cdot 31,5 = 139,6 \text{ МПа};$$

– на внутрішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{22} = \Delta\sigma''_m - f \cdot \Delta\sigma'_g = 67,3 - 2,3 \cdot 31,5 = -5,1 \text{ МПа};$$

Окружні напруження в перерізу S_1 конічної втулки фланця при зтягненні з'єднання визначаємо:

– на зовнішній поверхні втулки

$$\sigma_{13} = \frac{E^{20} \cdot h \cdot \Theta}{D} + 0,3 \sigma'_g \quad (6.115)$$

$$\sigma_{13} = \frac{1,99 \cdot 10^5 \cdot 88 \cdot 0,0065}{1800} + 0,3 \cdot 106,4 = 156,0 \text{ МПа};$$

– на внутрішній поверхні втулки за формулою

$$\sigma_{14} = \frac{E^{20} \cdot h \cdot \Theta}{D} - 0,3 \sigma'_g \quad (6.116)$$

$$\sigma_{14} = \frac{1,99 \cdot 10^5 \cdot 88 \cdot 3,418 \cdot 10^{-3}}{1800} - 0,3 \cdot 106,4 = 91,2$$

Окружні напруження в перерізу S_0 конічної втулки фланця при зтягненні з'єднання визначаємо:

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– на зовнішній поверхні втулки

$$\sigma_{23} = 0,3 f \cdot \sigma'_g = 0,3 \cdot 2,3 \cdot 106,4 = 73,5 \text{ МПа};$$

– на внутрішній поверхні втулки

$$\sigma_{24} = -0,3 f \cdot \sigma'_g = -0,3 \cdot 2,3 \cdot 106,4 = -73,5 \text{ МПа};$$

Прирошення окружних напружень у перерізу S_1 конічної втулки фланця в робочих умовах визначаємо:

– на зовнішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{13} = \frac{E \cdot h \cdot \Delta\Theta}{D} + \frac{P \cdot D}{D_n - D} + 0,3 \Delta\sigma'_g \quad (6.117)$$

$$\Delta\sigma_{13} = \frac{1,76 \cdot 10^5 \cdot 88 \cdot 0,015}{1000} + \frac{2,6 \cdot 1800}{2025 - 1800} + 0,3 \cdot 31,5 = 74,1 \text{ МПа};$$

– на внутрішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{14} = \frac{E \cdot h \cdot \Delta\Theta}{D} + \frac{P \cdot D}{D_n - D} - 0,3 \Delta\sigma'_g \quad (6.118)$$

$$\Delta\sigma_{14} = \frac{1,76 \cdot 10^5 \cdot 88 \cdot 0,0015}{1800} + \frac{2,6 \cdot 1800}{2025 - 1800} - 0,3 \cdot 31,5 = 55,2 \text{ МПа}.$$

Прирошення окружних напружень у перерізу S_0 конічної втулки фланця в робочих умовах обчислюємо:

– на зовнішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{23} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - C)} + 0,3 f \cdot \Delta\sigma'_g \quad (6.119)$$

$$\Delta\sigma_{23} = \frac{2,6 \cdot 1800}{2 \cdot (21 - 2)} + 0,3 \cdot 2,3 \cdot 31,5 = 146,3 \text{ МПа};$$

– на внутрішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{24} = \frac{P \cdot D}{2 (S_0 - C)} - 0,3 f \cdot \Delta\sigma'_g \quad (6.120)$$

$$\Delta\sigma_{24} = \frac{2,6 \cdot 1800}{2 (21 - 2)} - 0,3 \cdot 2,3 \cdot 31,5 = 102,9 \text{ МПа};$$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Меридіональні та окружні напруження в перерізу S_1 конічної втулки фланця в робочих умовах

$$[\sigma]_{11}^p = \sigma_{11} + \Delta\sigma_{11} = 106,4 + 59,2 = 165,6 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{12}^p = \sigma_{12} + \Delta\sigma_{12} = -106,4 - 3,7 = -110,1 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{13}^p = \sigma_{13} + \Delta\sigma_{13} = 156,0 + 74,1 = 230,1 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{14}^p = \sigma_{14} + \Delta\sigma_{14} = 92,2 + 55,2 = 147,4 \text{ МПа};$$

Умови статичної міцності фланця в перерізу S_1 визначаються:

– при з'єднанні

$$\sigma_{S1} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{13}^2 - \sigma_{11} \cdot \sigma_{13}} \\ \sqrt{\sigma_{12}^2 + \sigma_{14}^2 - \sigma_{12} \cdot \sigma_{14}} \end{array} \right\} \quad (6.121)$$

$$\sigma_{S1} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{106,4^2 + 156,0^2 - 106,4 \cdot 156,0} \\ \sqrt{(-106,4)^2 + (-92,2)^2 - (-106,4) \cdot (-92,2)} \end{array} \right\} =$$

$$= 174,2 \text{ МПа} < [\sigma]_{S1}^{20} = 294 \text{ МПа}$$

– і в робочих умовах

$$\sigma_{S1} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(\sigma_{11}^p)^2 + (\sigma_{13}^p)^2 - \sigma_{11}^p \cdot \sigma_{13}^p} \\ \sqrt{(\sigma_{12}^p)^2 + (\sigma_{14}^p)^2 - \sigma_{12}^p \cdot \sigma_{14}^p} \end{array} \right\} \quad (6.122)$$

$$\sigma_{S1} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{165,6^2 + 230,1^2 - 165,6 \cdot 230,1} \\ \sqrt{(-110,1)^2 + (147,4)^2 - (-110,1) \cdot (147,4)} \end{array} \right\} =$$

$$= 223,8 \text{ МПа} < [\sigma]_{S1} = 243 \text{ МПа};$$

виконуються.

Меридіональні і окружні напруження в перерізу товщиною S_0 конічної втулки фланця в робочих умовах

$$[\sigma]_{21}^p = \sigma_{21} + \Delta\sigma_{21} = 244,8 + 139,6 = 384,4 \text{ МПа};$$

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

2017.007.00.000 ПЗ

$$[\sigma]_{22}^p = \sigma_{22} + \Delta\sigma_{22} = -244,8 - 5,1 = -249,9 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{23}^p = \sigma_{23} + \Delta\sigma_{23} = 73,5 + 146,3 = 219,8 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{24}^p = \sigma_{24} + \Delta\sigma_{24} = -73,5 + 102,9 = 29,4 \text{ МПа};$$

Умови статичної міцності приварного встик фланця у перерізу S_0 :

– при затягненні з'єднання

$$\sigma_{S_0} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sigma_{21}^2 + \sigma_{23}^2 - \sigma_{21} \cdot \sigma_{23}} \\ \sqrt{\sigma_{22}^2 + \sigma_{24}^2 - \sigma_{22} \cdot \sigma_{24}} \end{array} \right\} \quad (6.123)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{S_0} &= \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{244,8^2 + 73,5^2 - 244,8 \cdot 73,5} \\ \sqrt{(-244,8)^2 + (-73,5)^2 - (-244,8) \cdot (-73,5)} \end{array} \right\} = \\ &= 217,6 \text{ МПа} < [\sigma]_{S_0}^{20} = 631,7 \text{ МПа} \end{aligned}$$

– і в робочих умовах

$$\sigma_{S_0} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(\sigma_{21}^p)^2 + (\sigma_{23}^p)^2 - \sigma_{21}^p \cdot \sigma_{23}^p} \\ \sqrt{(\sigma_{22}^p)^2 + (\sigma_{24}^p)^2 - \sigma_{22}^p \cdot \sigma_{24}^p} \end{array} \right\} \quad (6.124)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{S_0} &= \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{384,4^2 + 219,8^2 - 384,4 \cdot 219,8} \\ \sqrt{(-249,9)^2 + 29,4^2 - (-249,9) \cdot 29,4} \end{array} \right\} = \\ &= 334,1 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{S_0} = 551,6 \text{ МПа} \end{aligned}$$

виконуються.

Допустимий кут повороту для приварного встик фланця в робочих умовах при діаметрі $D \leq 2000$ мм складає $[\Theta] = 0,009$ рад.

Умова жорсткості фланцевого з'єднання

$$\Theta + \Delta\Theta = 0,0065 + 0,0015 = 0,008 < [\Theta] = 0,009 \text{ рад};$$

виконується.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ РЕАКТОРА

Матеріалом для трубних решіток служить листова сталь товщиною, рівній товщині решітки. Трубні решітки звичайно виготовляють цільними, вирізкою з аркуша.

При виготовленні трубних решіток дотримуються наступні технічні вимоги. Граничні відхилення між центрами двох граничних отворів у трубних решітках і перегородках (крок) - $\pm 0,2$ мм і на будь-яку суму кроків $\pm 0,5$ мм.

Трубні решітки теплообмінників і випарних апаратів більших діаметрів виготовляють із декількох частин. Свердлення отворів може проводитися на зварних швах. Після розкрою листа з найменшим відходом металу заготівлі решіток зварюють автоматично або вручну X - образним швом електродуговим або електрошлаковим зварюванням. Потім знімають посилення зварених швів, а після цього свердлять отвори.

Для визначення якості зварених швів і виявлення зовнішніх і внутрішніх дефектів, що впливають на розвальцьовування трубок в отворах, шви піддають рентгеноконтролю або ультразвуковій дефектоскопії. Зовнішні дефекти (непровари, тріщини, пори, раковини, зсуви стикуємих крайок і т.д.) виявляють візуально, а внутрішні - рентгеноскопічним просвічуванням. При наявності у звареному шві неприпустимих зовнішніх дефектів рентгеноконтроль не роблять. Просвічуванню піддають 50% загальної довжини зварених швів, місця просвічування встановлюються відділом технічного контролю.

При просвічуванні зварених швів можуть бути виявлені внутрішні дефекти: тріщини, непровари, жужільні включення, раковини й газові пори. Шви вважаються придатними для наступної обробки, якщо діаметр жужільних включень або раковин на перевищує 4, 10 і 15 мм, а площа

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

газових пор і жужільних включень - 1, 1,5 і 2 см² для труб діаметром відповідно 25, 38 і 57 мм.

Якщо при просвічуванні контрольованих ділянок зварених швів будуть виявлені неприпустимі дефекти (тріщини, непровари) або дефекти перевищуючі зазначені розміри, то шов до подальшої обробки непридатний. У цьому випадку дефекти необхідно усунути й провести повторне просвічування всіх швів решітки. Якщо ж при повторному просвічуванні результати виявляться такими ж, то всі зварені стики необхідно вирубати, знову заварити й ще раз перевірити. У деяких випадках зварені шви трубних решіток, крім рентгеноконтроля, піддають випробуванням на межкристалітну корозію й механічну міцність.

Технічний процес виготовлення решіток полягає в наступному.

Решітки вирізують із листа на автоматичних установках по копіру. По закінченні різання напливи очищають від шліфувальними пристроями або дисковими провалочними пристроями (щітками). Після газового різання щітки піддають виправленню на листопрямильній машині, причому неплощинність не повинна становити більше 2 мм на 1 м довжини.

Перегородки теплообмінних апаратів виготовляються з листового прокату.

Граничні відхилення зовнішнього діаметра поперечних перегородок відповідають класу точності. Граничне відхилення діаметра отворів у поперечній перегородці під труби повинне відповідати 5-му квалітету точності по системі отвору.

Свердлення отворів у перегородках проводиться в кондукторі.

Технологічний процес виготовлення кришок штампуванням полягає в наступному.

Обичайки виготовляють зварними з аркушів. Вальцювання штампування обичайок допускається робити тільки на відповідних машинах

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або пресах. Виготовлення ручним способом, а також місцеве нагрівання й виправлення молотком не допускається.

Обичайки можуть бути виготовлені вальцюванням карт, зварних у плоскому стані з декількох аркушів. Зварні шви в обичайках, зварних з карт, повинні бути розташовані паралельно утворюючої.

Ширина аркушів між швами не менш 800 мм, а ширина замикаючої вставки не менш 400 мм.

Вальцювання обичайок з аркуша роблять у холодному стані. З метою обмеження залишкових напруг у металі після холодної гнучкі обичайку варто піддати термічній обробці, або виготовляти обичайку гарячим способом (нагрівання аркуша до $\sim 1000^{\circ}\text{C}$; закінчення гнучкі не нижче 700°C).

Гибку обичайок з аркушів роблять на тривалкових або чотирехвалкових листозгинальних вальцях, а також на гибочних пресах. У цих машинах гнучка аркуша здійснюється обертовими валками. У тривалкових машинах гибочним є середній валок, а в чотирехвалкових - бічні валки. Аркуш, що підлягає вальцюванню, вводять у валки й згинають його переміщенням вниз середнього валка (тривальна машина) або підйомом нагору бічних валків (чотиривальна машина). Гибку роблять за кілька пропусків. Після кожного пропуску кривизну аркуша збільшують до одержання замкнутої циліндричної обичайки. Вальцювання напівобичайок (корит) роблять до одержання розчину їхніх крайок, що відповідає заданому радіусу, і до заданої кривизни.

Тривальна машина не дозволяє зігнути крайки аркуша при вальцюванні. На довжині трохи менше половини відстані між бічними валками, крайки залишаються плоскими. Тому для одержання правильної циліндричної форми обичайок крайки попередньо підгинають. Операцію подгибки крайок звичайно виконують на гідравлічному пресі. Можлива

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підгибка крайок на тривалковій листозгинальній машині вдавненням кінця аркуша в загибочну матрицю.

При вальцюванні обичайок на чотиривалковій машині додаткового встаткування для подгибки крайок не потрібно.

7.1 Виготовлення днищ

До обичайки приварюються два еліптичних днища. Відношення висоти опуклої частини днища, обмірюване від внутрішньої поверхні, до внутрішнього діаметра приймають рівним 0,25.

Розміри й форма днищ повинні відповідати ГОСТ 6533-78.

Днища виготовляють штампуванням з одного аркуша. Допускається виготовлення днищ штампуванням заготовлі, зварної із двох і більше аркушів. Зварні аркуші розташовують по хорді на відстані від центра не більше 440 мм. В окремих випадках застосовують днища, виготовлені з попередньо відштампованих пелюстків і сферичного диска, з розташуванням зварних швів тільки по меридіональному й круговому перетинах.

Кругові шви розташовують на відстані не менш 550 мм від центра днища. Мінімальна відстань між меридіональними швами приймають не менш 100 мм. Днища зі штампованих елементів зварюють стиковими швами із двостороннім проваром.

Днища штампують у гарячому стані з одного нагрівання. Температурний інтервал штампування 850- 950 °С. Штампування здійснюється протяганням. Штамп складається із циліндричного Пуассона з еліпсоїдною торцевою поверхнею, виконаної за формою днища. Матриця являє собою протяжне кільце, установленого на столі преса на підставних стійках. Під час штампування пуансон, рухаючись униз, простягає нагріту заготовку через матрицю. При цьому заготовля облягає пуансон і, остигаючи, затискає його. Відштамповане днище знімають із пуансона при зворотному

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ході. Днище падає на підкладну плиту, установлену на столі преса, і разом з нею витягається з робочого простору.

При однаковому технологічному процесі існує кілька способів виготовлення днищ штампуванням. Ці способи в основному відрізняються застосовуваним устаткуванням і оснащенням.

7.2 Технологічний процес зборки камер.

У пристосуванні збираються фланець, обичайка, днище й прихоплюються електрозварюванням. Зварювання внутрішніх швів з обичайкою й обичайки із днищем виробляються на маніпуляторі зварювальним автоматом ТС - 17М, установленому на штанзі. Зварювання зовнішніх швів виробляється на маніпуляторі голівкою АБС. Після зварювання шви зачищаються. Фланець камери правиться на гідравлічному пресі.

Виробляється розмітка отвору під штуцер і вирізка його спеціальною голівкою. Установлюється й вимірюються косинцем правильність установки штуцера. Штуцер приварюється напівавтоматом А - 573 у середовищі вуглекислого газу.

У кожухотрубчастих теплообмінних апаратах трубний пучок є самостійною складальною одиницею, зборка якої виробляється на окремому робочому місці.

Технологічний процес зборки трубного пучка починається з підготовки труб, які обрізають в розмір, після чого їхні кінці зачищаються до металевого блиску. З одного кінця проводиться зачищення на довжині, рівній товщині решітки плюс 10 мм, з іншого кінця - на подвійну товщину плюс 10 мм. Труби заводяться довгими кінцями. Положення перегородок вимірюється й закріплюється на стяжках гайками. Набивається нижня частина трубного пучка.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В отвори решіток і перегородок заводяться інші труби так, щоб їхні кінці виходили за площину решітки на товщину останньої. При прошовуванні через решітку або перегородки труба зустрічає перешкоду через неспіввісність отворів і невеликих вигинів самої труби, що утрудняє процес зборки. З метою усунення зазначеного недоліку використається спеціальний конус - уловлювачі.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. РЕМОНТ І МОНТАЖ

Найважливішим заходом, що забезпечує надійну і економічну роботу агрегату гідрування бензолу є організація і суворе виконання системи планово - попереджувальних ремонтів, яка передбачає такі види ремонтів:

- Поточний ремонт;
- Капітальний зменшений ремонт;
- Капітальний ремонт.

Поточний ремонт – це ремонт, що виконується з метою забезпечення або відновлення працездатності обладнання і полягає в заміні і (або) відновленні його окремих складових частин.

Поточний ремонт виконують в період короткочасної зупинки агрегату, під час якої усувають дрібні дефекти, виявлені в процесі експлуатації, і проводять деякі технологічні операції, що поліпшують роботу агрегату.

Поточний ремонт не входить до числа обов'язкових ремонтів профілактичного характеру. Однак у річному графіку необхідний час на нього повинно бути передбачено. Якщо після закінчення певного часу необхідності в зупинках агрегату немає, то поточний ремонт не проводитиметься.

Капітальним зменшеним ремонтом називається сукупність робіт, при яких проводиться ревізія, ремонт або заміна окремих деталей і вузлів апаратів агрегату гідрування. Сюди ж відносяться роботи, що вимагають відновлення окремих деталей і вузлів з частковою їх заміною в ремонтно-механічному цеху.

Капітальним ремонтом називається сукупність робіт, при яких агрегату надають первинну надійність і продуктивність. Капітальний ремонт є ремонт відновний.

Ремонт реактора гідрування здійснюється в строгій відповідності із графіком ППР. Графік ППР складається на підставі ремонтного й

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробничого плану. Ремонтними нормативами визначаються структура міжремонтного циклу, міжремонтний період і тривалість простою реактора у ремонті.

Проект графіка капітального ремонту попередньо узгоджується з усіма організаціями, які на договірних засадах повинні брати участь у ремонтних роботах.

8.1 Ремонт реактора гідрування.

При проведенні заміни каталізатора в реакторі гідрування, після його пасивації, встановлюються заглушки на фланцевих з'єднаннях підходящих трубопроводів щоб уникнути забруднення трубопроводів при проведенні операцій з вивантаження каталізатора і промиванні реактора.

Після цього проводиться зняття верхньої кришки за допомогою електротельфера. Кришка встановлюється на дерев'яні підкладки, вага кришки дорівнює 1,5 тн.

При знятті верхньої кришки з неї видаляються внутрішні термокармани, ретельно маркуються за місцем установки. Термокармани складаються на підлозі III-його поверху етажерки з прийняттям заходів по уникненню їх випадкової деформації. В обов'язковому порядку робиться кольоровий контроль їх поверхні на відсутність пор і тріщин. Потім видаляють 10 зовнішніх термокарманов.

На фланцевому з'єднанні нижньої кришки з корпусом реактора знімаються діаметрально протилежні 4 шпильки М36. Замість них встановлюються 4 шпильки М36 з довгою різьблення 800 мм кожна. Знімаються всі шпильки фланцевого з'єднання, крім 4-х довгих. Потім шляхом поступового свинчівання нижніх гайок шпильок нижня кришка опускається на 500 мм, що цілком достатньо для проведення подальших операцій з вивантаження каталізатора. Щоб уникнути засмічення нижньої

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кришки каталізатором з подальшим непродуктивним її очищенням, нижню кришку накривають жорстким тонким аркушем сталі або алюмінію.

Після зняття решіток з сітками, розташованих на нижній трубної дощі корпусу реактора, відбувається мимовільне вивантаження каталізатора. Каталізатор, «завислий» у трубках, віддаляється через верхню трубну решітку реактора за допомогою вакуумної установки, що видаляє каталізатор до збірника поз. Х-163. При цьому в кожную трубку вводиться зонд, сполучений з вакуум - насосом гумовим рукавом. Каталізатор, що залишився, спечений і пристав до трубок видаляється за допомогою ударом інструментом, що не дає іскор.

Відпрацьований каталізатор вивантажують на підлогу I-го поверху етажерки, а потім затарюють його в 200 л бочки і вивозять на утилізацію.

Після вивантаження каталізатора кожную трубку промивають конденсатом і продувають повітрям.

Промивають і продувають і міжтрубний простір реактора. Якщо буде проводиться обстеження реактора для визначення залишкового ресурсу реактора і подальшого терміну його служби, то з реактора видаляється теплова ізоляція і окожушка.

Кришки, корпус реактора, трубні решітки ретельно очищаються від слідів корозії і забруднень. За програмою лабораторії металів або ЕТЦ готуються місця для заміру товщин стінок, твердості, контролю зварних швів. Поверхня реактора ретельно оглядається на відсутність тріщин і великих корозійних дефектів, значних вм'ятин.

Після обстеження реактора проводиться повний технічний огляд реактора.

Повний технічний огляд реактора включає зовнішній і внутрішній огляд і гідровипробування тиском води: трубний простір - 2,784 МПа (27,84 кг/см²), міжтрубний простір - 2,472 МПа (24,72 кг/см²) протягом 10 хвилин.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після отримання позитивних результатів обстеження реактора і (або) технічного освідчення проводиться завантаження каталізатора в трубки реактора. Перед початком завантаження проводиться ремонт висувних решіток нижньої трубної решітки каталізатора. Сітки на решітках, що знаходяться в незадовільному стані, замінюються новими. Коли висувні решітки будуть встановлені, в усі трубки у верхній трубної решітці встановлюються гумові конічні пробки щоб уникнути їх забруднення до завантаження каталізатора. При завантаженні каталізатора в трубки пробки видаляються.

Завантаження нікель - хромового каталізатора з розріджувачів - складний процес. Висота розбавлених шарів залежить від активності каталізатора, яка визначається в НТЦ ПрАТ «Сєверодонецьке об'єднання «Азот». Завантаженням каталізатора займається технологічна служба цеху. Іноді в разі дефіциту робочої сили в технологічній службі виникає необхідність виділення їм додатково для проведення завантаження каталізатора ремонтного персоналу.

Після завантаження каталізатора в трубки реактора в 10 труб Ø57x3, 5, встановлюються зовнішні термокармани. Обсяг між зовнішніми термокарманами і внутрішніми стінками труб Ø57x3,5 щоб уникнути байпасірованія парового середовища заповнюється шаром каталізатора по висоті реактора аналогічно основним трубках.

Установка верхньої і нижньої кришок здійснюється після ретельної перевірки правильності завантаження каталізатора в трубки реактора і прибирання каталізатора з верхньою трубної решітки.

Нижня кришка піднімається шляхом підтяжки гайок на 4-х подовжених шпильках М36 за допомогою домкрата.

Верхня кришка встановлюється за допомогою електротельфера Q = 2 тс.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прокладки під верхню і нижню кришки з ущільненнями шип-паз виготовляються з листового алюмінію $\delta = 4$ мм, шляхом згинання та зварювання стиків смужок шириною 12 мм.

Встановлення внутрішніх термокарманів проводиться після установки верхньої кришки строго за раніше зробленому маркуванні. Прокладки фланцевих з'єднань термокарманів виготовляються з алюмінієвого листа $\delta = 2$ мм.

Далі проводиться установка 128 шпильок М36х380 мм, фланцевих з'єднань кришок реактора та їх затягування з постійним контролем однаковості зазору між фланцями.

Після затяжки шпильок фланцевих з'єднань здійснюється складання фланцевих з'єднань трубопроводів обв'язки реактора. Матеріалом прокладок фланцевих з'єднань трубопроводів служить якісний паронит марок ПЕ, ПМБ з обмоткою прокладок фторопластовою стрічкою $\delta = 0,04$ мм, або листовий фторопласт - 4.

По мірі готовності агрегату до пневматичного випробування на щільність знімаються заглушки на фланцевих з'єднаннях трубопроводів реактора. Після складання реактора проводиться нанесення зовнішньої теплової ізоляції з подальшою окожушкою листами оцинкованої сталі.

Після закінчення ремонту всього агрегату гідрування проводиться пневматичне випробування на щільність реактора поз. Р-107 у складі агрегату тиском азоту $P = 20$ кг/см² з витримкою 4 години. По падінню тиску можна судити про герметичність агрегату і вхідних у нього апаратів. Випробування на щільність проводиться в суворій відповідності з інструкцією СПО-61.

8.2 Приймання агрегату гідрування з ремонту.

При проведенні капітального або капітального зменшеного ремонтів агрегату гідрування повинні бути виконані всі роботи, записані в дефектної

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відомості і непередбачені роботи, що виникли в ході ремонту. Відповідальність за виконання повного обсягу робіт несе керівник ремонту - механік цеху.

Після проведення випробування агрегату гідрування на щільність робочим тиском азоту з позитивними результатами, відповідно до інструкції СПО-61 «Інструкція по пневматичному випробуванню агрегатів і газових колекторів на щільність (герметичність)», проводиться зняття заглушок, що відключають агрегат від діючої системи. Після цього проводиться підписання акта прийому агрегату гідрування з ремонту (форма № 4а-МІ) технологічною службою та механічною службою, який стверджує начальник цеху. Після підписання акта агрегат гідрування вводиться в експлуатацію.

8.3 Нормативи ППР агрегату гідрування.

Нормативи планово - попереджувальних ремонтів агрегату гідрування передбачають наступні норми пробігу між ремонтами і простою агрегату гідрування в ремонті:

Таблиця 8.1

Тривалість ремонтного циклу в роках	Нормативи часу безперервної роботи між ремонтами (чисельник) і простою в ремонті (знаменник) в годинах			Кількість ремонтів в ремонтному циклі			Простій у резерві в годинах
	П	К _{зм}	К	П	К _{зм}	К	
	За системою ППР-4	2160/72	8640/312	34560/504	12	3	

8.4 Виявлення дефектів та їх усунення.

Стан кріплення кінців труб у трубних решітках перевіряють шляхом візуального огляду. При огляді варто звернути увагу на рівномірність звареного шва і його товщину, тому що шви в процесі експлуатації піддаються корозійному й ерозійному зносам. Перед очищенням внутрішніх

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2017.007.00.000 ПЗ				

поверхонь труб необхідно витягти каталізатор за допомогою вакуумного насоса. Відкладення на трубах знімають механічним чищенням. Після прочищення труби продуваються пором подаваним у кожну з них окремо.

Приховані дефекти реактора встановлюють обпресуванням міжтрубного простору при відкритих кришках. Зношену або трубу, що лопнула, виявляють при появі в ній обпресувальної рідини.

Труби, що вийшли з ладу необхідно замінити. Для цього вручну або пневматичним молотком зрізують шов, а іноді механічно обробляють гніздо в решітці. Зношені труби відглушають заглушками з двох сторін. Нещільні сполуки підварюють.

Зношені ділянки корпуса знаходять за допомогою гідравлічного обпресування або ультразвукового дефектоскопа. Підозрілі ділянки свердлять для того, щоб виміряти залишкову товщину. Корпус ремонтується, накладаючи на його зовнішню поверхню латки з листової сталі тієї ж марки, з якої виготовлений корпус. Латки приварюють встик. Розміри латки, повинні бути такими, щоб, по-перше, вона повністю накривала зношену ділянку, і, по-друге, зварювання доводилося на ділянки корпуса з достатньою товщиною.

Після ремонту реактор піддають обпресуванню при знятих кришках, потім кришки навішують і закріплюють. Всі муфти й вентилі в корпусі й кришках повинні бути очищені.

Зібраний апарат піддають остаточному обпресуванню водою. Спочатку обпресовують на контрольний тиск міжтрубний простір при відкритих спускних муфтах на кришках. Потім з нього повністю спускають воду й при відкритих спускних муфтах на корпусі обпресовують трубний простір. Величина контрольного тиску вказується в паспорті апарата. Після зняття заглушок апарат здають в експлуатацію.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.5 Монтаж реактора

Реактор встановлюється відповідно до проекту, тобто вертикально. До корпусу приварені лапи з ребрами жорсткості, відстань між якими відповідає нормам. Між корпусом і лапами апарата містяться підкладки з листової сталі, що запобігають вм'ятини на корпусі.

Реактор встановлюють у проектне положення за допомогою самохідних кранів. До трубопровідної обв'язки приступають після остаточної перевірки положення корпусу й закріплення болтів, що з'єднують лапи з постаментом. Положення реактора перевіряється схилом.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

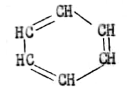
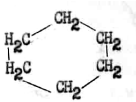
9. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Швидкий розвиток хімічної промисловості, впровадження нових технологій, інтенсифікація хімічних процесів й устаткування нерозривно пов'язані зі створенням безпечної техніки, подальшим поліпшенням умов праці, підвищенням його продуктивності, зменшенням і ліквідацією виробничого травматизму й професійних захворювань. Виробництво циклогексану є пожежо- та вибухонебезпечним і тому безпечна експлуатація забезпечується неухильним дотриманням обслуговуючим персоналом норм технологічного режиму, робочих інструкцій та інструкцій з охорони праці.

9.1 Основні фізико-хімічні властивості, пожежо- вибухонебезпечність речовин, що застосовано та добуто на виробництві циклогексану

Всі характеристики хімічних сполук які переробляються та добуваються на даному виробництві наведені в таблицях.

Таблиця 9.1 - Основні фізико-хімічні властивості речовин [11]

Найменування сполуки	Емпірична формула	Структурна формула	Агрегатний стан при н.у.	Температура плавлення, °С	Температура кипіння, °С
Раціональна номенклатура					
1	3	4	5	6	7
Бензол	C_6H_6		рідина	5,5	80,1
Водень	H_2	H-H	газ	-259,2	-252,8
Азот	N_2	$N \equiv N$	газ	-210	-195,8
Циклогексан	C_6H_{12}		рідина	-6,6	80,8

Таблиця 9.2 - Характеристика токсичності [16]

Сполука	Клас небезпеки	Характер впливу на організм людини	Гранично припустима концентрація, мг/м ³					Засоби індивідуального захисту
			у повітрі			у воді, мг/л		
			робочої зони	населеного пункту		ППК	ПДК	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Бензол	2	При великих концентраціях миттєва втрата пам'яті та смерть протягом 1-2 хвилин	5	1,5	0,8	5,0	0,5	Протигаз марки А
Водень	-	Фізіологічно інертний газ, при високих концентраціях викликає задуху.	-	-	-	-	-	Фільтруючі протигази марки М, шлангові протигази ПШ-1, ПШ-2.
Азот	-	При атмосферному тиску викликає задушливу дію.	-	-	-	-	-	Шлангові протигази ПШ-1, ПШ-2.
Циклогексан	4	Відноситься до наркотиків. Впливає на нервову систему.	80	1,4	1,4	1,0	1,0	Протигаз марки М.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2017.007.00.000 ПЗ

Арк.

Таблиця 9.3 – Показники вибухо- і пожежонебезпечності [19]

Сполука	Температура спалаху, °С	Температура самозапалення °С	Межі поширення полум'я концентраційні.				Межі спалахування температурні, °С	
			г/м ³		% об.		нижній	верхній
			нижній	верхній	нижній	верхній		
Бензол	-11	-	42	308	1,4	7,1	-14	13
Водень	-	510	3,4	66,4	4,0	7,5	-	-
Азот	-	-	-	-	-	-	-	-
Циклогексан	-18	260	-	-	1,2	10,6	-18	20

9.2 Небезпечні й шкідливі виробничі фактори на виробництві , що проектується

Основними небезпеками цеху виробництва циклогексану є:

- вибухонебезпечність,
- пожежонебезпечність,
- газонебезпечність.

Вони визначаються:

- застосуванням на робочому місці, вибухонебезпечних, легкозаймистих токсичних речовин (бензол, циклогексан, водень і інші);
- можливістю утворення у виробничих приміщеннях вибухонебезпечних сумішей при розгерметизації встаткування.

Небезпека термічного опіку визначається використанням на установці пари, конденсату і інших речовин з температурою вище 60°С.

Механічні травми - порізи, садна, забиті місця, вивихи й переломи костей можуть відбутися через порушення техніки безпеки при обслуговуванні рухливих елементів виробничого встаткування й при виконанні інших робіт.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отруєння шкідливими речовинами можуть відбутися від впливу на організм газів, пар, рідин, які можуть попадати усередину організму через легені, шлунково-кишковий тракт і шкіру.

Ураження електричним струмом можуть відбутися при неправильному обслуговуванні електроустаткування, при зіткненні з неізольованими частинами кабелів і електропроводки.

Є також інші фактори, що істотно впливають на стан здоров'я людини, такі як: шум і вібрація. Вони виникають при роботі технологічного встаткування (насоси, компресори й інші).

Апарати, що працюють у відділенні гідрування бензолу, є також джерелами небезпеки, тому що вони працюють під тиском вище 0,07 МПа й повинні відповідати вимогам «Правил будови й безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском».

9.3 Класифікація й категорійність виробництва і його приміщень

Класифікація й категорійність виробництва циклогексану і його приміщень наведені в таблиці 9.4.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 9.4 - Класифікація відділень і зовнішніх установок по вибухопожежонебезпечності, ступеню вогнестійкості, електроустаткуванню й санітарній характеристиці.

Найменування відділення установки	Категорія по вибухопожежонебезпечності згідно СНТ 24-86	Класифікація приміщень по електроустаткуванню (ПУЕ – 86)		Група виробничих процесів по санітарній характеристиці згідно СНиП 209-04-87
		Класифікація приміщень по будові електроустановок	Категорія й група вибухонебезпечних сумішей	
Насосна	А	У - 1а	ПА - ТЭ (циклогексан)	Ш- а
Компресорна	А	У - а	ПС - ТІ (водень, циклогексан)	Ш - б
Зовнішня етажерка	А	У - 1м	ПС - ТІ, ПЛ - ТЭ, ПВ - ТІ (водень, азот, метан, бензол, циклогексан)	Ш - а
ЦПУ	Д	-	-	-

Відповідно до СН - 245 - 71 проектоване виробництво належить до 1 класу [20].

Ширина санітарної зони становить 1000 м. Виробництво циклогексану пов'язане із застосуванням вибухонебезпечних легкозаймистих рідин і водню, тому основне технологічне встаткування винесене на відкриту площадку.

Роботи, що проводяться у виробничих приміщеннях: насосній та компресорній, належать до категорії II - а, припустимі значення метеофакторів наведені в таблиці 9.5.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2017.007.00.000 ПЗ				

Таблиця 9.5 - Припустимі значення метеофакторів [10]

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/ч
Холодний	середньої важкості II- а	18 - 20	60 - 40	не більше 0,2
Теплий	середньої важкості II- а	18 - 23	60 - 40	не більше 0,3

9.4 Заходи запобігання шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Щоб уникнути створення в повітрі робочої зони вибухонебезпечних концентрацій у суміші повітря, а також підвищення ГДК токсичних речовин по санітарних нормах у виробничих приміщеннях передбачена припливно-втяжна вентиляція, а також схеми відсмоктувачів від сальників насосів і шаф аналізних відборів.

Для контролю повітряного середовища у виробничих приміщеннях установлені датчики стаціонарних газоаналізаторів. При погрозі виникнення вибухонебезпечних концентрацій газоаналізатори видають сигнал у ЦПУ з автоматичним пуском аварійної вентиляції.

Щоб уникнути опіків обслуговуючого персоналу, а також для зменшення втрат тепла, апарати й трубопроводи, температура яких вище 45°C ізолюються.

Для видалення токсичних, шкідливих і їдких речовин, що потрапили на тіло людини, у виробничих приміщеннях установлені фонтанчики з водою.

Для запобігання шкідливих викидів у навколишнє середовище, всі ємності, що утримують велику кількість органічних речовин, установлені поза виробничими приміщеннями із пристроєм піддонів.

9.4.1 Вентиляція виробничих приміщень

У процесі виробництва продукції у виробничі приміщення, а так само в навколишнє середовище можливе виділення парогазових сумішей, рідких продуктів і твердих відходів виробництва, що містять шкідливі забруднюючі

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

речовини. Для зменшення їх впливу на організм людини, а так само на навколишнє середовище, передбачений комплекс заходів:

- виробничі приміщення обладнані загальнообмінною припливно-втяжною вентиляцією, що забезпечує необхідний повітрообмін. Місця можливого виділення забруднюючих речовин у вигляді парогазової суміші, обладнані місцевими втяжними пристроями.

- отдувочні гази після агрегатів гідрування скидаються на котельню цеху ПіОК. Скидання тиску з агрегатів при аварійних ситуаціях, а також при підготовці агрегату гідрування до здачі в ремонт проводиться на котельню цеху ПіОК.

Порядок експлуатації і догляду за вентиляційними повинен бути встановлений відповідно до вимог "Інструкції для експлуатації вентиляційних систем у цехах ПрАТ "Северодонецкое об'єднання Азот".

9.4.2 Опалення виробничих приміщень

Так як проєктоване технологічне обладнання розташоване на відкритому майданчику, тому розрахунок опалення не передбачається.

9.4.3 Заходи боротьби з пилом

Основним напрямком боротьби з пилом на виробництві є попередження його утворення і надходження в повітря виробничого приміщення. Для боротьби з пилом використовуються різні технічні рішення, а саме:

- заміна сухих порошних матеріалів вологими, пастоподібними, таблетованими;
- заміна порошоків таблетками або гранулами;
- герметизація устаткування та інше.

Якщо пиловиділення виключити не можна, рекомендовано пилострімування:

- водяним зрошуванням або

										2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

- зрошуванням водою з використанням змочувачів (для пилю, що погано змочується водою). В якості змочувачів можна використати сульфанол, складні органічні композиції тощо.

Якщо пиловидалення не можна попередити зовсім, рекомендовано використовувати припливно-витяжну вентиляцію і індивідуальні захисні засоби.

9.4.4 Освітлення виробничих приміщень

Непостійність природного освітлення, яке міняється протягом короткого проміжку часу, викликає необхідність нормувати природне освітлення за допомогою коефіцієнта природної освітленості (КЕО), що являє собою відношення у відсотках освітленості в даній точці приміщення до спостережуваного на тім же рівні, у той же час освітленості дифузійним світлом відкритого небозводу, і виражається в %.

Штучне освітлення призначене для освітлення робочих поверхонь у темний час доби або при недостатності природного освітлення. Штучне освітлення може бути двох систем - загальне освітлення і комбіноване освітлення. Застосування одного місцевого освітлення неприпустимо.

Робоче освітлення слід передбачати для всіх приміщень будівель, а також ділянок відкритих просторів, призначених для роботи, проходу людей і руху транспорту. Для приміщень, які мають зони з різними умовами природного освітлення та різними режимами роботи, необхідно роздільне керування освітленням таких зон.

При необхідності частина світильників робочого або аварійного освітлення може використовуватися для чергового освітлення.

Нормовані характеристики освітлення в приміщеннях і зовні будинків може забезпечуватись як світильниками робочого освітлення, так і спільною дією з ними світильників освітлення безпеки і (або) евакуаційного освітлення.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для штучного освітлення слід використовувати енергоекономічних джерела світла, віддаючи перевагу за однакової потужності джерелам світла з найбільшою світловою віддачею і строком служби.

Застосування ламп розжарювання для освітлення загального призначення потужністю 100 Вт і більше не допускається.

Освітлювальні прилади зовнішнього освітлення (світильники, прожектори) можна встановлювати на спеціально призначених для освітлення опорах, опорах повітряних ліній до 1 кВ, опорах контактної мережі електрифікованого міського транспорту всіх видів струмів напругою до 600 В, стінах і перекриттях будівель і споруд, щоглах (в тому числі щоглах окремо стоять блискавковідводів), технологічних естакадах, площадках технологічних установок і димових труб, парапетах і огороженнях мостів і транспортних естакад, на металевих, залізобетонних та інших конструкціях будівель і споруд незалежно від відмітки їх розташування, можуть бути підвішені на тросах, укріплених на стінах будівель і опорах, а також встановлені на рівні землі і нижче.

Аварійне освітлення призначене для забезпечення освітленості виробничого приміщення при відключенні робочого освітлення.

Норми на проектування штучного освітлення знову споруджуваних і реконструйованих будинків і споруджень промислових підприємств із використанням газорозрядних ламп і ламп накаливання визначаються «Будівельними нормами і правилами».

9.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях

9.5.1 Організаційна структура ЦЗН об'єкту, що проектується

Цивільний захист України - державна система органів керування, сил і засобів, призначенням яких є організація й забезпечення захисту населення

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного, природного й військового походження.

Основні завдання цивільної оборони:

- навчання населення способам захисту від сучасних засобів нападу, стихійних лих і катастроф;
- попередження виникнення надзвичайних ситуацій (НС);
- розробка заходів щодо усталеної роботи промислових об'єктів у надзвичайних ситуаціях;
- виявлення заражених територій радіоактивними й небезпечними речовинами;
- оповіщення населення про погрозу поразки;
- евакуація населення з небезпечних районів;
- надання населенню притулків і засобів індивідуального захисту;
- проведення аварійно-рятувальних робіт у вогнищах поразки;
- знезаражування територій і ряд інших завдань.
- основними завданнями цивільної оборони на сучасному етапі є:
- попередження виникнення НС;
- захист населення в мирний і воєнний час від НС;
- підвищення усталеної роботи об'єктів народного господарства в умовах НС;
- ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій;
- соціальний захист громадян, що постраждали в результаті НС мирного або воєнного часу.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

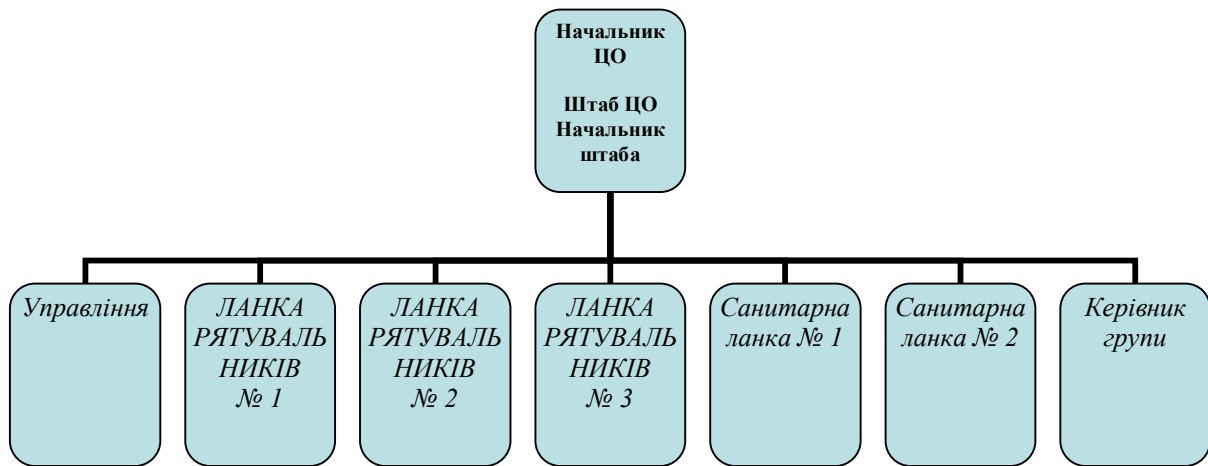


Рис.1 Структурна схема організації ЦЗ на виробництві циклогексану

9.5.2 Основні техногенні небезпеки на виробництві циклогексану

Основними небезпеками цеху одержання циклогексану є: вибухонебезпечність, пожежонебезпечність, газонебезпечність.

Вони визначаються:

- застосуванням на об'єкті вибухонебезпечних, легкозаймистих токсичних речовин (бензол, циклогексан, водень, інші речовини);
- можливістю утворення у виробничих приміщеннях вибухонебезпечних сумішей при розгерметизації устаткування й протоках;

Потенційна вибухонебезпека цеху обумовлена наявністю пожежовибухонебезпечних речовин:

Бензол – ароматичний вуглеводень, із солодкуватим ароматом, при цьому він є токсичною речовиною і канцерогенним, хімічна формула C_6H_6 . Бензол добре розчиняється водою. Температура спалаху мінус $11^{\circ}C$, мінімальна температура самозаймання $534^{\circ}C$. Пари бензолу в суміші з повітрям утворюють вибухонебезпечні суміші.

Циклогексан - легкозаймиста рідина без кольору або злегка жовтовата, легше води, температура спалаху мінус $18^{\circ}C$, температура самозаймання $260^{\circ}C$. Поріг сприйняття запаху $0,0039 - 0,0018$ мг / л. ГДК парів циклогексану в повітрі робочої зони 80 мг/м³. Являє собою вогнебезпечну

рідину, пари якої утворюють вибухову суміш з повітрям при кімнатній температурі.

Водень - безбарвний горючий газ, без запаху. Температура самозаймання плюс 510 °С. Водень в суміші з повітрям утворює вибухонебезпечні суміші.

Азот - газ без кольору запаху і смаку. Велика частина азоту знаходиться в природі у вільному стані. Повітря містить 78% азоту (за обсягом). Азот надає задушливе дію на організм людини в результаті зниження об'ємної частки кисню. Засоби захисту: ізолюючі протигази.

9.5.3. Індивідуальні і колективні засоби захисту.

Індивідуальні засоби захисту.

Для захисту органів дихання від пари циклогексану, водню, при виконанні робіт на території цеху оперативний і технологічний персонал повинен користуватися протигазами марки «М».

Відповідно до типових галузевих норм обслуговуючий персонал забезпечується спецодягом, спецвзуттям і іншими засобами захисту, які необхідно застосовувати при виконанні різних видів робіт.

Колективні засоби захисту.

До засобів колективного захисту відносять пристрої огорожувальні, ізолюючі, запобіжні, герметизуючі, автоматичного контролю та керування, захисного заземлення, занулення.

Колективні засоби захисту. Залежно від захисних властивостей підрозділяються на сховища та протирадіаційні вкриття.

Сховища являють собою спорудження, що забезпечують найбільш надійний захист людей, що вкривають у них, від впливу всіх вражаючих факторів.

Для створення необхідних умов перебування в сховищах їх наділяють системами життєзабезпечення:

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- повітропостачання (вентиляції);
- водопостачання;
- каналізації;
- опалення;
- електропостачання;
- зв'язок.

Система повітряпостачання повинна забезпечувати очищення зовнішнього повітря й видалення із приміщень тепловідлень і вологи.

Опалення сховищ здійснюється від опалювальної мережі підприємства по самостійних відгалуженнях, що відключають при заповненні сховищ людьми.

Водопостачання сховищ передбачається від зовнішньої водогінної мережі з установкою на уведенні усередині сховищ запірних арматур і зворотного клапана. Передбачається запас питної води в ємностях з розрахунку 3 (три) літри в добу на кожну людину.

Каналізація сховищ наділяється каналом стічних вод від санітарних вузлів у зовнішню каналізацію самопливом або шляхом перекачування.

Електропостачання сховищ передбачається від мережі підприємства (міста).

У сховищах варто передбачати місцеві джерела освітлення:

- переносні електричні ліхтарі;
- акумуляторні світильники.

У сховищі повинен бути телефонний зв'язок з пунктом керування цивільної оборони.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ

Однією з найбільш актуальних проблем, що хвилюють сьогодні людство, стала проблема охорони природи регіонального використання природних багатств. В Україні охорона навколишнього середовища й регіонального використання природних ресурсів завжди належала до важливих кліматичних, екологічних і соціальних завдань. Особлива відповідальність у справі охорони навколишнього середовища лягає на сучасні інженерно-технічні кадри. Вони повинні використати зроблену техніку й нову технологію виробництва з урахуванням збереження навколишнього середовища, повного комплексного використання неживої природи й забезпечення ресурсів живої природи.

10.1 Відходи, що утворюються, на виробництві циклогексану

Викиди, що утворюються, у виробництві циклогексану у вузлі гідрування бензолу, їхні властивості, склад, ГДК.

У процесі гідрування частина бензолу і водню надходять у реакцію, частина, що не прореагувала виводиться з вузла гідрування.

Бензол – ароматичний вуглеводень, із солодкуватим ароматом, при цьому він є токсичною речовиною і канцерогенним, хімічна формула C_6H_6 . Бензол добре розчиняється водою. Температура спалаху мінус $11^{\circ}C$, мінімальна температура самозаймання $534^{\circ}C$. Пари бензолу в суміші з повітрям утворюють вибухонебезпечні суміші.

Отруєння бензолом в умовах виробництва відбувається при аваріях в апаратурах, трубопроводах і т.п. Загальний характер дії на організм виражається переважно в головному болі, нудотою. У високих концентраціях C_6H_6 викликає втрату свідомості. Бензол надає шкідливу дію на нервову систему, володіє токсичними властивостями. При багаторазовому впливі малих концентрацій парів викликає вимірювання складу крові та кровотворних органів. При великих концентраціях - миттєва втрата

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

свідомості і смерть протягом декількох хвилин. Рідкий бензол дратівливо діє на шкіру, при частому зіткненні рук з бензолом з'являється сухість шкіри, тріщини, свербіж, почервоніння, набряклість, бульбашкові висипання. Припустима концентрація бензолу в робочій зоні 5мг/м³.

Циклогексан - легкозаймиста рідина без кольору або злегка жовтовата, легше води, температура спалаху мінус 18°С, температура самозаймання 260°С. Поріг сприйняття запаху 0,0039 - 0,0018 мг / л. ГДК парів циклогексану в повітрі робочої зони 80 мг/м³. Являє собою вогнебезпечну рідину, пари якої утворюють вибухову суміш з повітрям при кімнатній температурі. Циклогексан надає шкідливу дію на нервову систему, має токсичними властивостями. Рідкий циклогексан дратівливо діє на шкіру, при частому зіткненні рук з циклогексаном з'являється сухість шкіри, тріщини, свербіж і почервоніння.

Водень - безбарвний горючий газ, без запаху. Температура самозаймання плюс 510 °С. Водень в суміші з повітрям утворює вибухонебезпечні суміші. Водень не токсичний, при великих концентраціях виявляє задушливий вплив за рахунок зниження об'ємної частки кисню.

Азот - газ без кольору запаху і смаку. Велика частина азоту знаходиться в природі у вільному стані. Повітря містить 78% азоту (за обсягом). Азот надає задушливе дію на організм людини в результаті зниження об'ємної частки кисню. Засоби захисту: ізолюючі протигази.

При попаданні в атмосферу азоту людина втрачає свідомість. Постраждалого необхідно видалити із загазованої зони, застосувавши ізолюючий протигаз, робити штучне дихання, давати вдихати кисень, викликати швидку допомогу.

10.2 Вплив на здоров'я людини

Неухильне надходження хімічних речовин у навколишнє середовище, насамперед, відбивається на здоров'я населення.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Забруднення в атмосферу можуть надходити із джерел безперервного або періодичного забруднення, залпом або миттєво. У випадку залпових викидів за короткий проміжок часу в повітря виділяється велика кількість шкідливих речовин. Залпові викиди можливі при аваріях.

Оскільки бензол оточує людину в основному у вигляді отруйних випаровувань, головний шлях його попадання в організм - через органи дихання. Однак він настільки токсичний, що може проникати і через відкриті рани, і навіть через неушкоджену шкіру.

Люди, що працюють на підприємствах, де використовують бензол, ризикують своїм здоров'ям, постійно вдихаючи отруйні пари. При регулярному попаданні малих доз бензолу в організм можуть розвинутися лейкемія (рак крові) або анемія (недолік гемоглобіну в крові), порушення функції кісткового мозку, часті запаморочення, загальна слабкість, порушення сну. Також хронічне отруєння бензолом робить негативний вплив на нирки, печінку, кістки, кровоносну і нервову системи.

Надходження з повітрям є основним джерелом попадання бензолу в організм. Близько 50% бензолу, що міститься у вдихуваному повітрі, абсорбується легеньми. Тютюновий дим представляє важливий додаткове джерело надходження бензолу для курців. Питна вода не є важливим джерелом надходження бензолу в організм. Надходження бензолу з їжею може досягати 250 мкг в день; при цьому звичайна теплова обробка може збільшувати вміст бензолу в продуктах харчування.

Гостре отруєння даною речовиною ще небезпечніше і супроводжується низкою характерних симптомів: запамороченням і головним болем, нудотою, блювотою, частим пульсом, падінням тиску, втратою свідомості, судомами. У людини різко міняється настрій: сильне збудження раптом змінюється занепадом сил і бездіяльністю. В особливо важких випадках така інтоксикація може закінчитися летальним результатом.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Бензол у високих концентраціях викликає в людини миттєву втрату пам'яті й протягом 1-2 хвилин смерть.

Подразнення відчувається вже при 0.05мг/л; найменша концентрація, що викликає наркотичну дію; 0.01мг/л - головний біль; 0.18мг/л нудота й блювота; 0.23мг/л - втрата свідомості.

Робота можлива при концентрації C_6H_6 0.03-0.04мг/л C_6H_6 . При концентрації 0.05-0.07мг/л - виникає небезпека для здоров'я.

10.3 Вплив на тварин

Картина хронічного отруєння бензолом і циклогексаном для тварин виглядає таким чином:

- у білих мишей, щурів, морських свинок і кроликів швидко починається безперервне тремтіння, що змінюються судомами всього тіла, пізніше нерухомістю. Периферичні судини розширені, подих загальмовано. Смерть від зупинки дихання. Рефлекси зникають майже перед самою смертю.

- у кішок - подразнення слизових оболонок очей, носа і дихальних шляхів, тремтіння, м'язові посмикування, температура тіла знижена. У собак - часто типові судоми. При розтині загиблих тварин виявляється тільки повнокров'я мозку, легенів та органів черевної порожнини.

Висока температура навколишнього повітря підсилює токсичну дію, однак при адаптації тварини до високої температури посилення дії парів бензолу виражено слабко. Низька температура повітря знижує чутливість тварин до бензолу.

По Лейману кролики, кішки й собаки можуть місяцями витримувати щоденне вдихання (по 8 годин) 0.7-1мг/л. Але по Хорванту при концентрації - 1мг/л морські свинки й кролики гинули через 4-10 днів. При цьому виявлялися - гнійне запалення дихального горла, бронхів, легенів, фіброзний або гнійний плеврит.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10.4 Характеристика стічних вод, рідких і твердих відходів, методи видалення й знешкодження

Установа гідрування бензолу не має технологічних стічних вод, що направляють у водойми санітарно-побутового водовикористання або на спорудження біохімічного очищення.

Всі стічні води, що утворюються в процесі виробництва, направляються на спалювання на установку термічного знешкодження відходів виробництва адипінової кислоти.

На установку спалювання передбачене скидання всіх потоків органічних продуктів, а також стічних вод від гідрозатворів, затворної рідини від сальників насосів, забрудненого конденсату від вузлів адсорбції.

Твердими відходами установки гідрування є відпрацьовані каталізатори, які направляються на переробку на підприємства кольорової металургії, а також відпрацьоване активне вугілля від вузлів адсорбції, що перед вивантаженням піддається обробці гострою парою для видалення слідів органічно направляється в накопичувач твердих відходів підприємства.

Рідкі горючі відходи установки гідрування направляються попередньо на існуючий склад проміжних продуктів, звідки періодично подаються на установку термічного знешкодження відходів.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

11.1. Обґрунтування проєктованих організаційно-технічних заходів

У даному дипломному проєкті розглядається впровадження мідно-хромового каталізатора в реактор гідрування бензолу. Впровадження проєктованого каталізатора дозволить збільшити продуктивність апарата з 80000 т/рік до 97000 т/рік.

Ціна нікелевого каталізатора 25,2 грн/кг.

Питома витрата нікелевого каталізатора 0,314 кг/т.

Ціна каталізатора мідно-хромового 11,34 грн/кг.

Питома витрата каталізатора мідно-хромового - 0,314 кг/т.

12.2 Вихідні дані:

При проведенні економічного обґрунтування проєктованого виробництва за базу порівняння приймаємо діюче на ПрАТ “Сєвєродонецьке Об'єднання Азот” виробництво циклогексану номінальною потужністю 80000 т/рік, планова калькуляція якого представлена в табл.11.1.

1) відпускна ціна готової продукції – 5504,5 грн./т.;

2) чисельність персоналу цеху становить 234 осіб., у т.ч. основні робітники 153 осіб.;

3) вартість основних виробничих фондів цеху становить 41710,0 тис. грн., їх структура представлена у таблиці 11.2;

4) годинна продуктивність устаткування становить 10 т./год.;

5) сумарна тривалість ремонтних простоїв протягом року - 760 годин, в т.ч. 480 годин – капітальний ремонт, 260 годин – поточний ремонт.

6) годинна продуктивність устаткування становить 10 т/год.;

Калькуляція собівартості одиниці продукції виробництва циклогексану наведена в таблиці 11.1.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 11.1.

Статті витрат	Одиниц і виміру	Витрати на одиницю продукту		
		Кіл.	Ціна	Сума
1. Сировина й матеріали: - бензол кам'яновугільний Разом сировини і матеріалів:	Тн	0,944	4793,0	4524,59 4524,59
2. Напівфабрикати: - АВС Разом напівфабрикати:	Тм ³	1,004	227,90	228,81 228,81
3. Зворотні відходи - отдув.гази (ц.301) Разом зворотні відходи:	Тм ³	0,115	100,28	11,53 11,53
4. Допоміжні матеріали: - к-тор СМ-У цех Л1/2 - к-тор нікелевий Разом допоміжні матеріали:	кг кг	0,068 0,060	115,85 25,2	7,90 6,95 14,85
Разом за вирахуванням відходів:				4756,72
5. Енерговитрати: - азот технічний, комприм. к.1 - пар технологічний - електроенергія - азот чистий Р=200 - вода оборотна ВОЦ-20 Разом енерговитрати:	Тм ³ ГКал ГКвт/ч Тм ³ Тм ³	0,014 0,97 0,0822 0,002 0,063	128,34 124,11 310,08 737,66 162,86	1,80 120,38 25,49 1,48 10,26 159,41
Разом енерговитрати:				159,41
Зарплата Нарахування на зарплату Загальновиробничі витрати (ВУЕУ) Аморт. обладнання Загальновиробничі витрати (цех.) Аморт. основних засобів Виробнича собівартість Повна собівартість:				23,99 9,08 24,43 4,22 30,43 2,25 4980,1

									2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Вартість основних виробничих фондів:

Таблиця 11.2

Найменування основних фондів	од.вим.	Вартість основних фондів
Споруди, передаточні устаткування	Тис.грн	26756,5
Машини, обладнання	Тис.грн	14874,6
Транспортні засоби	Тис.грн	61,1
Інструменти, інвентар, меблі	Тис.грн	17,8
Загалом:	Тис.грн	41710,0

11.3 Розрахунок річної виробничої потужності

У даному розділі розраховується річна виробнича потужність виробництва циклогексану з урахуванням можливого збільшення годинної продуктивності апарата.

Для безперервних хімічних процесів розрахунок річної виробничої потужності визначається по формулі:

$$M_r = N \cdot q_{\text{ч}} \cdot T_{\text{эф}}, \quad (11.1)$$

де M_r – величина річної виробничої потужності;

N - кількість паралельно працюючих однойменних одиниць устаткування (на виробництві задіяний 1 реактор гідрування бензолу);

$q_{\text{ч}}$ – годинна продуктивність устаткування ($q_{\text{ч}} = 10$ т/г);

$T_{\text{эф}}$ – ефективний фонд робочого часу устаткування, г.

$$T_{\text{эф}} = T_{\text{к}} - T_{\text{рем}}, \quad (11.2)$$

де $T_{\text{к}}$ – фонд календарного часу рівний 8760 ч.;

$T_{\text{рем}}$ – сумарна тривалість ремонтних простоїв протягом року, г.;

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виходячи з графіка ППР за рік планується 1 капітальний ремонт тривалістю 480 годин та 1 поточний ремонт тривалістю 280 год.

Ремонтний простій, що всього регламентується, за рік складе:

$$T_{PEM} = T_K + T_{II} \quad (11.3)$$

$$T_{PEM} = 480 + 280 = 760 \text{ год};$$

Фонд ефективного часу в перебігу 1 року складе:

$$T_{ef} = 8760 - 760 = 8000 \text{ год};$$

Річна виробнича потужність виробництва циклогексану в діючому виробництві:

$$M_r = 1 \cdot 10 \cdot (8760 - 760) = 80 \text{ тис. т. /рік.}$$

Річна виробнича потужність проектного виробництва циклогексану:

$$M_{r1} = 1 \cdot 12,125 \cdot (8760 - 760) = 97000 = 97 \text{ тис. т. /рік.}$$

Річний об'єм проектного виробництва (Q) приймається на рівні розрахункової річної виробничої потужності (M_r):

$$Q_1 = M_{r1};$$

Таким чином, впровадження проектного заходу приведе до збільшення випуску продукції на 17000 т/рік. ($\Delta Q = Q_1 - Q_0 = 97000 - 80000 = 17000$ т/рік).

Індекс зміни об'єму випуску циклогексану за рахунок впровадження проєктованих заходів становить:

$$I_Q = \frac{Q_1}{Q_0} = \frac{97000}{80000} = 1,2125;$$

Річний обсяг виробництва циклогексану за рахунок проектного збільшення годинної продуктивності апарата збільшився на 17000 т/рік, або на 21,25%.

11.4 Розрахунок одноразових витрат на впровадження проєктованих заходів

Проектване технічне рішення не потребує одноразових витрат, тому розрахунки не здійснюються.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11.5 Аналіз зміни собівартості

11.5.1 Обґрунтування і розрахунок індексів зміни витрат

Розрахунок виробляється по калькуляційних статтях з урахуванням зміни їхніх окремих елементів:

По статтях калькуляції «Напівфабрикати», «Сировина й матеріали», «Поворотні відходи», «Допоміжні матеріали», «Енерговитрати», залежно від проектованої зміни питомої витрати й цін на окремі види ресурсів розрахунок зниження повної собівартості у вартісному еквіваленті розраховується відповідно до залежності:

$$\Delta C_i = \frac{C_0 \times \Delta C_{i(\%)}}{100}, \quad (11.4)$$

де C_0 – повна собівартість одиниці продукції на діючому виробництві, грн. /т.

1. Зміна повної собівартості по статті «Допоміжні матеріали» розраховується відповідно до залежності:

$$\Delta C_i = 100 \times (I_{\text{катализ}}^P \times I_{\text{катализ}}^U - 1) \times d_{\text{ст}} \times d_i; \quad (11.5)$$

Індекс витрати катализатора обчислюють по формулі:

$$I_{\text{катализ}}^P = \frac{Q_1}{Q_0} = \frac{Q_0 + \Delta Q}{Q_0}; \quad (11.6)$$

де Q_0 - питома витрата нікелевого катализатора в діючому виробництві, кг/т;

Q_1 - питома витрата мідно-хромового катализатора в проектованому виробництві.

$$I_{\text{катализ}}^P = \frac{0.314}{0.314} = 1;$$

Питома вага статті $d_{\text{ст}}$ у собівартості продукції обчислюють по формулі:

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

2017.007.00.000 ПЗ

$$d_{cm} = \frac{C_{CT}}{C_0}; \quad (11.7)$$

де C_0 – повна собівартість, грн/т;

C_{CT} – собівартість статті витрат, грн/т.

$$d_{cm} = \frac{14,85}{4980,1} = 0.003;$$

Індекс ціни I_i^u обчислюють по формулі:

$$I_i^u = \frac{Ц_1}{Ц_0}; \quad (11.8)$$

де $Ц_0$ – ціна нікелевого каталізатора, грн.;

$Ц_1$ – ціна каталізатора мідно - хромового грн.

$$I_i^u = \frac{11,34}{25,2} = 0,45;$$

Питома вага елемента в статті витрат ді обчислюють по формулі:

$$d_i = \frac{C_i}{C_{CT}}; \quad (12.9)$$

де C_i – собівартість нікелевого каталізатора, грн/т

$$d_i = \frac{7.9}{14,85} = 0.53;$$

Зміна собівартості складе:

$$\Delta C = 100 \cdot (1 \cdot 0,45 - 1) \cdot 0,003 \cdot 0,53 = -0.09\%;$$

або

$$\Delta C = -\frac{0,09}{100} \cdot 4980,1 = -4,48(\text{грн.});$$

2. Зміна повної собівартості по статті «Зарплата основних робітників з відрахуваннями» розраховується відповідно до залежності:

$$\Delta C_{онл} = 100 \times \left(\frac{I_3}{I_Q / I_N} - 1 \right) \times d_{cm}, \quad (11.10)$$

$$\Delta C_{онл} = 100 \times \left(\frac{1}{1,2125/1} - 1 \right) \times 0,0048 = -0,084\%;$$

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta C_{опл} = \frac{4980,1 \times (-0,084)}{100} = -4,18 \text{ грн./т.}$$

3. Зміна повної собівартості по статті «Витрати на ремонт зміст і експлуатацію встаткування (ВУЕУ)» визначається відповідно до залежності:

$$\Delta C_{\text{А\textcircled{A}\textcircled{A}}} = 100 \times \left(\frac{1}{I_Q} - 1 \right) \times d_{cm},$$

$$\Delta C_{\text{А\textcircled{A}\textcircled{A}}} = 100 \times \left(\frac{1}{1,2125} - 1 \right) \times 0,0049 = -0,0857\%;$$

$$\Delta C_{опл} = \frac{4980,1 \times (-0,0857)}{100} = -4,27 \text{ грн./т.}$$

4. Зміна повної собівартості по статті «Загальновиробничі витрати» визначається відповідно до залежності:

$$\Delta C_{\text{общ}} = 100 \times \left(\frac{I_{\text{общ}}}{I_Q} - 1 \right) \times d_{cm},$$

$$\Delta C_{\text{общ}} = 100 \times \left(\frac{1}{1,2125} - 1 \right) \times 0,006 = -0,105\%;$$

$$\Delta C_{опл} = \frac{4980,1 \times (-0,105)}{100} = -5,23 \text{ грн./т.}$$

Результати розрахунків зводяться в таблицю 11.3.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 11.3.

Статті витрат	Витрати на одиницю продукції по базовому варіанту		Зниження собівартості в проектованому виробництві		Витрати на од. продукції у проектованому виробництві грн/т
	грн./т.	пит. вага, d	%	грн./т.	
1. Напівфабрикати	228,81	0,046	0	0	228,81
2. Сировина й матеріали	4524,59	0,91	0	0	4524,59
3. Зворотні відходи	11,53	-	0	0	11,53
4. Допоміжні матеріали	14,85	0,003	-0,09	-4,48	10,37
5. Енерговитрати	159,41	0,032	0	0	159,41
6. Зарплата з відрахуваннями	23,99	0,0048	-0,084	-4,18	19,81
7. ВУЕУ	24,43	0,0049	-0,0857	-4,27	20,16
8. Загальвиробничі витрати	30,43	0,006	-0,105	-5,23	25,2
Повна собівартість:	4980,1	1	0,3647	18,16	4961,94

Зниження собівартості в проектованому виробництві складе:

$$4980,1 - 4961,94 = 18,16 \text{ грн/т};$$

11.6 Розрахунок техніко-економічних показників діяльності підприємства в проектованому періоді

Ефективність запропонованого технічного рішення визначається шляхом порівняння основних ТЕП діючого і проектованого виробництв.

1. Річний обсяг виробництва вінілацетату:

а) у натуральному виразі:

- базового виробництва:

$$Q_0 = 80000 \text{ т/рік}$$

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

2017.007.00.000 ПЗ

$$\Delta C = \left(\frac{481308180 - 398408000}{481308180} \right) \cdot 100\% = 17,22\% ;$$

3. Прибуток від виробництва циклогексану:

а) прибуток одиниці продукції:

$$П_{од} = Ц - C_{од} \quad (11.13)$$

де Ц - ціна 1т циклогексану, Ц=5504,5 грн/т;

- базового виробництва: $П_0 = 5504,5 - 4980,1 = 524,4$ грн/т;

- проектового виробництва: $П_1 = 5504,5 - 4961,94 = 542,56$ грн/т.

Зміна прибутку:

$$\Delta П = 542,56 - 524,4 = 18,16 \text{ грн};$$

$$\Delta П = \frac{542,56 - 524,4}{524,4} \cdot 100 = 3,46\% ;$$

б) річний прибуток:

$$П = Q \cdot П_{од} \quad (11.14)$$

$$П_0 = 80000 \cdot 524,4 = 41952000 \text{ грн};$$

$$П_1 = 97000 \cdot 542,56 = 52628320 \text{ грн}$$

$$\Delta П = 52628320 - 41952000 = 10676320 \text{ грн.}$$

$$\Delta П = \left(\frac{52628320 - 41952000}{41952000} \right) \cdot 100\% = 25,45\% ;$$

4. Рентабельність витрат на виробництво продукції:

$$P_{п} = \frac{П}{C} \cdot 100, \% \quad (11.15)$$

- базового виробництва: $P_0 = \frac{41952000}{398408000} \cdot 100 = 10,53\%$

- проектового виробництва: $P_{п1} = \frac{52628320}{481308180} \cdot 100 = 10,93\%$

$$\Delta P = 10,93 - 10,53 = 0,4\% ;$$

5. Вартість основних фондів:

Вартість основних виробничих фондів цеху становить:

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок: Аналіз основних показників виробництва 1 тонни циклогексану показав, що внаслідок впровадження технічного заходу відбулося зниження собівартості продукції, що випускається, в проєктованому виробництві на 0,36% і зростання прибутку на 3,46%.

В порівняльній таблиці техніко-економічних показників відображені всі прораховані показники. Додатковий прибуток від реалізації продукції складає 10676320 грн/рік. Рентабельність витрат на виробництво збільшилася на 0,4%. Річний економічний ефект від зниження собівартості 1 тонни циклогексану складає 1761520 грн/рік.

Виходячи з аналізу вищенаведених розрахунків, можна зробити висновок, що запропоноване технічне рішення економічно ефективно і може бути впроваджене у виробництво.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Даний дипломний проект - проект виробництва циклогексану потужністю 97000 т/рік, з розробкою реактора гідрування . Розглянуто існуючі методи одержання циклогексану й за основу прийнятий більше прогресивний метод парофазного гідрування бензолу на стаціонарному нікелевому катализаторі. Такий метод застосовується на установці гідрування бензолу на ПрАТ «Об'єднання Азот».

На відміну від базового виробництва запропоноване більше ефективне гідрування бензолу в циклогексан. Для цього рекомендовано поміняти нікелевий катализатор фірми «Энгельгард корпорейшн», що має низьку каталітичною активністю й механічною міцністю на мідно-хромовий катализатор ОСТ-113-03-314-86 вітчизняного виробництва з більше низькою собівартістю.

Застосування нового катализатора гідрування приводить до зниження собівартості одиниці продукції на 0.36%. Річний економічний ефект від зниження собівартості 1 тонни циклогексану складає 1761520 грн/рік.

Внесена зміна не знижує якість виробленої продукції. Одержуваний циклогексан відповідає вимогам ГОСТів.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Капкин В.Д., Савицкая Г.А., Чапурин В.И. Технология органического синтеза – М: Химия, 1987.
2. Ермакова В.В. «Производство капролактома» // Химия Украины: 2001 - № 7 – с. 90.
3. Технічні умови на ремонт агрегату гідрування бензолу цеху спиртів і кетонів ПрАТ «Сєверодонецьке об'єднання«Азот»/ Сєверодонецьк, 2005 .
4. Производство капролактома / Под редакцией В.И. Овчинникова, В.Р. Ручинского – М: Химия, 1977 – 248с.
5. Мурзин Д.Ю., Кулькова Н.В. Термодинамика реакций гидрирования бензола // Химия Р.Ж., 1991, с. 118.
6. Проскурин А.М., Навахолина М.Д. Исследование кинетики гидрирования бензола на никельсодержащих катализаторах // Химия Р.Ж., 1989, с. 161 – 163.
7. Любарский Г.Д., Снаговский Ю.С., Островский Г.М. Кинетика гидрирования бензола на никеле // Кинетике и катализ: - 1966 - № 2 – с. 258-265.
8. Темкин М.И. Кинетика стационарных реакций, ДАН СССР – 1963 – т. 152 - № 1 – с. 156-158.
9. Технологический регламент № 116 отделения гидрирования цеха циклогексанола производства капролактама, соли АГ и органических кислот.
10. Романков П.Г., Носков А.Н. Сборник расчетных диаграмм по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – М – Л: Химия, 1977, с. 30.
11. Краткий справочник физико-химических величин /Под редакцией А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. – Л: Химия, 1983, с. 232.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Методические указания к тепловому расчету кожухотрубчатых теплообменных аппаратов. Для студентов специальности 7.090220 / сост. В.Б. Модестов, В.А. Носач - Северодонецк, СТИ, 2003. - 52 с., 4 прил.

23. В.В. Іванченко та ін. Конструювання та розрахунок кожухотрубчастих теплообмінних апаратів. – Северодонецьк: вид. СНУ, 2015. – 324 с.

					2017.007.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		