

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра хімічної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота магістра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
освітня програма "Обладнання хімічних виробництв
і підприємств будівельних матеріалів"

Тема роботи: Виробництво толуолу. Розробити та модернізувати випарник ректифікаційної установки

Виконав:

студент групи ХМ.м-01/1

Лебедь Костянтин Володимирович

підпис

Залікова книжка

№ 16510027

Кваліфікаційна робота магістра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20__ р.

Підпис голови

(заступника голови) комісії

Керівник:

докт. техн. наук, зав. каф.

Склабінський В.І.

підпис, дата

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 74 с., 14 рис., 2 табл., 1 додаток, 23 джерела.

Графічні матеріали: технологічна схема блоку ректифікації із виділенням бензолу і толуолу, складальне креслення випарника із паровим простором, креслення складальних одиниць випарника – усього 5,0×А1 аркушів графічної частини.

Тема кваліфікаційної роботи «Виробництво толуолу. Розробити та модернізувати випарник ректифікаційної установки».

У роботі проведено літературний огляд за тематикою кваліфікаційної роботи, а саме: проведено аналіз способів виробництва ароматичних вуглеводнів; розглянуто конструктивні особливості кожухотрубних випарників із паровим простором; запропонована модернізація теплообмінного апарату. Виконані технологічні та конструктивні розрахунки проектного апарату. Проведені розрахунки апарату на міцність та герметичність, що підтверджують працездатність і надійність роботи випарника. Розроблено схему автоматизації технологічного процесу з використанням сучасних контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації. Подано аналіз потенційних небезпек і шкідливостей, що виникають при експлуатації обладнання ректифікаційної установки із виділенням бензолу і толуолу. Виконано розрахунок захисного заземлення.

Ключові слова: ВИРОБНИЦТВО, РЕКТИФІКАЦІЯ, ТОЛУОЛ, ВОДЯНА ПАРА, ВИПАРНИК, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЗАЗЕМЛЕННЯ.

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	5
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМАТИКОЮ ПРОЕКТУ	7
1.1 Аналіз способів виробництва ароматичних вуглеводнів	7
1.2 Конструктивні особливості кожухотрубних випарників із паровим простором	13
1.3 Обґрунтування модернізації теплообмінного апарату	15
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	17
2.1 Опис технологічної схеми ректифікаційного блоку із виділенням бензолу і толуолу	17
2.2 Теоретичні основи теплообмінних процесів	19
2.3 Опис об'єкту розробки	24
2.4 Технологічні розрахунки	25
2.5 Конструктивні розрахунки апарату	31
2.6 Визначення гідравлічного опору апарату	32
2.7 Розрахунок і вибір допоміжного обладнання	34
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	40
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	40
3.2 Розрахунки на міцність, стійкість та герметичність	41
4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА	48
4.1 Обґрунтування компонування основного та допоміжного обладнання	48
4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання	50
5 ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА АПАРАТУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ	56
5.1 Вибір та обґрунтування параметрів контролю, регулювання та вимірювання	56

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Лебедь</i>				Випарник толуолу <i>Пояснювальна записка</i>	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Склабінський</i>						3	74
<i>Реценз.</i>						СумДУ, ХМ.м-01/1		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	<i>Склабінський</i>							

5.2 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації	58
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	60
6.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей під час роботи установки виробництва толуолу	60
6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактору	67
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	72
ДОДАТОК – Специфікації до графічної частини	

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
						4
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Сучасне промислове виробництво ароматичних вуглеводнів засноване на процесах переробки нафтових фракцій та меншою мірою на процесах коксування кам'яного вугілля. Вихід ароматичних вуглеводнів при коксуванні вугілля становить 0,8–1,5 % сухої шихти. У нафтопереробній промисловості ароматичні вуглеводні – бензол, толуол, ізомери С8, триметилбензоли та інші виділяються з продуктів каталітичного риформінгу бензинових фракцій, а також піролізу газоподібних та рідких вуглеводнів [1].

Толуол ($C_6H_5CH_3$) – це безбарвна рухлива летюча рідина з різким запахом, що характеризується наркотичною дією, не розчиняється у воді, добре розчиняється в органічних розчинниках, розчиняє полімери. Температура кипіння становить 110,6°C. Пари толуолу легко утворюють вибухонебезпечні суміші, що займаються навіть від іскри статичної електрики [2].

Уперше толуол був отриманий під час перегонки соснової смоли. На даний час, толуол отримують із нафтових фракцій та кам'яновугільної смоли. Кам'яновугільний толуол, що утворюється у процесі коксування, вилучають з коксового газу у вигляді компоненту сирого бензолу, піддають сірчаноокислотному очищенню (для видалення ненасичених і сірковмісних сполук) і виділяють ректифікацією [3].

Сучасні установки каталітичного риформінгу для виробництва високооктанових компонентів автобензинів складаються з трьох основних блоків [1]:

- блок попереднього гідроочищення сировини;
- блок каталітичного риформінгу;
- блок стабілізації та фракціонування каталізатору.

Виробництво індивідуальних ароматичних вуглеводнів, окрім блоків попереднього гідроочищення сировини та каталітичного риформінгу (платформінгу), має у своєму складі додаткові блоки [1]:

- блок селективного гідрування ненасичених вуглеводнів (догідрування);
- блок екстракції з регенерацією розчинника;

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

- блок ректифікації ароматичного екстракту на індивідуальні ароматичні вуглеводні (бензол, толуол).

У зв'язку з неухильним зростанням обсягів переробки нафтопродуктів питання вдосконалення технології та розвитку нових методів виробництва набувають великого значення. У даній кваліфікаційній роботі запроєктовано кожухотрубний теплообмінник із паровим простором для випаровування толуолу.

Загалом, магістерську кваліфікаційну роботу виконано у відповідності до методичних вказівок [4] із представленням усіх регламентованих розділів.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМАТИКОЮ ПРОЕКТУ

1.1 Аналіз способів виробництва ароматичних вуглеводнів [1, 5]

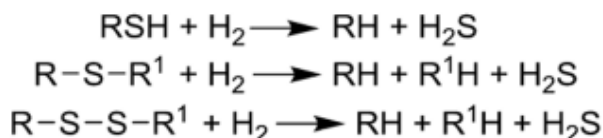
Сировиною для виробництва індивідуальних ароматичних вуглеводнів є бензинова фракція з температурою кипіння 62–105°C.

Гідроочищення сировини риформінгу. Гідроочищення сировини риформінгу призначене для видалення речовин, що є контактними отрутами металевих платинових каталізаторів: сполук сірки, азоту, металевих органічних сполук та ненасичених вуглеводнів.

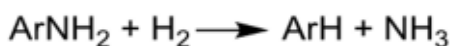
Процес відбувається на гідруючих алюмо-кобальт або алюмо-нікель-молібденових каталізаторах, продукти гідрування (сірководень, аміак) видаляються. З'єднання металів відкладаються на каталізаторі та поступово знижують його активність. Воду, що утворилася, видаляють у відпарній колоні.

У нафтопродуктах сірка знаходиться у вигляді меркаптанів (RSH), сульфідів (R – S – R¹) та дисульфідів (R – SS – R¹). У бензинах процесів вторинної переробки нафтових фракцій перебувають ненасичені вуглеводні.

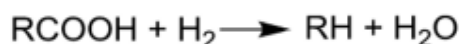
Сполуки сірки легко гідруються у вуглеводні та сірководень:



Азотисті сполуки гідруються у вуглеводні та аміак:



Кисневі похідні при гідроочищенні перетворюються на вуглеводні та воду:



Усі реакції гідрування екзотермічні, але сумарний тепловий ефект невеликий, не більше 20–87 кДж/кг сировини. Тому процеси гідроочищення не супроводжуються значним підвищенням температури в реакторі: на вході до реактора

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

становить 330–350°C, на виході становить 370–380°C. Кратність циркуляції ВСГ у межах 80–300 нм³/м³ сировини.

Принципова технологічна схема блоку гідроочищення бензинової фракції показана на рис. 1.1.

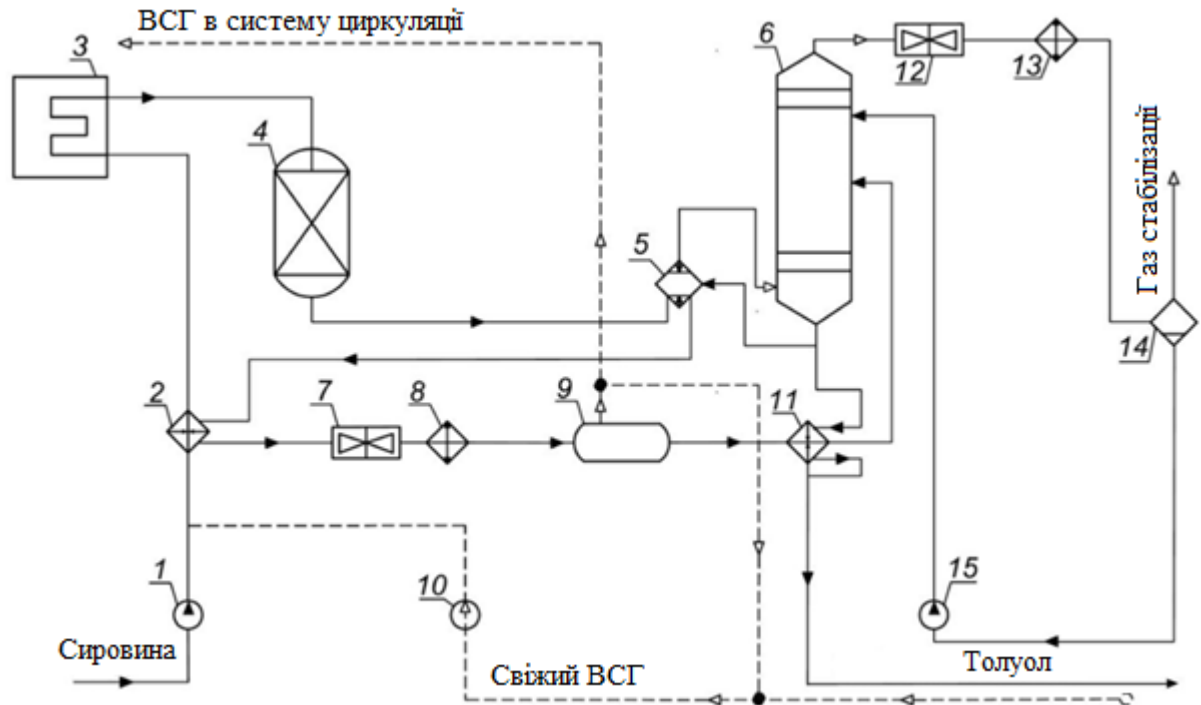


Рисунок 1.1 – Технологічна схема блоку гідроочищення сировини риформінгу:
1, 15 – насоси; 2, 5, 11 – теплообмінники; 3 – піч; 4 – реактор; 6 – стабілізаційна колона; 7, 12 – апарати повітряного охолодження; 8, 13 – холодильники; 9 – сепаратор; 10 – компресор; 14 – відстійник

Сировина насосом 1 подається в теплообмінник 2, що обігривається продуктами реакції, нагрівається в печі 3 і за температури 330–350°C надходить у реактор 4. Тиск у реакторі 4 підтримується в інтервалі 3,5 МПа. У реакторі 4 відбувається процес гідрування сировини під тиском циркулюючого ВСГ. Гідрогенізація проходить через теплообмінник 5, що є виносним підігрівачем стабілізаційної колони 6, направляється в теплообмінник 2, повітряний холодильник 7 і водяний холодильник 8, потім сепаратор 9. У сепараторі 9 відбувається відділення ВСГ від гідрогенізату. ВСГ повертається в систему циркуляції, гідрогенізація подається в стабілізаційну колону 7. Частина ВСГ змішується зі свіжим потоком ВСГ і надхо-

дить на всмоктування циркуляційного компресора 10, потім – на змішування з сировиною. Гідроґеніза́т із сепаратора 9 через теплообмінник 11 подається на живлення стабілізаційної колони 6. У стабілізаційній колоні 6 відганяються легкі вуглеводні і ВСГ, які надходять у повітряний конденсатор 12, водяний холодильник 13 і направляються в газосепаратор 14. Зверху газосепаратора гази стабілізації скидаються на факел, конденсат насосом 15 повертається в стабілізаційну колону у вигляді флегми, знизу газосепаратора вода в міру накопичення скидається в ХЗК. Кубова рідина стабілізаційної колони 6, що являє собою толуол, через холодильник 11 спрямовується у товарний парк.

Каталітичний риформінг (платформінг). Принципова технологічна схема блоку риформінгу наведена на рис. 1.2.

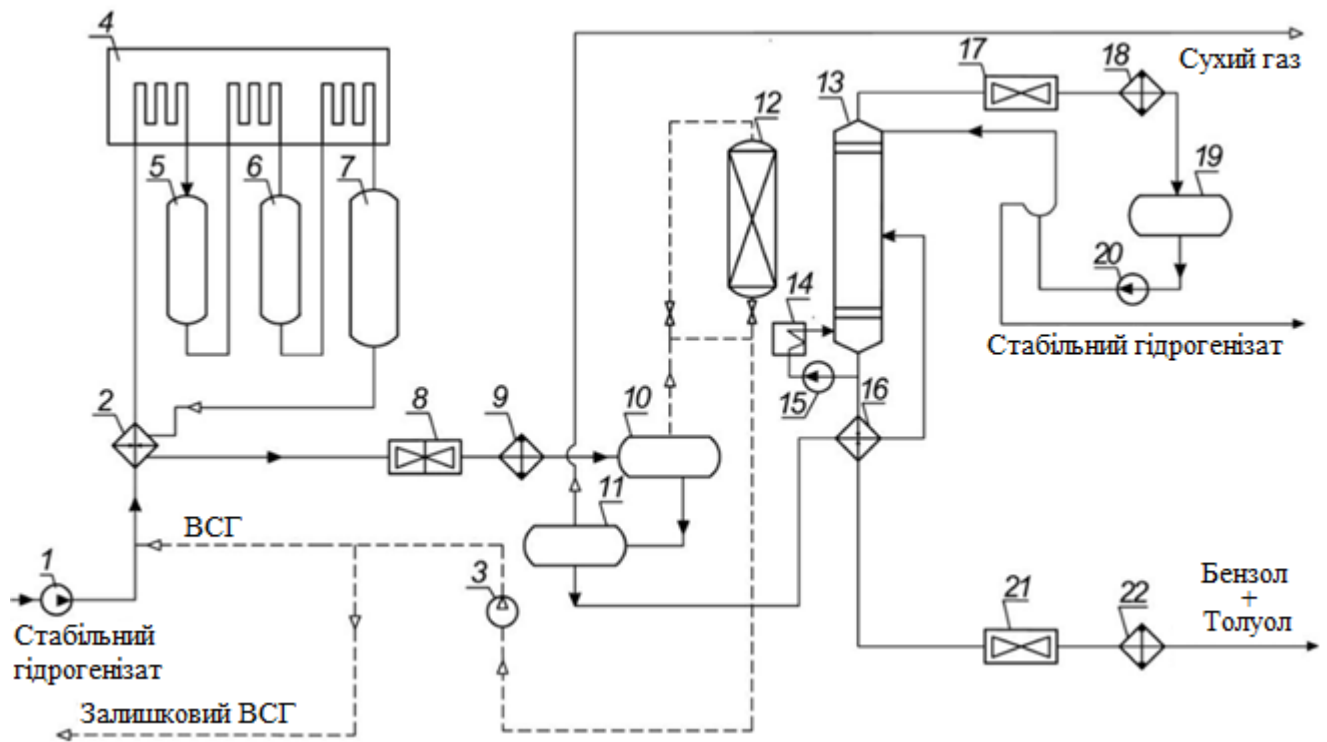


Рисунок 1.2 – Технологічна схема блоку каталітичного риформінгу:

1, 15, 20 – насоси; 2, 16 – теплообмінники; 3 – компресор; 4, 14 – печі; 5, 6, 7 – реактори; 8, 17, 21 – апарати повітряного охолодження; 9, 18, 22 – холодильники; 10, 11 – сепаратори; 12 – адсорбер; 13 – стабілізаційна колона; 19 – збірник

Стабільний гідроґеніза́т насосом 1 направляється в теплообмінник 2 після попереднього змішування з циркуляційним ВСГ. Циркуляційний ВСГ подається

компресором 3. Стабільний гідрогеніза́т в теплообміннику 2 нагрівається реакційною масою з реактора 7 і направляється в першу секцію печі 4, далі подається в перший реактор 5. Реакційна маса з першого реактора надходить у другу секцію печі 4, звідки прямує у другий реактор 6. Реакційна маса з другого реактора надходить у третю секцію печі 4, звідки прямує в третій реактор 7. Реакційна маса після третього реактора проходить через теплообмінник 2, повітряний конденсатор 8, водяний холодильник 9 і надходить у сепаратор високого тиску 10.

У сепараторі 10 з реакційної маси, що представляє газорідну суміш, відокремлюється ВСГ. ВСГ за необхідності проходить адсорбер 12, заповнений цеолітом, для осушення від вологи і подається на всмоктування циркуляційного компресора 3. Надлишковий ВСГ частково прямує на блок гідроочищення сировини риформінгу, решта – в загальнозаводську мережу. Рідкі продукти (нестабільний каталіза́т) перетікає в сепаратор низького тиску 11 за рахунок різниці тисків, де від рідкої фази відокремлюється сухий газ (вуглеводні С1–С2), який відбирається зверху сепаратора. Нестабільний каталіза́т знизу сепаратора 11 через теплообмінник 16 подається на живлення стабілізаційної колони 13. Куб колони обігрівається за рахунок циркуляції стабільного каталізату насосом через піч 14. Зверху колони 13 відганяється пропан-бутанова фракція через водяний холодильник 18 і надходить у збірник 19. Зі збірника 19 головка стабілізації частково повертається в колону у вигляді флегми, надлишкова частина відкачується на склад. Кубова рідина колони 13, що являє собою суміш бензолу і толуол, охолоджується в повітряному холодильнику 21, водяному холодильнику 22 і спрямовується на подальшу ректифікацією для виділення індивідуальних вуглеводнів (бензол, толуол).

Селективне гідрування ненасичених вуглеводнів. Селективне гідрування ненасичених вуглеводнів відбувається в реакторі, заповненому алюмоплатиновим каталізатором з низьким вмістом платини (0,1–0,15 % мас.). Цей блок призначений для гідрування ненасичених вуглеводнів, що знаходяться в ароматизованому каталізаті до 1,5 % мас. Температура гідрування підтримується в межах 180–220°C, тиск – 1,4–2,0 МПа. За цих оптимальних умов гідруються лише олефінові вуглеводні, концентрація ароматичних вуглеводнів не змінюється. Різниця температури на вході в реактор та виході не повинна перевищувати 6–10°C. Підвищен-

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ня цієї різниці температур свідчить про зниження селективності каталізатора реакції гідрування. Це відбувається наприкінці циклу роботи каталізатора.

Екстракція ароматичних вуглеводнів. До блоку екстракції ароматичних вуглеводнів входять відділення:

- екстракції та відпарювання розчинника;
- ректифікації екстракту;
- вузол регенерації розчинника.

Принципова технологічна схема блоку екстракції ароматичних вуглеводнів наведена на рис. 1.3.

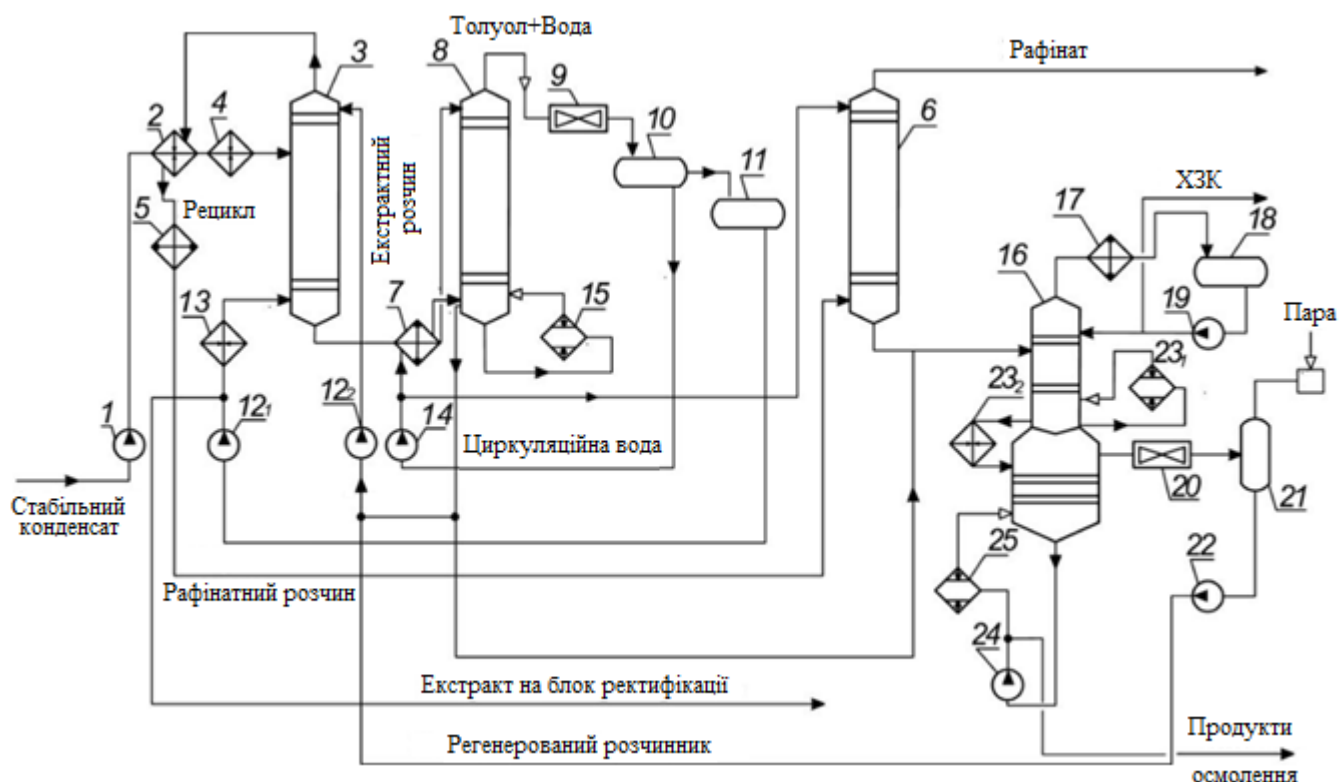


Рисунок 1.3 – Технологічна схема блоку екстракції ароматичних вуглеводнів розчинами ДЕГ та ТЕГ:

1, 12₁, 12₂, 14, 19, 22, 24 – насоси; 2, 4, 13, 23₂ – теплообмінники; 3 – екстракційна колона; 5, 7, 17 – холодильники; 6 – колона водяного промивання; 8 – відгінна колона; 9, 20 – апарати повітряного охолодження; 10 – відстійник; 11, 18, 21 – збірники; 15, 23₁, 25 – випарники; 16 – ректифікаційна колона

Стабільний каталізатор насосом 1 через теплообмінник 2, де нагрівається за рахунок тепла верхнього продукту (рафікату) екстракційної колони 3, нагрівається до 150°C в паровому підігрівачі 4 і направляється на живлення екстракційної

колони 3. На верхню тарілку колони подають розчинник, що має більшу густину чим катализат (діетиленгліколь – ДЕГ або триетиленгліколь – ТЕГ). Тиск у колоні підтримують у межах 0,8–1,0 МПа. Розчинник, рухаючись зверху вниз, вступає в контакт (масообмін) на тарілках з катализатом і витягує із нього ароматичні вуглеводні. Процес екстракції заснований на різній розчинності ароматичних та неароматичних вуглеводнів у селективному розчиннику. У якості екстрагенту використовують водний розчин ДЕГ, що містить 7–10 % мас. води або водний розчин ТЕГ, що містить 5–10 % мас. води.

Розчинна здатність ТЕГ вище, ніж у ДЕГ, тому співвідношення ТЕГ до сировини менше, ніж у ДЕГ, отже, витратний коефіцієнт менше та використання ТЕГ економічно вигідніше.

Розчинна здатність ДЕГ і ТЕГ зростає у ряду: легкі ароматичні вуглеводні > важкі ароматичні вуглеводні > парафінові вуглеводні.

Додавання води до розчинника знижує розчинну здатність, але збільшує селективність, оскільки різко знижується розчинність парафінів. В екстракційній колоні 3, у результаті перерозподілу вуглеводнів, утворюються два розчини:

- рафінатний, що йде зверху;
- екстрактний, що йде з куба.

Рафінатний розчин являє собою суміш н-парафінів та ізо-парафінів із невеликою домішкою ароматичних та нафтоених вуглеводнів і розчинника. Екстрактний розчин містить екстраговану ароматику та розчинник (екстрагент). Верхній продукт надходить у теплообмінник 2. Рафінатний розчин подається в теплообмінник 2, нагріваючи катализат, охолоджується у водяному холодильнику 5 і надходить у кубову частину промивної колони 6. У колону 6 зверху подається конденсат для відмивання рафінату. Відмитий рафінат відводиться на склад і використовується у вигляді розчинника чи сировини піролізу. Відмитий розчинник з куба 6 колони повертається в колону 3, попередньо пройшовши очищення від смолистих з'єднань.

Екстракт з куба колони 3 охолоджується в холодильнику 7 і подається на верхню тарілку колони 8. Ця колона призначена для відгону толуолу з екстракту. Разом із толуолом частково відганяється вода. Пари толуолу і води конденсують-

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						12
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ся і охолоджуються в повітряному холодильнику 9 і прямують у відстійник 10.

Конденсат поділяється на два шари:

- верхній – екстракт, що містить толуол, надходить у збірник 11, звідки насосом 12 більша частина прямує на блок ректифікації. Менша частина через підігрівач 13 подається вниз екстракційної колони 3 у якості рециркулу для підвищення концентрації ароматики в екстракті.
- нижній шар з відстійника 10 насосом 14 частково подається у відгінну колону 8 через холодильник 7, решта – у промивну колону 6 для відмивання рафінату. Відгінна колона 8 обігривається виносним теплообмінником 15. Кубова рідина колони 8 подається на живлення колони 16.

У блоці екстракції утворюється значна кількість розведеного розчинника (кубові рідини колони водного промивання 6 і відгінної колони 8). Крім того, при циркуляції в розчиннику накопичуються смоли. Регенерація розчинника здійснюється в колоні 16, що складається з двох колон: верхньої колони 16, що працює під атмосферним тиском, відбувається відгін води та частково розчинника. Пари з верху колони 16 конденсуються в холодильнику і подаються до збірника 18. Частина конденсату повертається в колону у вигляді флегми насосом 19, інша частина – направляється в ХЗК. Кубова рідина верхньої колони, що містить 5–1% мас. води, подається на живлення нижньої вакуумної колони 16. де відганяється розчинник від смол. Пари розчинника з верху вакуумної колони 16 надходять у повітряний холодильник 20, де конденсуються, охолоджуються і подаються в збірник 21. Зі збірника 21 регенований розчинник насосом 22 повертається в екстракційну колону 3. Колона 16 обігривається виносним кип'ятильником 23₂. Кубова рідина, що містить смолисті продукти, відводиться на склад.

1.2 Конструктивні особливості кожухотрубних випарників із паровим простором [6–8]

Процеси перенесення тепла від теплоносіїв, що змінюють свій агрегатний стан, набули надзвичайно широкого використання в багатьох галузях промисловості: енергетичній (атомні й теплові електростанції), хімічній та нафтохімічній (випарю-

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

енергетичній (атомні й теплові електростанції), хімічній та нафтохімічній (випарювання, дистиляція, ректифікація, холодильні й газорозділювальні процеси), харчовій та багатьох інших. Особливістю таких процесів є те, що в разі їх використання передаються значно більші питомі теплові потоки в невеликих об'ємах теплообмінників.

Пароутворення – процес переходу речовини з рідкого стану в пароподібний, що супроводжується підведенням тепла до пароутворювального середовища із зовнішніх джерел і проходить за температур, вищих від рівноважних для даного тиску. Парова рідина вимагає підведення тепла і в цьому разі є холодним теплоносієм. Теплота, необхідна для випаровування 1 кг теплоносія, називається питомою (прихованою) теплотою пароутворення.

Кипінням називають процес інтенсивного пароутворення в рідині, що має температуру насичення або дещо перегріта щодо цієї температури, з утворенням парових бульбашок.

Розрізняють кипіння в об'ємі рідини (об'ємне кипіння) і на поверхні нагрівання (поверхневе кипіння). У першому випадку парові бульбашки виникають безпосередньо в об'ємі рідини в разі значного її перегрівання щодо температури насичення, що можливо, або в разі різкого зниження тиску над рідиною, або за наявності в рідині внутрішніх джерел тепла. У разі поверхневого кипіння парові бульбашки утворюються лише на поверхні нагрівання в окремих її точках.

Середній радіус згину U-подібних труб повинен не менше ніж у 1,5 рази перевищувати номінальний зовнішній діаметр труби. Загальний вигляд трубних пучків з U-подібними трубами показаний на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд трубних пучків із U-подібними трубами

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

Висота кришки плаваючої головки повинна бути такою, щоб площа її центрального перерізу не менше ніж у 1,3 рази перевищувала площину прохідного перерізу труб одного ходу. Типові конструкції кришок плаваючої головки показані на рис. 1.5.

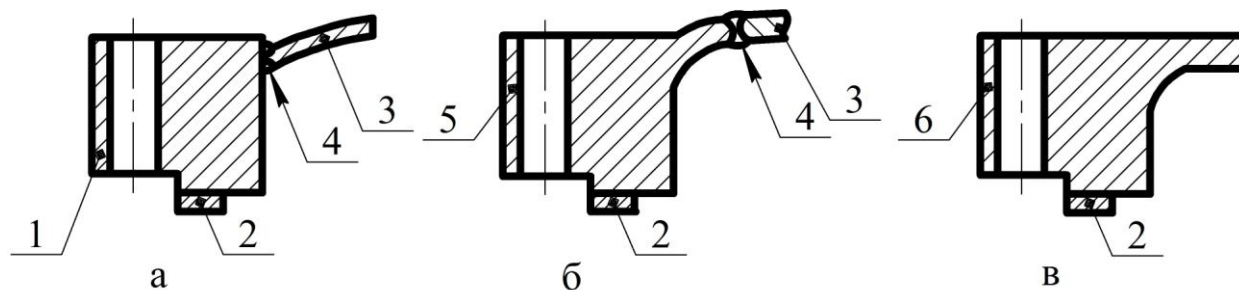


Рисунок 1.5 – Типові конструкції кришок плаваючих головок:

а – кільце-днище; б – фланець-днище; в – суцільна конструкція;

1 – кільце; 2 – прокладка; 3 – днище; 4 – зварний шов;

5 – фланець; 6 – суцільна механічно оброблена кришка

Існують два варіанти виготовлення корпусу: з переднім напівконічним днищем та з еліптичним днищем. При напівконічному днищі діаметр випарника менший і металомісткість апарата знижується. Але під час установа двох або трьох трубних пучків днища виконують еліптичними. До того ж трубні пучки розміщують якомога нижче, але з урахуванням, щоб стінка горловини була віддалена від зовнішньої поверхні циліндричного борту днища на відстань $a \geq 0,1 \cdot D_3$ або $a \geq s + 0,09 \cdot D$. Близьке розміщення горловини до перехідної зони не дозволяє встановити укріплювальне кільце, тому виріз у днищі компенсують потовщенням стінки днища і стінки патрубка горловини.

1.3 Обґрунтування модернізації теплообмінного апарату

Сучасні хіміко-технологічні процеси відрізняються високими швидкостями протікання технологічних процесів і хімічних реакцій, складними технологічними схемами, великою кількістю апаратів, складними умовами ведення процесу (високі температура, тиск тощо). Окрім того, нафтохімічні виробництва являють со-

бою безперервну технологічну лінію і характеризується підвищеною пожежо- та вибухонебезпекою, можливістю викиду небезпечних речовин у навколишнє середовище.

Керувати такими процесами, використовуючи застарілі засоби контролю й системи автоматизації, забезпечуючи при цьому високі техніко-економічні показники і якість продукції, практично неможливо. Із цією метою в даній магістерській роботі запропоновано використовувати АСКТП на базі мікропроцесорного керуючого обчислювального комплексу (КОК) МСКУ-М.

При впровадженні АСКТП для керування даним виробництвом скорочується енергоресурси на одиницю продукції, поліпшується якість самої продукції та полегшується робота персоналу при веденні технологічного процесу.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис технологічної схеми ректифікаційного блоку із виділенням бензолу і толуолу

Екстракт із екстракційного блоку ароматичних вуглеводнів надходить у блок ректифікації, який призначений для виділення бензолу і толуолу. Технологічна схема блоку ректифікації наведена на рис. 2.1.

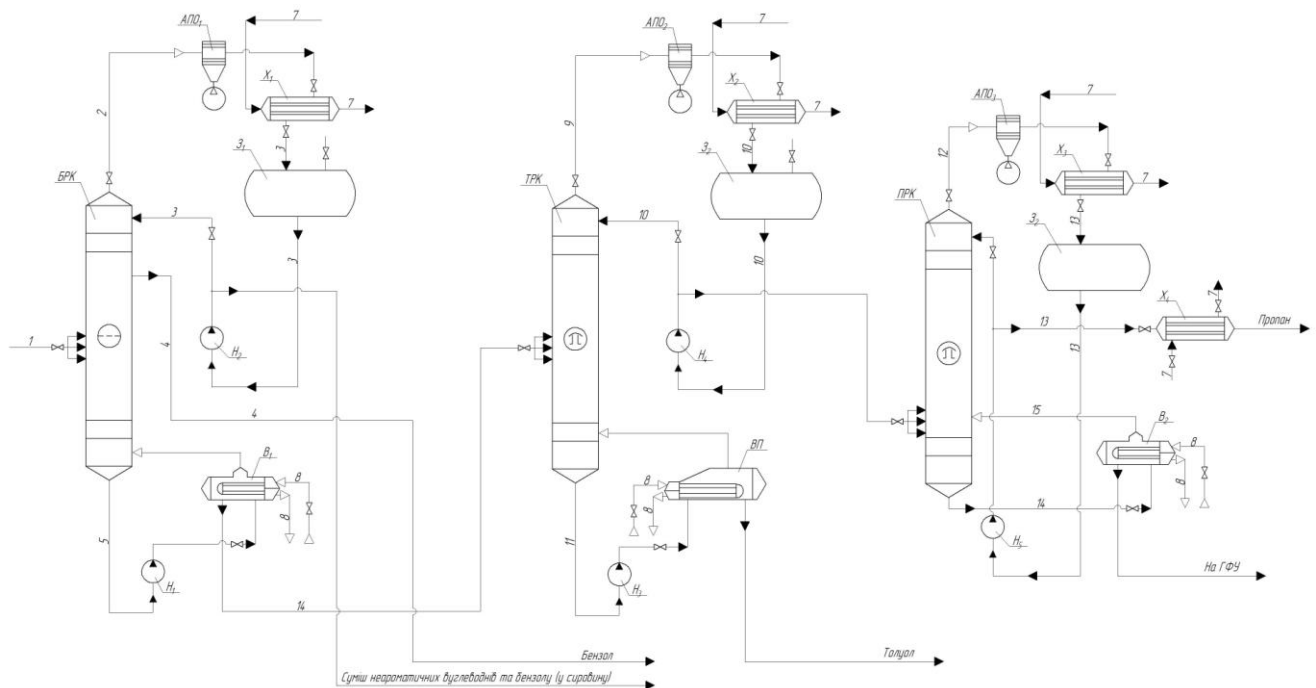


Рисунок 2.1 – Технологічна схема блоку ректифікації
(виділення бензолу і толуолу)

Працює установка наступним чином. Екстракт з блоку екстракції ароматичних вуглеводнів подають до бензолної ректифікаційної колони *БРК*. Зверху колони *БРК* відганяється азеотропна суміш неароматичних вуглеводнів і частина бензолу. Пари азеотропу спочатку надходять в апарат повітряного охолодження *АПО₁*, де конденсуються, а далі утворений конденсат додатково охолоджується в кожухотрубному холодильнику *Х₁* і спрямовується у збірник *З₁*. Зі збірника *З₁* частина рідини насосом *Н₂* повертається в колону у вигляді флегми, надлишок з нагнітальної лінії насоса *Н₂* спрямовується в лінію сировини. Бензол високого рівня чистоти відбирається як бічний погон. Колона *БРК* обігривається виносним випа-

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

17

рником B_1 . Кубова рідина колони $БРК$ насосом H_1 подається у секцію живлення толуольної ректифікаційної колони $ТРК$.

У колоні $ТРК$ у вигляді верхнього продукту відганяється суміш вуглеводнів з температурою кипіння нижче температури кипіння толуолу, пари яких конденсуються в апараті повітряного охолодження $АПО_2$, а конденсат охолоджується в кожухотрубному холодильнику X_2 і спрямовується у збірник $З_2$. Рідина зі збірника $З_2$ насосом H_4 частково повертається у вигляді флегми в толуольну колону $ТРК$, надлишкова частина зріджених вуглеводневих газів подається на тарілку живлення депропанізатора $П$.

Кубовим залишком колони $ТРК$ є толуол, який за допомогою насоса H_3 подається на випаровування у виносний кожухотрубний випарник із паровим простором $ВП$. Частина рідини, яка перевищила рівень, встановлений переливною планкою у випарнику, виводиться за межі апарату та у вигляді товарного толуолу спрямовується на склад готової продукції.

У депропанізаторі $П$ пропанова фракція відокремлюється від ізобутан-бутан-пентанової. Пропанові пари після конденсації в апараті повітряного охолодження $АПО_3$ та охолодження у холодильнику X_3 надходять у збірник $З_3$. Частина пропанової фракції через холодильник X_4 відводиться у товарний парк, а основна кількість подається на зрошення депропанізатора $П$. Тепло униз пропанової колони $П$ підводиться за допомогою випарника B_2 , у трубний простір якого подається водяна пара. Більша частина ізобутан-бутан-пентанової фракції спрямовується на газофракціонуючу установку (ГФУ) для подальшої переробки.

2.2 Теоретичні основи теплообмінних процесів [8–11]

Якщо теплообмін відбувається зі зміною агрегатного стану холодного теплоносія, то теплове навантаження визначають із рівняння теплового балансу, що має вигляд (без урахування втрат теплоти в довкілля):

$$Q = G_x \cdot (H_{xk} - h_{xn}) = G_x \cdot (H_{xk} - h_{xk} + h_{xk} - h_{xn}) = G_x \cdot (r_{нар} + c_x \cdot (t_{xk} - t_{xn})), \quad (2.1)$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

де h_{xn} , h_{xk} , H_{xk} – ентальпії рідини та пари холодного теплоносія за початкової та кінцевої температур, Дж/кг;

$r_{пар}$ – питома теплота пароутворення холодного теплоносія, Дж/кг.

Якщо холодний теплоносій подається на випарювання підігрітим до температури кипіння ($t_{xn} = t_{xk}$), то рівняння (2.1) набирає спрощеного вигляду:

$$Q = G_x \cdot r_{пар} \quad (2.2)$$

Кипіння рідини за заданого тиску відбувається за постійної температури, що дорівнює температурі насичення або рівноважній температурі для даного тиску. Для теплообмінників, у яких один із теплоносіїв зберігає постійну температуру, тоді як температура іншого теплоносія безперервно змінюється, напрямку руху робочих середовищ істотного значення не має.

Якщо початкова температура холодного теплоносія менша від рівноважної, то температурна схема має вигляд, як показано на рис. 2.2, а. Такий апарат називають багатозонним, і середні рушійні сили визначають для окремих зон: нагрівання рідини, кипіння (пароутворення).

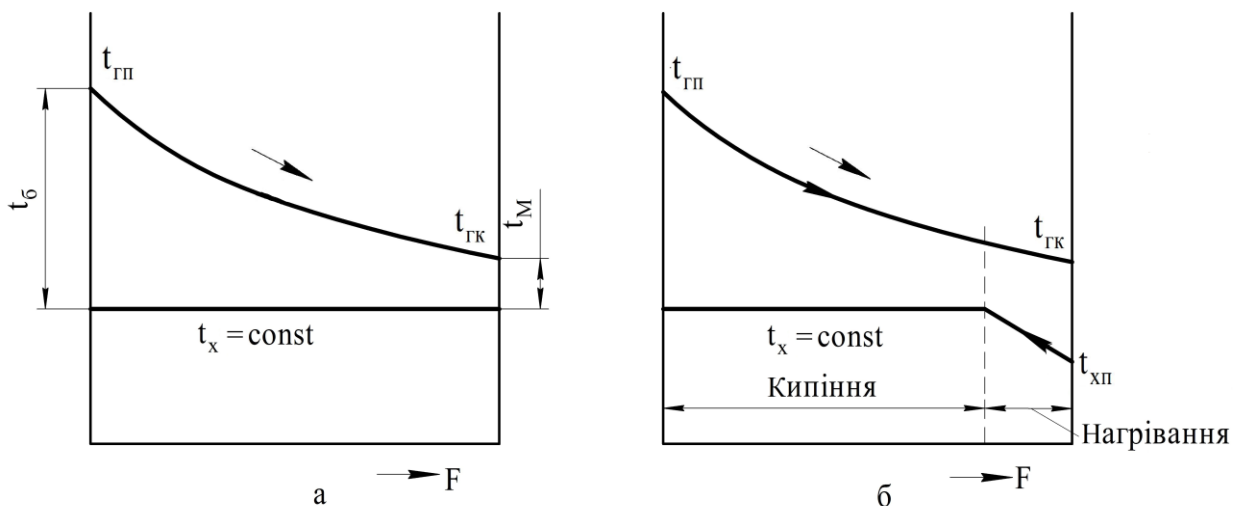


Рисунок 2.2 – Температурна схема процесу за зміни агрегатного стану холодного теплоносія: а – для однозонного апарата; б – для багатозонного апарата

Теплофізичні властивості робочих середовищ визначають за їх середніх температур. У цьому разі визначальною температурою для холодного теплоносія є

температура його кипіння за даного тиску, а для гарячого теплоносія розраховують за формулою.

Попередній вибір кожухотрубчастого випарника з паровим простором здійснюють на підставі розрахунків орієнтовної поверхні теплообміну F_{op} та орієнтовного перерізу одного ходу трубного простору. За табличними даними вибирають варіант (або декілька варіантів) конструкції апарата і тим самим визначають:

- внутрішній діаметр кожуха D_e і сортамент труб $d_n \times \delta$;
- конструкцію і кількість трубних пучків N ;
- довжину труб l та їх число в одному пучці n ;
- площу прохідного перерізу одного ходу по трубах S_{mp} та фактичну площу поверхні теплообміну F .

Визначення коефіцієнта тепловіддачі, в разі якщо гарячим теплоносієм є речовина, що конденсується (водяна пара, пари високотемпературних органічних речовин, тощо), буде викладено в наступних розділах.

Поверхнєве кипіння має місце в тому разі, якщо температура зовнішньої поверхні труб t_{cm} вища, ніж температура насичення t_n , за даного тиску. На характер пароутворення значно впливає щільність теплового потоку від поверхні нагрівання q або різниця температур $\Delta T = t_{cm} - t_n$ між стінкою і киплячою рідиною.

Залежно від величин q та ΔT розрізняють два основних режими кипіння: бульбашковий і плівковий. Кипіння, за якого пара утворюється у вигляді окремих парових бульбашок, що періодично зароджуються, зростають, відриваються і спливають, називається бульбашковим. Зі збільшенням теплового потоку окремі парові бульбашки зливаються, утворюючи на поверхні теплообміну суцільний паровий шар. Кипіння, яке характеризується наявністю на поверхні парової плівки, що обгортає цю поверхню та відокремлює її від рідини, називається плівковим.

Внаслідок малої теплопровідності парового шару інтенсивність тепловіддачі під час плівкового кипіння значно менша, ніж під час бульбашкового.

На рис. 2.3 показана типова залежність коефіцієнта тепловіддачі та питомого теплового навантаження (густини теплового потоку) від температурного напору під час кипіння рідини: $\Delta T = t_{cm} - t_n$. За малих температурних напорів кількість бульбашок, що відділяються від поверхні нагрівання, невелика, і вони не здатні ще спричинити істотне перемішування рідини.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

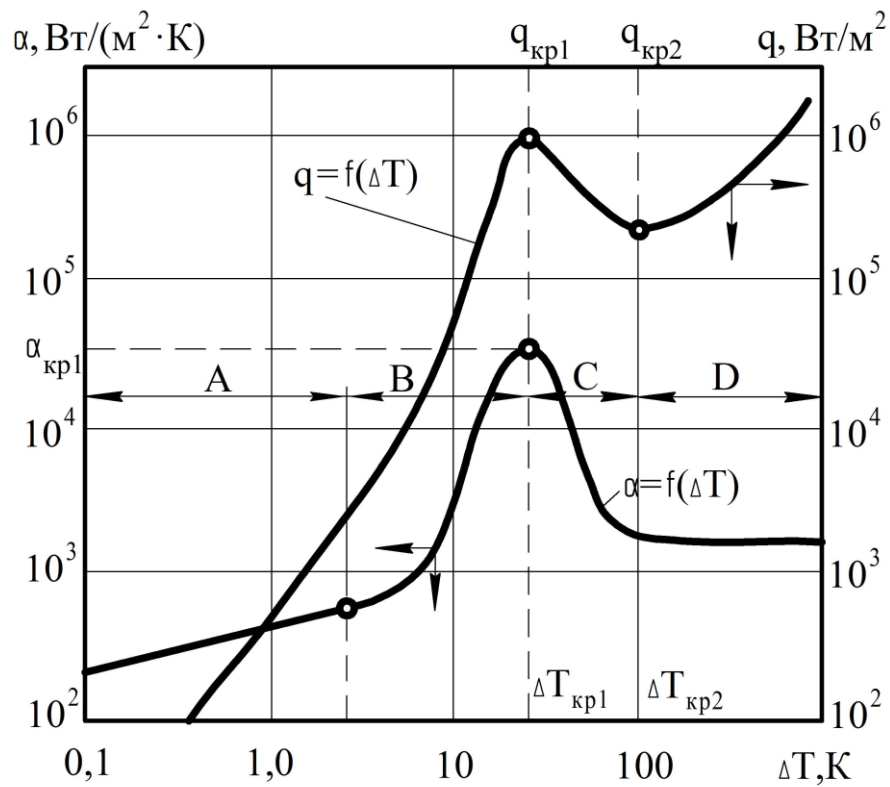


Рисунок 2.3 – Залежність густини теплового потоку q та коефіцієнта тепловіддачі α під час кипіння води від температурного напору ΔT і режимів кипіння:

A – природна конвекція; B – бульбашкове кипіння;

C – перехідна область; D – плівкове кипіння

У таких умовах інтенсивність тепловіддачі визначається лише вільним рухом рідини, і коефіцієнт тепловіддачі слабо збільшується зі зростанням ΔT . Ця область називається зоною природної конвекції (зона A).

Наприклад, для води за атмосферним тиском природна конвекція спостерігається до $\Delta T \cong 5^\circ\text{C}$, а густина теплового потоку досягає близько 6000 Вт/м^2 [10].

У разі збільшення температурного напору зростає кількість центрів пароутворення, а також збільшується частота відриву бульбашок. Коли бульбашки спричиняють інтенсивне перемішування рідини, настає режим розвиненого бульбашкового кипіння, за якого коефіцієнт тепловіддачі та густина теплового потоку різко зростають (зона B).

В області переходу бульбашкового кипіння в плівкове залежність $q = f(\Delta T)$ досягає максимуму. Режим, що відповідає максимальній густині теплового потоку, називають першим критичним. Критичні величини температурного напору,

коефіцієнта тепловіддачі та питомого теплового навантаження залежать від природи киплячої рідини, тиску, матеріалу і стану поверхні стінки. Наприклад, для води за атмосферним тиском $\Delta T_{кр1} = 25^\circ\text{C}$, $\alpha_{кр1} = 5,8 \cdot 10^4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $q_{кр1} = 1,45 \cdot 10^6 \text{ Вт}/\text{м}^2$ [10].

За деякої густини теплового потоку завдяки великій кількості центрів пароутворення і відтискувальній дії бульбашок на рідину парові бульбашки об'єднуються в плівку, що покриває спочатку окремі ділянки поверхні, а потім повністю відділяє рідину від поверхні нагрівання. Плівка безперервно руйнується і відходить від поверхні нагрівання у вигляді великих бульбашок. Замість зруйнованої парової плівки виникає нова. У таких умовах теплота передається від поверхні нагрівання до рідини шляхом теплопровідності, конвективного перенесення і випромінювання, а випаровування відбувається з поверхні плівки. Цю зону називають перехідною, вона характеризується різким зменшенням коефіцієнта тепловіддачі та густини теплового потоку (зона С).

У багатьох випадках для розрахунків коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_{куп}$ під час розвиненого бульбашкового кипіння чистих рідин і розчинів у великому об'ємі рекомендують використовувати критеріальні рівняння такого вигляду [9]:

$$Nu_{куп} = 0,125 \cdot Re'^{0,65} \cdot Pr^{0,33} \text{ при } Re' \geq 0,01, \quad (2.3)$$

$$Nu_{куп} = 0,0625 \cdot Re'^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \text{ при } Re' < 0,01, \quad (2.4)$$

де $Nu_{куп}$ – узагальнений критерій Нуссельта:

$$Nu_{куп} = \frac{\alpha_{куп} \cdot l'}{\lambda_p}; \quad (2.5)$$

Re' – модифікований критерій Рейнольдса:

$$Re' = \frac{w_n \cdot l' \cdot \rho_p}{\mu_p}; \quad (2.6)$$

Pr – критерій Прандтля для киплячої рідини:

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu_p}{\lambda_p}; \quad (2.7)$$

l' – модифікований лінійний розмір:

$$l' = \frac{c_p \cdot \rho_p \cdot \sigma_p \cdot T_{кип}}{(\rho_n \cdot r_{нар})^2}; \quad (2.8)$$

w_n – середня швидкість руху парової фази (швидкість кипіння):

$$w_n = \frac{q}{\rho_n \cdot r_{нар}}; \quad (2.9)$$

q – густина теплового потоку, Вт/м²;

$r_{нар}$ – питома теплота пароутворення, Дж/кг;

ρ_n – густина пари, кг/м³;

ρ_p – густина рідини, кг/м³;

μ_p – динамічна в'язкість рідини, Па·с;

c_p – питома теплоємність рідини, Дж/(кг·К);

λ_p – теплопровідність рідини, Вт/(м·К);

σ_p – поверхневий натяг рідини, Н/м;

$T_{кип}$ – температура кипіння, К.

Величина w за атмосферним тиском дорівнює 0,078 м/с, а за іншими тисками визначається за формулою

$$w = 0,078 \cdot (\rho_0 / \rho_n)^{1,1}, \quad (2.10)$$

де ρ_0 – густина пари за атмосферним тиском.

У межах бульбашкового режиму кипіння рідин для безпосереднього визначення коефіцієнта тепловіддачі через питома теплове навантаження (або температурний напір) можна скористатися рівнянням [9]:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$\alpha_{\text{кип}} = \left(0,075 + 0,75 \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho_p - \rho_n} \right)^{2/3} \right) \cdot \left(\frac{\lambda_p^2 \cdot \rho_p}{\mu_p \cdot \sigma_p \cdot T_{\text{кип}}} \right)^{1/3} \cdot q^{2/3} =$$

$$= \left(0,075 + 0,75 \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho_p - \rho_n} \right)^{2/3} \right)^3 \cdot \frac{\lambda_p^2 \cdot \rho_p \cdot \Delta T^2}{\mu_p \cdot \sigma_p \cdot T_{\text{кип}}}.$$
(2.11)

Для деяких рідин коефіцієнт тепловіддачі під час розвиненого кипіння залежить лише від питомого теплового навантаження (або температурного напору) і тиску. Тому для практичних розрахунків зручно використовувати емпіричні залежності.

Для наближеного розрахунку коефіцієнта тепловіддачі під час бульбашкового кипіння рідини у великому об'ємі на зовнішній поверхні горизонтальних труб у межах помірних теплових навантажень (до $0,4 \cdot q_{\text{кр1}}$) можна застосовувати формулу [9]:

$$\alpha_{\text{кип}} = 2,72 \cdot \varphi \cdot p^{0,4} \cdot q^{0,7},$$
(2.12)

де φ – множник, що враховує теплофізичні властивості рідини.

Оскільки тепловіддача під час кипіння дуже складна і залежить від багатьох фізичних факторів, наведені формули не охоплюють всієї різноманітності умов теплообміну для конкретних рідин. У спеціальній літературі [8] наведені емпіричні залежності між $\alpha_{\text{кип}}$, p і q для деяких рідин, що киплять на різноманітних поверхнях за різних способів обігрівання.

Подальший тепловий розрахунок кожухотрубного випарника з паровим простором принципово не відрізняється від теплового розрахунку кожухотрубного теплообмінника з нерухомими трубними решітками.

2.3 Опис об'єкту розробки

Кожухотрубний випарник із паровим простором типу У (див. рис. 2.4) складається з кожуха та U-подібного трубного пучка. Рівень рідини у випарнику підтримується за допомогою зливної перегородки, що має зубчасту кромку для рівномірного переливання рідини.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

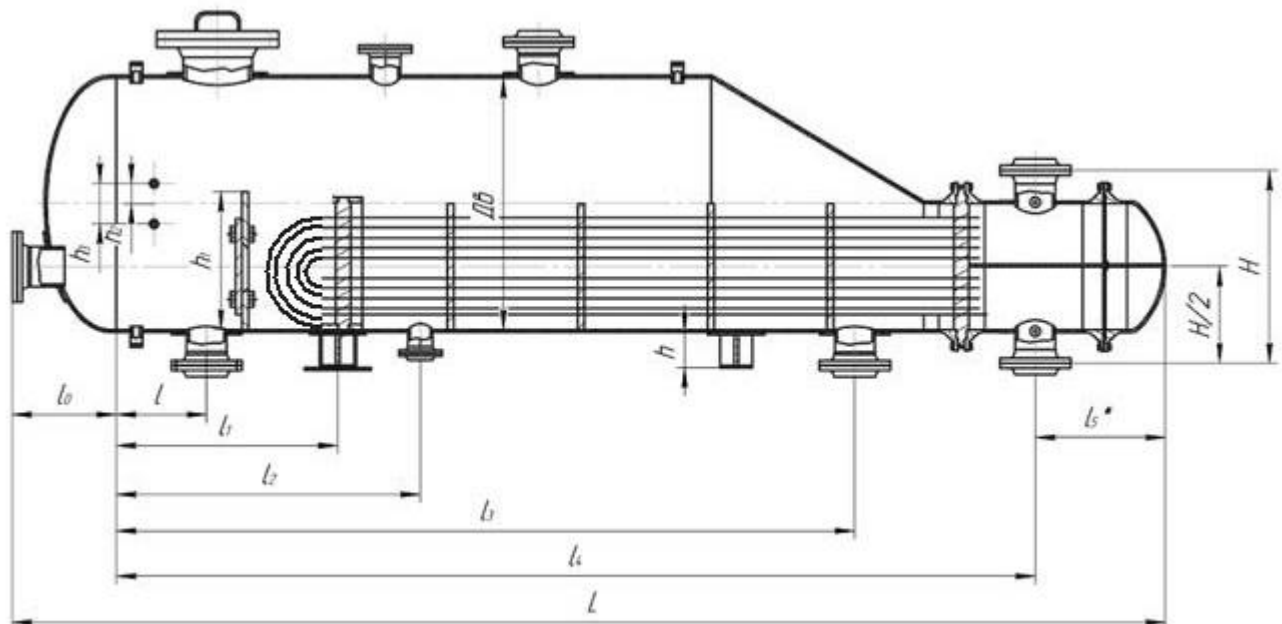


Рисунок 2.4 – Схема кожухотрубного випарника з паровим простором типу У

Для забезпечення достатньої поверхні дзеркала випаровування та об'єму парового простору відстань від верху зливної перегородки до верхньої частини кожуха беруть не меншою ніж $1/3$ від діаметра кожуха. Перегородка в розподільній камері забезпечує два ходи гарячого теплоносія в трубному пучку. Для монтажних і ремонтних робіт в апараті передбачені люк і спеціальний монтажний патрубок.

Принцип роботи випарника полягає в наступному. Через патрубок при температурі 90°C під абсолютним тиском $1,15$ ат у міжтрубний простір випарника подається холодний теплоносій – толуол. При цьому в розподільну камеру випарника надходить гарячий теплоносій – насичена водяна пара під тиском $1,15$ ат. За допомогою теплопередачі через сталеву стінку теплообмінних труб відбувається нагрівання толуолу до температури кипіння та активне його випаровування. Утворені в результаті випаровування пари толуолу залишають апарат через верхній штуцер.

2.4 Технологічні розрахунки

Технологічний розрахунок починається із визначення основних теплофізичних властивостей теплоносіїв [9, 10].

						XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			25

Технологічний розрахунок проводився за методикою, що викладена у [10].

Визначимо секундну масову витрату толуолу:

$$G_1 = \frac{2700}{3600} = 0,75 \text{ кг/с.}$$

Температура кипіння толуолу при $P_{\text{вип}} = 1,15$ ат за [11] становить $t_{\text{кип}} = 110^\circ\text{C}$.

Теплота випаровування толуолу при цій температурі $r_1 = 363$ кДж/кг [11].

Кількість теплоти, що витрачається на випаровування толуолу:

$$Q_{\text{вип}} = G_1 \cdot r_1; \quad (2.13)$$

$$Q_{\text{вип}} = 0,75 \cdot 363 = 272 \text{ кВт.}$$

Кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання толуолу до стану кипіння:

$$Q_{\text{нагр}} = G_1 \cdot c_1 \cdot (t_{\text{кип}} - t_{\text{п}}), \quad (2.14)$$

де $c_1 = 2,07$ кДж/(кг·К) – теплоємність рідкого толуолу при усередненій температурі.

$$Q_{\text{нагр}} = 0,75 \cdot 2,07 \cdot (110 - 90) = 31 \text{ кВт.}$$

Загальне теплове навантаження випарника, із урахуванням 5 % втрат тепла у навколишнє середовище:

$$Q = 1,05 \cdot (Q_{\text{вип}} + Q_{\text{нагр}}); \quad (2.15)$$

$$Q = 1,05 \cdot (272 + 31) = 318 \text{ кВт.}$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

Температура насиченої водяної пари при тиску 1,15 ат за [11] $t_{2п} = 138^{\circ}\text{C}$.
Температура конденсату водяної пари за рекомендацією [9] становить 115°C .

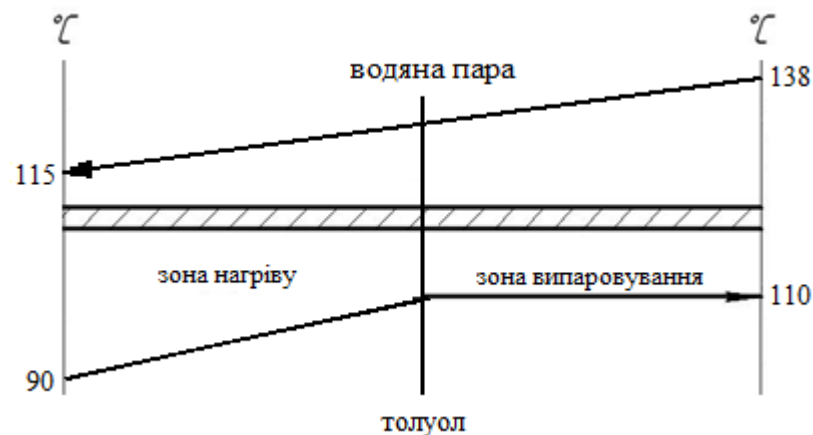


Рисунок 2.5 – Температурна схема процесу випаровування толуолу

Фізичні параметри конденсату при 115°C [11]:

- густина $\rho_2 = 943 \text{ кг/м}^3$;
- в'язкість $\mu_2 = 0,232 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$;
- теплоємність $c_2 = 4,19 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$;
- теплопровідність $\lambda_2 = 0,684 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- теплота конденсації $r_2 = 2207 \text{ кДж/кг}$.

Витрата пари складе:

$$G_2 = \frac{Q}{r_2 + c_2 \cdot (t_{2н} - t_{2к})}; \quad (2.16)$$

$$G_2 = \frac{318}{2207 + 4,19 \cdot (138 - 115)} = 0,14 \text{ кг/с.}$$

Рекомендоване значення швидкості руху насиченої водяної пари при тиску понад 105 Па становить величину $\omega = 15\text{--}25 \text{ м/с}$ [9]. Приймаємо $\omega_2 = 15 \text{ м/с}$.

Оскільки водяна пара подається в трубний простір, то кількість труб в одному ході дорівнює:

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

$$n_T = \frac{G_2}{\rho'_2 \cdot \omega'_2 \cdot 0,785 \cdot d_B^2}, \quad (2.17)$$

де $\rho'_2 = 1,85 \text{ кг/м}^3$ – густина водяної пари при $p = 1,15 \text{ ат}$;
 $d_B = 21 \text{ мм}$ – внутрішній діаметр труби.

$$n_m = \frac{0,14}{1,85 \cdot 15 \cdot 0,785 \cdot 0,021^2} = 15.$$

Визначимо температуру t' , що визначає границю зон процесу теплообміну:

$$t' = t_{2к} + \frac{Q_{нагр}}{G_1 \cdot c_1}; \quad (2.18)$$

$$t' = 105 + \frac{31}{0,75 \cdot 2,1} = 125^\circ\text{C},$$

Середня різниця температур:

- для зони випаровування

$$\Delta t_{cp}^{вип} = \frac{(t_{2н} - t_{1к}) - (t' - t_{1к})}{\ln \frac{t_{2н} - t_{1к}}{t' - t_{1к}}}; \quad (2.19)$$

$$\Delta t_{cp}^{вип} = \frac{(138 - 110) - (115 - 110)}{\ln \frac{138 - 110}{115 - 110}} = 13,4^\circ\text{C};$$

- для зони нагрівання

$$\Delta t_{cp}^{нагр} = \frac{(t_{2к} - t_{1н}) - (t' - t_{1к})}{\ln \frac{t_{2к} - t_{1н}}{t' - t_{1к}}}; \quad (2.20)$$

$$\Delta t_{cp}^{нагр} = \frac{(105 - 90) - (115 - 110)}{\ln \frac{105 - 90}{115 - 110}} = 9,1^\circ\text{C}.$$

Температуру стінки приймаємо на 15°C вище за середню температуру толуолу, а саме:

$$t_{ст} = t_{1cp} + 10 = 100 + 15 = 115^\circ\text{C}.$$

Для випадку конденсації на пучку горизонтальних труб середнє значення коефіцієнта тепловіддачі визначаємо за рівнянням:

$$\alpha_2 = 3,78 \cdot \varepsilon_t \cdot \lambda_2 \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_2^2 \cdot d \cdot n}{\mu_2 \cdot G_2}}, \quad (2.21)$$

де $\varepsilon_t = 1$ – для водяної пари;

λ_2, ρ_2, μ_2 – фізичні характеристики плівки конденсату.

Тоді

$$\alpha_2 = 3,78 \cdot 1 \cdot 0,684 \cdot \sqrt[3]{\frac{943 \cdot 0,021 \cdot 15}{0,232 \cdot 10^{-3} \cdot 0,14}} = 540 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт тепловіддачі при кипінні рідини:

$$\alpha_1 = b^3 \cdot \frac{\lambda_1^2 \cdot \rho \cdot (\Delta t)^2}{\mu_1 \cdot \sigma_1 \cdot (t_{сип} + 273)}, \quad (2.22)$$

де $\sigma_1 = 18,4 \cdot 10^{-3} \text{ Н}/\text{м}$ – коефіцієнт поверхневого натягу для толуолу;

$\mu_1 = 0,251 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – в'язкість толуолу;

$\rho_1 = 777 \text{ кг}/\text{м}^3$ – густина толуолу;

$\lambda_1 = 0,116 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ – теплопровідність толуолу;

$\Delta t = t_{ст} - t_{кин} = 115 - 110 = 5^\circ\text{C}$;

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

b – безрозмірна функція, що визначається за формулою:

$$b = 0,075 + 0,75 \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho_p - \rho_n} \right)^{2/3} = 0,075 + 0,75 \cdot \left(\frac{2,93}{777 - 2,93} \right)^{2/3} = 0,193, \quad (2.23)$$

де густина парів толуолу

$$\rho_n = \frac{M_T \cdot T_0}{22,4 \cdot T_{cp}}; \quad (2.24)$$

$$\rho_n = \frac{92 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 110)} = 2,93 \text{ кг/м}^3.$$

Тоді:

$$\alpha_1^{вин} = 0,193^3 \cdot \frac{0,116^2 \cdot 777 \cdot 5^2}{0,251 \cdot 10^{-3} \cdot 18,4 \cdot 10^{-3} \cdot 110 + 273} = 1062 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коефіцієнт теплопередачі для зони випаровування:

$$K_{вин} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1^{учн}} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + r}, \quad (2.25)$$

де $r = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ – сумарний термічний опір забруднення;

$$\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} = \frac{0,002}{46} = 0,43 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \text{ – термічний опір стінки;}$$

$\lambda_{ст}$ – теплопровідність вуглецевої сталі.

$$K_{вин} = \frac{1}{\frac{1}{1062} + \frac{1}{540} + 0,43 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-4}} = 329 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{с)}.$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Конструктивні розрахунки апарату

Розрахункова поверхня випарника складе:

$$F_p = \frac{31000}{329 \cdot 9,1} + \frac{272000}{329 \cdot 13,4} = 72 \text{ м}^2.$$

За [10] вибираємо випарник типу У із такими характеристиками:

- поверхня теплообміну $F = 82 \text{ м}^2$;
- внутрішній діаметр кожуха $D = 800 \text{ мм}$;
- довжина труб $L = 6000 \text{ мм}$;
- сортамент труб $\text{Ø}25 \times 2 \text{ мм}$;
- кількість трубних пучків 1;
- кількість труб у трубному пучку 82;
- площа прохідного перетину одного ходу по трубах $s_{mp} = 23 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

У такому випадку запас поверхні складе:

$$\Delta = \frac{F - F_p}{F} \cdot 100 \% ; \quad (2.26)$$

$$\Delta = \frac{82 - 72}{82} \cdot 100 \% = 12,2 \% .$$

Тобто, запас поверхні знаходиться у регламентованому діапазоні (10–20 %).

Діаметри штуцерів випарника для підведення-відведення теплоносіїв визначаємо за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot w}} , \quad (2.27)$$

де V і G – об'ємна і масова витрати рідини/пари відповідно, $\text{м}^3/\text{с}$ і $\text{кг}/\text{с}$;

ρ – густина потоку середовища, $\text{кг}/\text{м}^3$;

w – швидкість витікання середовища, $\text{м}/\text{с}$.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв [10]:

- для рідини 0,1–0,5 м/с при самопливі і 0,5–2,5 м/с в напірних трубопроводах;
- для пари або газу 5–25 м/с.

Діаметр патрубку для входу рідкого толуолу в апарат:

$$d_{x.вх} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2700 / 3600}{3,14 \cdot 777 \cdot 0,5}} = 0,05 \text{ м.}$$

Діаметр патрубку для виходу парів толуолу:

$$d_{x.вих} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2700 / 3600}{3,14 \cdot 2,93 \cdot 15}} = 0,147 \text{ м.}$$

Діаметр патрубку для входу і виходу водяної пари:

$$d_z = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot 1,7 \cdot 5}} = 0,145 \text{ м.}$$

За отриманими значеннями приймаємо стандартні патрубки:

- для входу рідкого толуолу $D_y = 50$ мм;
- для виходу парів толуолу $D_y = 150$ мм;
- для входу насиченої водяної пари $D_y = 150$ мм;
- для виходу насиченої водяної пари $D_y = 150$ мм.

2.6 Визначення гідравлічного опору апарату

Розрахунок гідравлічного опору випарника визначає кількість енергії, витраченої на рух теплоносіїв через апарат. Гідравлічний опір міжтрубного простору не визначаємо, оскільки, враховуючи невеликі швидкості теплоносія, його значення дуже маленьке [12].

Гідравлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики, що викладена у [12].

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

Повний напір, необхідний для руху рідини або газу через теплообмінник, визначаємо за такою формулою:

$$\Delta P = \Sigma \Delta P_{TP} + \Sigma \Delta P_M + \Sigma \Delta P_Y + \Sigma \Delta P_{\Gamma}, \quad (2.28)$$

де $\Sigma \Delta P_{TP}$ – сума гідравлічних втрат на тертя, Па;

$\Sigma \Delta P_M$ – сума втрат напору в місцевих опорах, Па;

$\Sigma \Delta P_Y$ – сума втрат напору, обумовлених прискоренням потоку, Па;

$\Sigma \Delta P_{\Gamma}$ – перепад тиску для подолання стовпа рідини, Па.

Гідравлічні втрати на тертя в каналах при поздовжньому омиванні пучка труб теплообмінного апарату визначаємо за формулою:

$$\Delta P_{TP} = \lambda_{TP} \cdot \frac{L}{d_E} \cdot \frac{w_z^2 \cdot \rho_z}{2}, \quad (2.29)$$

де λ_{TP} – коефіцієнт опору тертя.

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_E} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (2.30)$$

де Δ – абсолютна шорсткість поверхні труб, мм.

Для сталевих нових труб $\Delta = 0,06-0,1$ мм, для сталевих труб, що були в експлуатації, з незначною корозією $\Delta = 0,1-0,2$ мм.

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,1}{0,021} + \frac{68}{44827} \right)^{0,25} = 0,163;$$

$$\Delta P_{TP} = 0,163 \cdot \frac{6}{0,021} \cdot \frac{15^2 \cdot 1,85}{2} = 9693 \text{ Па.}$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						33
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Гідравлічні втрати тиску в місцевих опорах визначаємо за формулою:

$$\Delta P_M = \xi \cdot \frac{w_z^2 \cdot \rho_z}{2}, \quad (2.31)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору. Його знаходять як суму опорів кожного елемента випарника: $\xi = 2 \cdot \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4$ (вхідна і вихідна камери $\xi_1 = 1,5$, вхід у труби $\xi_2 = 0,5$ і вихід із них $\xi_3 = 1$, поворот на 180° між ходами $\xi_4 = 1,4$ [12]).

$$\xi = 2 \cdot 1,5 + 0,5 + 1 + 1,4 = 5,9;$$

$$\Delta P_M = 5,9 \cdot \frac{15^2 \cdot 1,85}{2} = 1228 \text{ Па.}$$

Оскільки для крапельних рідин втрати тиску ΔP_y мізерно малі, то вони в розрахунок не приймаються ($\Delta P_y = 0$).

Перепад тиску для подолання гідростатичного стовпа рідини дорівнює нулю ($\Delta P_r = 0$), оскільки випарник не сполучається із навколишнім середовищем.

Повний напір, необхідний для руху середовищ через апарат складе:

$$\Delta P = 9693 + 1228 = 10921 \text{ Па.}$$

2.7 Розрахунок і вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір збірника для товарного толуолу [10]. Ємність для тимчасового зберігання толуолу розраховуємо, виходячи із 3–5 годинного резерву робочого часу і з урахуванням коефіцієнта заповнення $\psi = 0,8 \dots 0,85$. Приймаємо $\psi = 0,82$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad (2.32)$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

де G – загальна витрата суміші, кг/год.;

τ – резерв робочого часу, $\tau = 3$ год.;

ρ – густина вихідної суміші, $\rho = 777$ кг/м³.

$$V_{EP} = \frac{2700 \cdot 3}{0,82 \cdot 777} = 12,7 \text{ м}^3.$$

Задаємося стандартизованим діаметром ємності $D = 2,0$ м, тоді її висота складе:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.33)$$

$$H = \frac{12,7}{0,785 \cdot 2,0^2} = 4,0 \text{ м.}$$

Розрахунок і вибір насоса для подачі рідкого толуолу у випарник (поз. Н₃ на рис. 2.1) [13]. Для всмоктуючого і нагнітального трубопроводів приймемо однакову швидкість плинину рідини, що дорівнює $w = 2$ м/с.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.34)$$

де V – об'ємна витрата вихідної суміші, м³/с.

$$d = \sqrt{\frac{9,65 \cdot 10^{-4}}{0,785 \cdot 2}} = 0,025 \text{ м.}$$

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини в трубопроводі:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}; \quad (2.35)$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$Re = \frac{2 \cdot 0,025 \cdot 777}{0,251 \cdot 10^{-3}} = 154780,$$

тобто режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо $\Delta = 2 \cdot 10^{-4}$ м. Тоді

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,025} = 0,008.$$

Далі отримуємо:

$$\frac{1}{e} = 125; 560 \cdot \frac{1}{e} = 70000; 10 \cdot \frac{1}{e} = 1250;$$

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re :

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \quad (2.36)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,008^{0,25} = 0,033.$$

Далі визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої і нагнітальної ліній.

Для всмоктуючої лінії:

- 1) вхід у трубу (приймаємо з гострими краями) $\xi_1 = 0,5$;
- 2) 2 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2;$$

$$\Sigma \xi = 0,5 + 2,2 = 2,7.$$

Для нагнітальної лінії:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

1) вентилі прямоточні, 2 шт. $\xi_1 = 2 \cdot 0,65 = 1,3$;

2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$;

3) вихід із труби $\xi_3 = 1$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3;$$

$$\Sigma \xi = 1,3 + 3,3 + 1 = 5,6.$$

Втрачений напір у всмоктуючій лінії знаходимо за формулою:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.37)$$

де l, d_E – відповідно довжина і еквівалентний діаметр трубопроводу.

$$h_{П.ВС.} = \left(0,033 \cdot \frac{5}{0,025} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,90 \text{ м.}$$

Втрачений напір в нагнітальній лінії знаходимо за формулою (2.37):

$$h_{П.НАГ.} = \left(0,033 \cdot \frac{3}{0,025} + 5,6 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,95 \text{ м.}$$

Загальні втрати напорі:

$$h_{П.} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАГ.}; \quad (2.38)$$

$$h_{П.} = 1,90 + 1,95 = 3,85 \text{ м.}$$

Знаходимо напір насоса за рівнянням:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						37
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + H_r + h_{II}, \quad (2.39)$$

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків в апараті і в ємності, із якої подається рідина;
 H_r – геометрична висота підйому рідини.

$$H = \frac{0,3 \cdot 10^6}{777 \cdot 9,81} + 2 + 3,85 = 45,2 \text{ м.}$$

Корисну потужність насоса визначаємо за рівнянням:

$$N_{II} = \rho_p \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (2.40)$$

де Q – подача (витрата), $Q = 9,65 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$;
 H – напір насоса.

$$N_{II} = 777 \cdot 9,81 \cdot 9,65 \cdot 10^{-4} \cdot 45,2 = 332,5 \text{ Вт.}$$

Потужність, яку повинен розвивати електродвигун насоса на вихідному валу при сталому режимі роботи:

$$N = \frac{N_{II}}{\eta_{пер} \cdot \eta_n}, \quad (2.41)$$

де $\eta_n, \eta_{пер}$ – коефіцієнти корисної дії відповідно насоса і передачі від електродвигуна до насоса. Приймаємо $\eta_n = 0,6$ і $\eta_{пер} = 1$.

Отримуємо:

$$N = \frac{332,5}{1 \cdot 0,6} = 554 \text{ Вт.}$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						38
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибираємо відцентровий насос марки ЦНС 8-65 з такими параметрами:

- об'ємна подача насоса 8 м³/год.;
- напір насоса 65 м;
- потужність, споживана насосом 17,5 кВт;
- частота обертання 2800 об/хв.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір конструкційних матеріалів [14–16]

Вибір конструкційного матеріалу, який визначається умовою експлуатації проєктованого елемента, вузла або апарата (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу середовища і т. ін.), слід виконувати так, щоб при низькій вартості та не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію виготовлення виробу [14].

Також слід враховувати [15]:

- механічні властивості матеріалу – межа міцності, відносне подовження, твердість тощо;
- технологічність виготовлення (особливо зварюваність);
- хімічну стійкість проти роз’їдання;
- теплопровідність.

Оскільки в апараті здійснюється технологічний процес із застосуванням речовини, що характеризується малоагресивними властивостями, то у якості конструкційного матеріалу прийнята сталь Ст3, яка відрізняється гарними механічними і технологічними характеристиками (див. табл. 3.1). Сталь добре деформується в гарячому і холодному стані і легко зварюється, що полегшує виготовлення корпусних деталей методом гнуття і забезпечує високу якість зварювальних швів.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад і механічні властивості сталі Ст3 [16]

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	S, %	P, %	$E \cdot 10^5$, МПа	σ , МПа	σ , МПа	δ , %
0,12	2,0	0,8	17–18	2–11	0,3	0,8	0,02	0,035	2,1	216	530	40

Для частин випарника, які не мають контакту з робочими середовищами, приймаємо наступні матеріали:

- для болтів, гайок і шайб використовуємо Сталь 35;
- для опори апарату використовуємо сталь Ст. 3сп;

					XI.T.00.00.00 ПЗ							Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								40

- для обтюрації використовуємо пароніт ПОН-1 – це листовий прокладковий матеріал, що виготовляється пресуванням азбокаучукової маси, яка складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів.

3.2 Розрахунки на міцність, стійкість та герметичність

Розрахунок проводимо відповідно до методики, що викладена у [17]. Приймаємо робочий тиск у міжтрубному просторі 0,2 МПа.

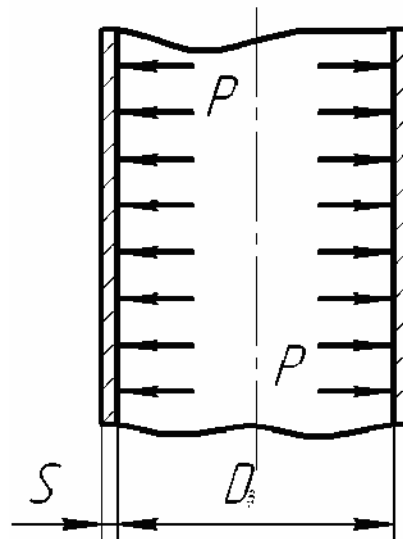


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Знаходимо величину нормативного допустимого напруження для сталі Ст3 при розрахунковій температурі: $\sigma^* = 202$ МПа.

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta, \quad (3.1)$$

де $\eta = 1$ – поправковий коефіцієнт для листового прокату.

$$[\sigma] = 202 \cdot 1 = 202 \text{ МПа.}$$

Допустиме напруження при гідравлічних випробуваннях:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						41
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$[\sigma]_{II} = \frac{\sigma_T^{20}}{1,1}, \quad (3.2)$$

де $\sigma_T^{20} = 280 \text{ МПа}$ – межа плинності сталі Ст3 при температурі 20°C .

$$[\sigma]_{II} = \frac{280}{1,1} = 255 \text{ МПа.}$$

Далі визначаємо розрахунковий тиск:

$$P_p = P + P_r, \quad (3.3)$$

де $P = 0,2 \text{ МПа}$ – робочий тиск;

P_r – гідростатичний тиск середовища.

Гідростатичний тиск середовища:

$$P_r = g \cdot \rho_p \cdot H_p; \quad (3.4)$$

$$P_r = 9,81 \cdot 777 \cdot 0,518 = 0,004 \text{ МПа};$$

$$P_p = 0,2 + 0,004 = 0,204 \text{ МПа.}$$

Оскільки розрахунковий тиск менше $0,5 \text{ МПа}$, то пробний тиск при гідравлічних випробуваннях визначаємо за рівнянням:

$$P_{II} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,5 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]} \\ 0,3 \end{array} \right\}, \quad (3.5)$$

де $[\sigma]_{20} = \sigma_{20}^* = 196 \text{ МПа}$ – допустиме напруження сталі Ст3 при 20°C .

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						42
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_H = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 0,204 \cdot 196}{202} = 0,3 \right. \\ \left. 0,2 \right\} = 0,3 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина циліндричної обичайки:

$$S_P^H = \max \left\{ \frac{P_P \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - P_P} \right. \\ \left. \frac{P_H \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_H - P_H} \right\}; \quad (3.6)$$

де $\varphi = 1$ – коефіцієнт міцності зварних швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним або напівавтоматичним зварюванням.

$$S_P^H = \max \left\{ \frac{0,204 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 202 - 0,204} = 0,4 \right. \\ \left. \frac{0,3 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 255 - 0,3} = 0,47 \right\} = 0,47 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина циліндричної обичайки:

$$S_H \geq S_P^H + c, \quad (3.7)$$

де c – прибавка до розрахункових товщин конструктивних елементів:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.8)$$

c_1 – прибавка для компенсації корозії та ерозії;

c_2 – прибавка для компенсації мінусового допуску;

c_3 – технологічна прибавка.

Приймаємо, що $c_2 = c_3 = 0$. Прибавку для компенсації корозії та ерозії визначаємо за рівнянням:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						43
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$c_1 = \Pi \cdot \tau, \quad (3.9)$$

де $\Pi = 0,15$ мм/рік – проникність матеріалу;

$\tau = 15$ років – термін роботи апарата.

$$c = c_1 = 0,15 \cdot 15 = 2,25 \text{ мм};$$

$$S_{II} = 0,47 + 2,25 = 2,72 \text{ мм}.$$

Приймаємо із запасом міцності $S_{II} = 4$ мм.

Розрахункова товщина еліптичного днища (рис. 3.2):

$$S_p^E = \max \left\{ \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_p}, \frac{P_{II} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{II} - 0,5 \cdot P_{II}} \right\}; \quad (3.10)$$

$$S_p^E = \max \left\{ \frac{0,204 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 202 - 0,5 \cdot 0,204} = 0,4, \frac{0,3 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 255 - 0,5 \cdot 0,3} = 0,47 \right\} = 0,47 \text{ мм}.$$

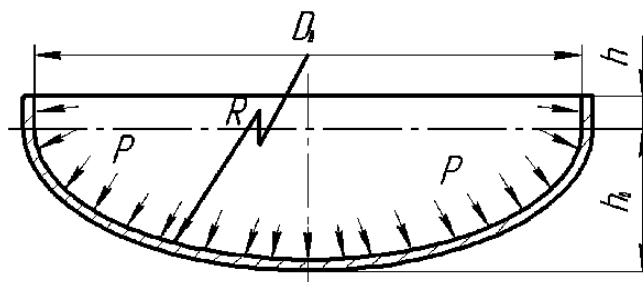


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища

Виконавча товщина еліптичного днища:

$$S_E \geq S_p^E + c; \quad (3.11)$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_E = 0,47 + 2,25 = 2,72 \text{ мм.}$$

Так само приймаємо $S_E = 4 \text{ мм.}$

Розрахунок опори апарата (рис. 3.3).

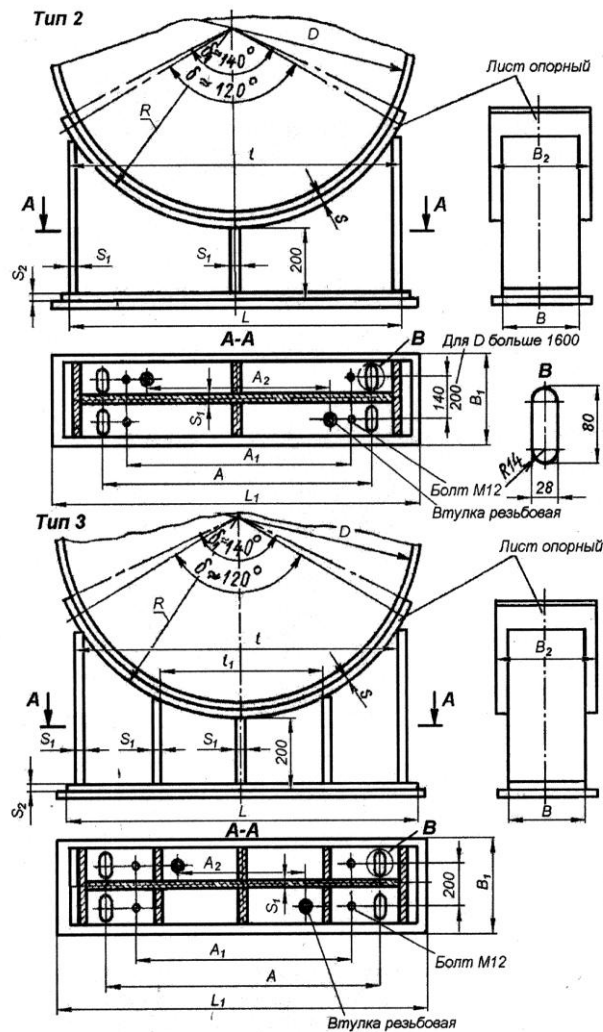


Рисунок 3.3 – Конструктивна схема стандартної сідлової опори

Знаходимо масу обичайки кожуха:

$$m_k = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot S_{II})^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot H \cdot \rho, \quad (3.12)$$

де $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ – щільність сталі.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$m_{\kappa} = \left[\frac{3,14 \cdot (0,8 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \right] \cdot 6 \cdot 7800 = 473 \text{ кг.}$$

Маса еліптичного днища і кришки відповідно (згідно [17]):

$$m_E = 1,24 \cdot D^2 \cdot S_E \cdot \rho; \quad (3.13)$$

$$m_{E_{\text{дн}}} = 1,24 \cdot 0,8^2 \cdot 0,004 \cdot 7800 = 25 \text{ кг};$$

$$m_{E_{\text{кр}}} = 1,24 \cdot 0,5^2 \cdot 0,004 \cdot 7800 = 10 \text{ кг.}$$

Маса труб:

$$m_{\text{тр}} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_{\text{вн}}^2) \cdot H \cdot n \cdot \rho; \quad (3.14)$$

$$m_{\text{тр}} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,021^2) \cdot 6 \cdot 134 \cdot 7800 = 905 \text{ кг.}$$

Маса фланця з решіткою:

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot h_{\phi} \cdot \rho, \quad (3.15)$$

де D_{ϕ} – зовнішній діаметр фланця, м;

h_{ϕ} – висота фланця, м.

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,51^2}{4} \cdot 0,06 \cdot 7800 = 96 \text{ кг.}$$

Об'єм міжтрубного простору:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$V_{\text{мтр}} = f_{\text{мтр}} \cdot H; \quad (3.16)$$

$$V_{\text{мтр}} = 0,2 \cdot 6 = 1,2 \text{ м}^3.$$

При коефіцієнті заповнення $\varphi = 0,65$ маса толуолу в апараті складе:

$$m_x = V_{\text{мтр}} \cdot \rho_x \cdot \varphi; \quad (3.17)$$

$$m_x = 1,2 \cdot 777 \cdot 0,65 = 606 \text{ кг.}$$

Сила тяжіння апарату в робочому стані:

$$G = g \cdot (m_k + m_{\text{Едн}} + m_{\text{Екр}} + m_{\text{мр}} + m_{\text{ф}} + m_x); \quad (3.18)$$

$$G = 9,81 \cdot (473 + 25 + 10 + 905 + 96 + 606) = 20748 \text{ Н.}$$

Приймаємо кількість сідлових опор $n = 2$ шт.

Навантаження на одну опору складе:

$$Q = \frac{G}{n}; \quad (3.19)$$

$$Q = \frac{20748}{2} = 10374 \text{ Н.}$$

Остаточно приймаємо стандартну сідлову опору 400-514-2-П, конструктивні розміри якої (умовні позначення див. рис. 3.3): $D = 800$ мм; $R = 514$ мм; $S_1 = 8$ мм; $S_2 = 14$ мм; $L = 800$; $A = 650$ мм; $A_1 = 550$ мм; $A_2 = 400$ мм; $l = 980$ мм; $B = 250$ мм; $L_1 = 1020$ мм; втулка для опори М48; $S = 6$ мм; $B_2 = 360$ мм.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						47
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА

4.1 Обґрунтування компоновки основного та допоміжного обладнання [18]

Під компоновкою виробництва розуміють розміщення технологічного обладнання та споруд, що забезпечує нормальний перебіг технологічного процесу, безпеку експлуатації устаткування, нормальні умови для монтажу і ремонту апаратури при оптимальному обсязі будівництва. Із метою індустріалізації і найкоротшого терміну будівництва об'єкта, компоновки самого промислового будинку необхідно виконувати з урахуванням максимальної уніфікації будівельних елементів, застосовуючи сучасні типові деталі і конструкції.

За функціональним призначенням промислові будівлі поділяють на:

- виробничі (цехи, що випускають готову продукцію або напівфабрикати);
- підсобно-виробничі (експериментальні, інструментальні, ремонтні);
- енергетичні (котельні, ТЕЦ, компресорні та інші станції);
- складські, транспортні;
- санітарно-технічні (насосні станції, очисні споруди тощо);
- допоміжні (заводоуправління, КБ, медпункт, приміщення для навчальних занять).

Усі будівлі і споруди по вогнестійкості поділяють на п'ять ступенів, кожна ступінь вогнестійкості будівлі або споруди визначається двома показниками:

1) групою займистості застосовуваних будівельних матеріалів конструкцій (всі будівельні матеріали та конструкції за ступенем займистості діляться на негорючі, вогнестійкими і згораючі);

2) межею вогнестійкості окремих конструктивних елементів будівель чи споруд. Межа вогнестійкості – це час в годинах, протягом якого конструкція здатна чинити опір дії вогню до втрати стійкості і несучих можливостей.

Промислові будівлі і споруди хімічних підприємств проектують зазвичай II класу і не нижче третього ступеня вогнестійкості.

При розміщенні самого хімічного устаткування розрізняють три варіанти компоновки:

- закритий (в промислових будівлях);

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48

- відкритий (на відкритих залізобетонних постаментах);
- змішаний.

Вибираємо відкритий варіант компоновки – обладнання розміщується на відкритому майданчику, що зменшує капітальні витрати на виробництво, зменшує загазованість і вплив теплових виділень, вибухо- та пожежобезпечність, покращує умови роботи устаткування, полегшує доступ до важкого обладнання, а також забезпечує гарну вентиляцію. Ми вибрали такий варіант компоновки у зв'язку із зазначеними вище перевагами, а також із урахуванням його масопотоків (газових та рідинних), мас і габаритних розмірів різних типів обладнання, специфіки технологічного обладнання (вибухо- і пожежонебезпека, токсичність, нечутливість до умов навколишнього середовища тощо).

Компоновку основного технологічного обладнання проводять так, щоб обслуговування усієї технологічної схеми було максимально зручним, швидким і ергономічним. Для забезпечення самопливу продуктів за технологічною схемою необхідно суворо дотримуватися норм розміщення обладнання по висотним позначкам. Взаємне розташування колон з урахуванням робочих тисків їх експлуатації, і іншого устаткування, вимагає чіткого узгодження.

Для забезпечення вільного перетікання ухил трубопроводу становить близько 3–5°. Кути повороту колін трубопроводів 90°. Сходи обладнані поручнями для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу. Вище другого поверху встановлюються майданчики з металокаркасними конструкціями для обслуговування колони. Між площадками встановлюється драбина з круговою огорожею.

Трасування трубопроводу повинно відповідати технологічній схемі і забезпечувати компенсацію температурних подовжень. При цьому траса трубопроводів і розміщення нерухомих кріплень повинні забезпечувати достатню гнучкість, щоб напруги самокомпенсації, а також сили і моменти, що передаються трубопроводами на обладнання, не перевищували допустимих значень.

Для забезпечення найменших гідродинамічних втрат при проектуванні і монтажу необхідно виконувати такі основні вимоги:

- відсутність зайвих поворотів траси;

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		49

- використання випрямлення траси з метою зменшення її довжини і кутів повороту;
- установка трійників таким чином, щоб головний потік середовища проходив трійник без повороту;
- відсутність високих коефіцієнтів опору засувок (засувки зі звуженим проходом); у разі вимушеного застосування таких засувок необхідно до і після таких засувок мати прямі ділянки (до засувки 10–12 діаметрів, після неї – не менше 5 діаметрів труби), щоб уникнути різкого підвищення гідродинамічних втрат;
- при великих швидкостях середовища в напірних патрубках насосів (досягаючих 5–7 м/с) відразу за патрубком повинен встановлюватися перехід на більший діаметр, а потім зворотний клапан і засувка;
- при розгалуженні трубопроводу на два меншого діаметру повинен використовуватися трійник, діаметр якого дорівнює діаметру трубопроводу, що підводять.

Траси трубопроводів повинні вибиратися так, щоб уникнути зайвих нижніх і верхніх точок, які потребують влаштування дренажів та повітряників. Ухили трубопроводів повинні вибиратися у напрямку руху пари і повинні враховувати збільшення стріли прогину в прольотах у результаті повзучості металу.

4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання [19, 20]

При прийманні фундаментів під монтаж устаткування необхідно перевірити, чи відповідають проекту форма готового фундаменту, його розміри і основні його висотні відмітки. Фактичні висотні відмітки отримують при геодезичній зйомці. Після цього перевіряють правильність розміщення фундаментних болтів на фундаменті, їх розміри, наявність на них двох гайок. Різблення фундаментних болтів має бути захищено від механічних ушкоджень і покрито мастилом для захисту від корозії. Допускаються наступні відхилення:

- по відмітках верхніх торців фундаментних болтів + 20 мм;

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		50

- по розмірах в плані + 20 мм;
- по осях анкерних болтів у плані ± 5 мм;
- по осях заставних анкерних пристроїв у плані ± 10 мм.

Висотні відмітки фундаменту не повинні перевищувати проектні. Завищений фундамент необхідно зрубати на відповідну висоту. Заниження висотних відміток фундаменту допускається до 30 мм, оскільки в цьому випадку монтоване устаткування можливо встановити на проектній відмітці, застосовуючи металеві підкладки або клини. Якщо фундамент занижений більше, ніж вказано вище, його необхідно додатково бетонувати.

Випарник із паровим простором відноситься до кожухотрубних теплообмінників. Технологія монтажу апаратів такої конструкції залежить від місця і способу їх установки. Вони можуть бути встановлені на відкритому майданчику, на постаменті чи в середині будівлі, а також горизонтально чи вертикально.

У нашому випадку мова йде про горизонтальний апарат, який розміщений на відкритому майданчику на нульовій позначці. Фундаменти виконують у вигляді двох залізобетонних стовпів з анкерними болтами під опори. При монтажі встановлюють нерухому і рухому опори. Гайки на болтах не закручують повністю (залишають зазор 1–2 мм), щоб апарат міг вільно переміщуватись в горизонтальному напрямку. При установці опор, які мають змогу переміщуватися, перевіряють рівномірність прилягання ковзанок до опорних поверхонь і їх перпендикулярність осі апарата. Горизонтальність апарату перевіряють за рівнеміром.

У деяких випадках при монтажі проводять контрольне розбирання (ревізію) кожухотрубних теплообмінників. При цьому перевіряють наявність прокладок, комплектність знімних деталей, правильність їх взаємного розташування.

Для виявлення дефектів у розвальцьовуванні і обварці трубок трубний пучок спресовують (при знятій розподільній камері і кришці) шляхом подачі води в міжтрубний простір. При цьому також оглядають корпус теплообмінника. Дефекти розвальцьовування або обварки усувають.

Горизонтальне обладнання монтують за допомогою одного або двох (спарених) кранів. Спосіб підйому і вантажопідйомність кранів вибирають в залежності

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		51

від розміру і маси обладнання, висоти і конфігурації фундаменту або постаменту під обладнання, наявності розташованих поруч будівельних конструкцій та ін.

Горизонтальні апарати особливо великої маси і при підйомі на значну висоту часто монтують за допомогою двох кранів. Монтаж починають з підйому апарата із вихідного горизонтального положення без відриву його від землі.

На рис. 4.1 показані найбільш сприятливі умови роботи кранів при монтажі апаратів.

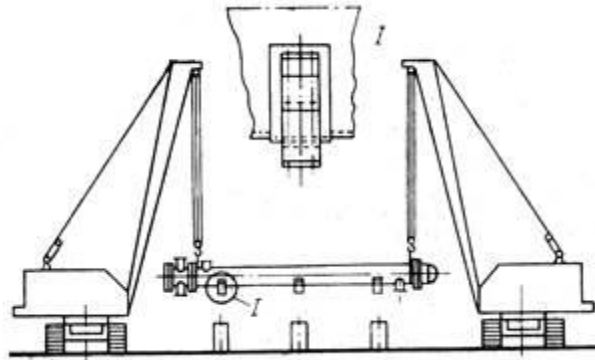


Рисунок 4.1 – Схема монтажу горизонтального теплообмінника за допомогою двох кранів

Коли установка одного з кранів із зовнішньої сторони фундаментів неможлива, монтаж апаратів виконують лише маневруванням стріли крана. У тих випадках, коли при підйомі апаратів неможливо розташувати крани із зовнішньої сторони фундаментів і проїхати між фундаментами, збільшують виліт стріли кранів або переміщують крани з піднятим апаратом у межах їх вантажної характеристики.

Теплообмінники із трубною системою мають підвищену надійність, що дозволяє їм функціонувати без збоїв протягом довгих років. Але не варто забувати, що планове технічне обслуговування просто необхідне для профілактики поломок. Циркулюючий теплоносій з часом засмічує стінки трубок, осідаючи на їх поверхні та перешкоджаючи вільному потоку. Уникнути передчасного виходу обладнання із ладу та зберегти ефективність дозволить регулярне очищення трубок. Завдяки систематичному промиванню є можливість тривалий час підтримувати робочі параметри у нормі. Безпосередньо ремонт кожухотрубних теплообмінників, у більшості випадків, необхідний лише у разі надмірного зношення обладнання.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		52

Найбільш поширеними дефектами поламаних теплообмінників є наступні:

1. Виривання трубок із трубних решіток. Дана проблема зазвичай виникає через нерівномірне розширення трубок та корпусу. Варіанти вирішення:

- зачистка місця розриву і обварювання трубки заново;
- висвердлювання трубки і установка нової трубки;
- зачистка і заглушка трубки.

Якщо встановлюються заглушки на дефектні трубки, необхідно враховувати, що опір даної ділянки зростає, а також трохи погіршується теплообмін. Зазвичай, теплообмінники розраховують таким чином, щоб без сильного впливу на технологічний процес можна було загнушити до 10 % трубок. У кожному разі це питання треба вивчати окремо.

2. Наскрізна корозія трубок. Дана проблема виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при неправильно підібраному матеріалі трубчатки. Варіанти вирішення:

- висвердлювання трубки і установка нової трубки;
- зачистка і заглушка трубки.

Так само, як і в описаному вище випадку, при встановленні загнушок необхідно дотримуватись вимог з урахуванням збільшеного опору. Із огляду на причини виникнення наскрізної корозії, можна припустити, що із великою ймовірністю, найближчим часом можуть почати виходити із ладу іншу трубки.

Нерідко при виникненні наскрізної корозії найбільш ефективним шляхом є просто заміна трубного пучка (виготовлення нового трубного пучка). Це особливо актуально, якщо повторний дефект виник швидко після першої поломки.

3. Наскрізна корозія корпусу чи камери. Дана проблема, так само як і наскрізна корозія трубок, зазвичай виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при неправильно підібраному матеріалі. Варіанти вирішення:

- підварювання або установка заплатки;
- виготовлення нової камери чи корпусу.

4. Засмічення трубок чи міжтрубного простору. Ця проблема може виникнути в тому випадку, якщо один із теплоносіїв не фільтрується належним чином,

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

або якщо відбувається поява природного нагару (наприклад, при роботі з вихлопними газами). Варіанти вирішення:

- механічне очищення;
- хімічне очищення.

Якщо засмічення відбувається через відсутність належної фільтрації середовищ, рекомендується установка необхідних фільтрів. Якщо ж відбувається поява нагару, швидше за все, це обумовлено технологічними моментами. У такому випадку треба визначати, коли відбувається чергове засмічення теплообмінника (вимірювання температури або протитиску) і чистити його.

Подібні роботи слід проводити на місці експлуатації. У разі необхідності фахівці повинні виїхати на місце і провести цю роботу, але в більшості випадків ці операції виробляє експлуатаційний персонал.

5. Покриття вапном (накипом) чи іншими відкладеннями. Ця проблема може виникнути в тому випадку, якщо один з теплоносіїв є рідина (вода) з невідповідним для даного процесу хімічним складом (наприклад, надмірно мінералізована). Варіанти вирішення: очистка за допомогою спеціальних хімічних засобів.

У разі появи великого шару мінеральних відкладень (накипу) хімічне очищення може бути неефективним. У такому випадку трубний пучок не підлягатиме ремонту і буде необхідно виготовити новий трубний пучок.

Дефектні штуцера і трубні решітки при досягненні максимальних величин зносу і прогину замінюються.

Свищі і тріщини усуваються шляхом заварки або постановкою накладок з попереднім видаленням дефектної ділянки.

За допомогою кольорової дефектоскопії визначають протяжність і положення кінців тріщин, виявлених в корпусі. Ці кінці до заварки засвердлюють свердлами діаметром 3–4 мм. Некрізні тріщини глибиною не більше 0,4 товщини стінки розправляються під заварку односторонньою вирубкою на максимальну глибину тріщини зі зняттям крайок під кутом 50–60°. При тріщині понад 100 мм зварювання проводять оберненоступеневим методом. Наскрізні і некрізні тріщини глибиною більше 0,4 товщини стінки обробляють на всю товщину вирубкою зубилом або газорізкою. При появі гніздових тріщин пошкоджені місця вирізають

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		54

і закривають латками без гострих кутів. Латки вваривать в рівень з основним металом. Площа латки не повинна перевищувати площі листа апарату.

Надійність ліквідації поверхневих дефектів контролюють магнітною або ультразвуковою дефектоскопією. Допускається глибина пошкодження в межах 10–20 % товщини стінки в залежності від розмірів ушкодження.

Усі поверхні ущільнювачів слід контролювати магнітною або ультразвуковою дефектоскопією на відсутність тріщин. Після ремонту конденсатора його піддають гідравлічним або пневматичним випробуванням.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55

5 ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА АПАРАТУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ

У стандартній конфігурації МСКУ-М задіяні наступні блоки:

- РГ1, РГ2 – вхідні й вихідна гальванічні розв'язки;
- АЦП і ЦАП – аналого-цифровий і цифро-аналоговий перетворювач;
- ЦИП – цифро-імпульсний перетворювач;
- ЦДП і ДЦП – цифро-дискретний і дискретно-цифровий перетворювач;
- АЛГО – блок алгоритмічного перетворювача сигналу.

Реміконт працює лише з уніфікованими струмовими сигналами.

На пульті оператора (ПО) розташовані пристрої контролю (ПК), панелі ручного керування (РК), схема сигналізації (С).

У виробництві толуолу слід використовувати пневматичні виконавчі механізми типу «МІМ». На виході сигналу з УВК необхідно встановити електропневмоперетворювач ЕПП-63.

У даній кваліфікаційній роботі запропоновано використовувати АСКТП на базі мікропроцесорного керуючого обчислювального комплексу Реміконт. При впровадженні АСКТП для керування виробництвом скорочується собівартість продукції за рахунок зниження видаткових норм на сировину, енергоресурси на одиницю продукції, поліпшується якість продукції, полегшується робота оперативного персоналу при веденні технологічного процесу.

5.1 Вибір та обґрунтування параметрів контролю, регулювання та вимірювання

Для ведення технологічного процесу випаровування толуолу оператор-технолог повинен мати можливість у будь-який час одержувати інформацію про хід технологічного процесу. Для цього в даній роботі пропонується вимірювати й виводити на щит оператора в ЦПК наступну інформацію: температуру, тиск, рівень рідини в апараті та, відповідно, витрати теплоносіїв.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		56

Дана АСКТП розроблена як інструмент оператора для підвищення ефективності та зручності роботи. Вона оперативно надає технологічному персоналу інформацію щодо стану об'єкта управління, реєструє протікання технологічного процесу отримання парів толуолу для подальшої аналітичної обробки.

Система управління забезпечує:

1. Автоматичне управління технологічним обладнанням і виробничими процесами за заданим алгоритмом при тривалій роботі, з підтриманням встановлених параметрів. При цьому передбачена можливість завдання оператором параметрів автоматичного режиму для окремих виконавчих механізмів.

2. Інформаційне забезпечення роботи оператора: аварійна і попереджувальна сигналізація; реєстрація необхідних параметрів; надання поточної та архівної інформації про стан обладнання та параметри технологічного процесу; роздруківка звітів (за зміну, добу, місяць) і графіків; візуалізація технологічного процесу і параметрів обладнання в цифровому і графічному вигляді.

3. Введення архівів параметрів і подій. В архіві параметрів зберігаються показання всіх аналогових сигналів, що надходять на входи контролера.

Виходячи із особливостей об'єкта автоматизації і функцій системи, у якості апаратної бази використовуємо промисловий контролер SIMATIC S7 фірми SIEMENS. Його перевагою є висока надійність роботи, модульна архітектура, збереження інформації при пропажі живлення, можливість програмного управління ПД-регулюванням, простий інтерфейс зв'язку з персональним комп'ютером.

Програмовані контролери SIMATIC S7-200 призначені для побудови систем автоматичного управління і регулювання, як окремих машин, так і окремих частин виробничого процесу. На основі програмованих контролерів SIMATIC S7-200 можуть створюватися ефективні керуючі пристрої, що відрізняються порівняно невисокою вартістю.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57

5.2 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації

Вибір приладів автоматизації повинен проводитися з тих засобів автоматизації, які випускаються серійно і вже себе зарекомендували. Вибір приладів проводимо, спираючись на необхідний діапазон вимірювань. Застосування пневматичних приладів обґрунтовано пожежонебезпекою спиртового виробництва.

Для проведення, контролю і регулювання процесом були обрані наступні прилади.

Автоматичний контроль температури. Сімейство вимірювальних перетворювачів температури фірми SIEMENS представлено перетворювачами SITRANS T, термоперетворювачами опору і термopарами для якісного вимірювання температури в будь-яких, навіть самих екстремальних, умовах. Датчики застосовуються в хімічній, фармацевтичній, харчовій, енергетичній та інших галузях промисловості.

Існують варіанти термометрів з цифровою індикацією показань. Також доступні вибухозахищене виконання датчиків.

Перетворювач SITRANS T серії: TW – універсальний перетворювач з виходом 4–20 мА + HART, програмований за допомогою РС.

Автоматичний контроль витрати. Сімейство витратомірів SITRANS F здатне вирішити задачу точного і надійного вимірювання витрати практично будь-якого середовища, використовуючи сучасні, перевірені часом, способи вимірювання витрати. Перетворювач SITRANS F серії M Magflo – магнітоіндукційні витратоміри. Застосовуються для вимірювання витрати електропровідних рідин і суспензій.

Автоматичний контроль рівня. Гама рівнемірів SIEMENS для контролю рівня рідких і сипких середовищ втілена в сімействі SITRANS L і дозволяє знайти рішення для широкого спектра задач. Сигналізатор граничного рівня (ємнісний) Pointek CLS 200 – універсальний сигналізатор із високою хімічною стійкістю.

Автоматичний контроль тиску. Сімейство вимірювальних перетворювачів SITRANS P служить для вимірювання надлишкового, вакууметричного, абсолютного і диференціального тиску рідких, газо- і пароподібних середовищ, а та-

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

кож для вимірювання гідростатичного рівня рідини в ємностях. Перетворювач SITRANS P серії ZD – перетворювач надлишкового та абсолютного тиску з цифровим індикатором.

Сигналізація. Для оповіщення оперативного персоналу про відхилення технологічного процесу від норми передбачена автоматична сигналізація, що спрацьовує в наступних випадках максимальної і мінімальної витратах толуолу і водяної пари, максимальної і мінімальної температури цих теплоносіїв, а також максимальний рівень рідини в апараті.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей під час роботи установки виробництва толуолу [21, 22]

Охорона праці – це система законодавчих актів і соціально-економічних, технічних, гігієнічних і організаційних заходів, що відповідають їм, забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці.

Проектуючи будь-яке виробництво необхідно керуватися принципом більшого полегшення умов праці робітників, відвертання нещасних випадків на виробництві, унеможливлення профзахворювань, виникнення пожеж, аварій тощо.

Роботи з ацетоном, бензолом, керосином, бензином, бутилацетатом, толуолом, етиловим ефіром відносяться до робіт із шкідливими речовинами і підвищеною небезпекою відповідно до НПАОП 0.00-8.24-05 "Перелік робіт з підвищеною небезпекою", затвердженого наказом Державного Комітету України з нагляду за охороною праці від 26.01.05 №15.

Згідно із ст.11 Закону України "Про охорону праці" не допускається залучення неповнолітніх до праці на важких роботах, із шкідливими або небезпечними умовами праці.

До самостійного виконання робіт допускаються особи:

- котрі пройшли медичний огляд у встановленому порядку згідно з ДНАОП 0.03-4.02-94 "Положення про медичний огляд працівників певних категорій", затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України від 31.03.94 № 45 та не мають медичних протипоказань;
- з котрими проведено інструктаж (навчання) з охорони праці, у тому числі при виконанні робіт з підвищеною небезпекою, ознайомлення з вимогами правил поведінки при виникненні аварій і надання першої (долікарської) допомоги потерпілим від нещасних випадків;
- котрі пройшли професійний добір і склали іспити на право: працювати з токсичними легкозаймистими та вибухонебезпечними хімічними речовинами, технічної експлуатації електроустановок споживачів напругою

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60

до 1000 В і мають групу електробезпеки, не нижчу II-ої (керівник робіт, бригадир або старший групи – не нижчу III-ої або IV-ої);

- з котрими проведено вступний інструктаж та інструктаж і стажування на робочому місці із записом у відповідному журналі.

Робітники, котрі виконують роботи з ацетоном, бензолом, керосином, бензином, бутилацетатом, толуолом, етиловим ефіром, повинні:

- знати та виконувати вимоги нормативних актів з охорони праці (правил, стандартів, норм, положень, Інструкцій);
- знати та виконувати вимоги правил поведінки з устаткуванням, інструментом та іншими засобами виробництва;
- користуватися засобами колективного та індивідуального захисту;
- виконувати вимоги і зобов'язання з охорони праці, передбачені Законом, колективним договором, угодою, трудовим договором та правилами внутрішнього трудового розпорядку підприємства (установи), у тому числі:
 - а) вчасно починати та закінчувати роботу, дотримуватися встановленого часу технологічної та обідньої перерв;
 - б) не виконувати робіт, не передбачених змінним завданням;
 - в) не знаходитися на роботі в позаробочий час без відповідного дозволу керівника;
- проходити в установленому порядку попередні та періодичні медичні огляди;
- співробітничати з власником у справі організації безпечних і нешкідливих умов праці, особисто вживати посильних заходів щодо усунення будь-якої виробничої ситуації, яка створює загрозу його життю чи здоров'ю або людям, котрі його оточують, і навколишньому природному середовищу (ст. 159 Кодексу Законів про працю України /КЗпПУ/);
- повідомляти про небезпеку свого безпосереднього керівника чи іншу посадову особу (ст. 159 КЗпПУ).

У приміщенні, де розміщене робоче місце, повинно знаходитися не менше двох працівників.

Працівники не повинні залишати робоче місце без нагляду.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61

При виконанні робіт з ацетоном, бензолом, керосином, бензином, бутил ацетатом, толуолом, етиловим ефіром можуть мати місце такі небезпечні та шкідливі чинники:

а) фізичні:

- ураження електричним струмом;
- вибухонебезпека;
- пожежонебезпека;
- ураження від самозаймання речовин та їх парів у суміші з повітрям;
- підвищення або зниження температури робочої зони;

б) хімічні:

- токсична дія на організм людини; отруєння;
- подразнююча дія на організм людини (шкірний покрив, слизові оболонки очей та органів дихання); наркотична дія; проникнення через неушкоджену шкіру.

Для виконання робіт із шкідливими та небезпечними умовами праці згідно із ст.8 Закону працівникам видаються безоплатно за встановленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби Індивідуального захисту, а також мийні та знешкоджуючі засоби:

- халат лавсановий (білий або світлих тонів) згідно з ГОСТ 12.4.103-83;
- ковпак (шапочка, косинка) лавсановий (білий або світлих тонів) згідно з ГОСТ 12.4.011-89;
- взуття шкіряне (тапочки) згідно з ГОСТ 12.4.137-2001;
- рукавички гумові технічні згідно з ГОСТ 20010-93;
- фартух з прогумованої тканини згідно з ГОСТ 12.4.029-76;
- окуляри захисні герметичні згідно з ГОСТ 12.4.013-85 Е;
- протигаз фільтруючий згідно з ГОСТ 12.4.121 -83;
- коробки фільтруючі відповідної марки "А" або "БКФ" згідно з ГОСТ 12.4.122-83;
- мило туалетне згідно з ГОСТ 28546-90;
- рушник із бавовняної тканини.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		62

Робітники, котрі виконують роботу з легкозаймистими рідинами, повинні дотримуватися таких вимог санітарних норм та особистої гігієни:

- виконувати роботу тільки в необхідних засобах індивідуального захисту;
- утримувати протягом зміни робоче місце в чистоті;
- їсти та зберігати їжу тільки в спеціально відведених для цього місцях;
- зберігати харчові продукти, у тому числі й молочні, що видаються на підприємстві, у холодильниках, які використовуються тільки з цією метою;
- перед тим, як вийти на технологічну перерву (для відпочинку, паління або з інших причин), вимити з милом руки, обличчя та прополоскати ротову порожнину питною водою;
- після закінчення роботи вимити з милом забруднені частини тіла або прийняти душ та прополоскати ротову порожнину питною водою.

Робітники повинні дотримуватися вимог пожежної безпеки, знати місця розташування засобів пожежегасіння, порядок їх використання та вміти ними користуватися відповідно до інструкції з пожежної безпеки.

Речовини: ацетон, бензол, керосин, бензин, бутилацетат, толуол, етиловий ефір є добрими розчинниками та використовуються в промисловості для відмивання й знежирення різних деталей і вузлів виробів, приладів напівпровідникового виробництва та приладобудування, а також для проведення аналізів інших речовин. Під час роботи з цими рідинами треба враховувати їх властивості та небезпечні чинники.

Толуол – безбарвна легкозаймиста, пожежо-вибухонебезпечна рідина з характерним запахом.

Густина при 20°C – 0,866 г/см³.

Температура спалаху – мінус 30°C.

Температура кипіння – +110,6°C.

Температура самозаймання парів у повітрі – 536°C.

Температурні межі вибухонебезпеки насичених парів із повітрям:

- нижня – 0°C;
- верхня – 30°C.

Концентраційні межі вибухонебезпеки парів з повітрям за об'ємом:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

- нижня – 1,3 %;
- верхня – 6,7 %.

Толуол відноситься до числа токсичних продуктів. Пари толуолу при високих концентраціях діють наркотично, шкідливо впливають на нервову систему, спричиняють подразнюючу дію на шкіру та слизові оболонки очей людини. ГДК парів у повітрі робочої зони 50 мг/м³. 4 клас небезпеки згідно з ГОСТ 12.1.007-76.

Для забезпечення безпечного режиму роботи у виробництві неконцентрованої толуолу необхідно суворе виконання технологічного регламенту, інструкцій з охорони праці по робочих місцях, інструкції з охорони праці та промислової безпеки відділення, інструкцій по окремим видам робіт.

Обслуговуючий персонал допускається до роботи лише у спецодязі та спецвзутті, зобов'язаний мати при собі справні засоби індивідуального захисту. Засоби захисту (індивідуальний протигаз) обов'язково перевіряється щозміни перед початком роботи.

Особи, які обслуговують механізми, повинні знати правила Держміськтехнагляду, що відносяться до обслуговуваного обладнання; особи, які обслуговують котлонадзорне обладнання – правила котлонагляду.

Не допускати порушення нормального технологічного режиму на всіх стадіях процесу.

Роботи вести тільки на справному обладнанні, оснащеному всіма необхідними і справно діючими запобіжними пристроями, контрольно-вимірювальними і регулювальними приладами, сигналізаціями і блокуваннями.

При здачі в ремонт обладнання та комунікацій, в яких можливе скупчення аміаку, проводити продування обладнання і комунікацій азотом до відсутності в продувному азоті горючих з'єднань.

Перед заповненням апаратів і комунікацій аміаком після їх ремонту проводити продування азотом до вмісту кисню в продувному азоті не більше 3,0 % об.

Не допускати ремонт комунікацій, арматури, обладнання, що знаходяться під тиском. Ремонт повинен проводитися після скидання тиску і відключення ремонтної ділянки заглушками. Устаткування, комунікації, які підлягають ремонту, повинні бути продуті або промиті.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
						64
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Щоб уникнути гідравлічних ударів подачу пари в холодні паропроводи виконувати повільно, забезпечивши достатній їх підігрів зі скиданням конденсату по всій довжині трубопроводу. Вихід сухої пари з дренажу свідчить про достатній прогрів трубопроводу.

Не допускати включення електричного обладнання при несправному заземленні.

Не допускати ремонт обладнання з електроприводом без зняття напруги з електродвигунів.

Ремонт і налагодження КВП та електрообладнання дозволяється здійснювати лише силами служб КВП і електриків.

Користуватися відкритим вогнем у виробничих і складських приміщеннях забороняється:

- вогневі роботи проводяться тільки при наявності наряду-допуску, підписаного начальником цеху і затвердженого начальником управління, групою цехів по ПМУ після узгодження з інженером з охорони праці;
- куріння дозволяється лише у спеціально відведених для цих цілей місцях.

Усі обертові частини устаткування (напівмуфти), крильчатки обертових вентиляторів, на валах електродвигунів повинні мати надійне кріплення і огорожені, і пофарбовані в червоний колір.

Фланцеві з'єднання кислотних ліній повинні бути захищені захисними кожухами.

Підтягування болтів фланцевих з'єднань трубопроводів, а також проведення робіт на обладнанні, що знаходиться під тиском, не допускається.

Апарати, що працюють під тиском, повинні задовольняти вимогам, викладеним в технічних умовах і правилах будови і безпечної експлуатації посудин і комунікацій, що працюють під тиском.

Вентиляція повинна бути у справному стані і перебувати постійно в роботі.

Обслуговування вантажопідйомних механізмів, посудин, що працюють під тиском, проводиться тільки особами, спеціально навченими і що мають спеціальне посвідчення.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65

Підходи до аварійних шаф, пожежних сповіщувачів, пожежного інвентарю не допускається захаращувати сторонніми предметами, утримувати їх необхідно в чистоті і у справному стані.

Відкриті прорізи в перекриттях, майданчиках, перехідні містки повинні мати огорожі висотою 1 м. У нижній частині огорожі повинен розташовуватися бортик або захисна смуга висотою 15 см.

Усі контрольно-вимірвальні прилади і системи автоматики і блокування повинні знаходитися у справному стані.

Для запобігання відкладення нітрит-нітратних солей на внутрішніх поверхнях апаратів і трубопроводів, лопатях роторів, стінках компресорів та інших деталях і апаратах не допускати тривалого розпалювання контактних апаратів (більше 20 хвилин).

Робочі місця для проведення ремонтних та інших робіт і проходи до них на висоті 1,3 м і більше повинні бути огорожені. При неможливості або недоцільності влаштування огорожень роботи на висоті 1,3 м і вище, а також при роботі з приставних сходів на висоті більше 1,3 м, необхідно застосовувати запобіжні пояси. При цьому у місцях проведення робіт мають перебувати допоміжні робочі, готові надати допомогу працюючому на висоті. Місце закріплення карабіна визначає керівник робіт.

Запобіжні пояси проходять випробування перед введенням в експлуатацію, а також в процесі експлуатації через кожні 6 місяців. На запобіжному поясі повинна бути бирка із зазначенням реєстраційного номера та дати наступного випробування.

При виявленні будь-яких несправностей у роботі устаткування, дефектів опор, стін і т. п. своєчасно інформувати начальника відділення. За необхідності зупинити обладнання і підготувати його до здачі в ремонт.

Отже, при суворому дотриманні технологічного режиму, інструкцій з техніки безпеки при виробництві толуолу можуть бути створені цілком безпечні умови праці.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		66

6.2 Розрахунок потенційно-небезпечного фактору

Для запобігання враженню струмом обслуговуючого персоналу всі апарати та механізми що використовують в процесі виробництва електричний струм (насоси, компресори, газодувки) повинні підлягати обов'язковому заземленню.

Виконаємо розрахунок захисного заземлення для стаціонарної установки.

Таблиця 6.2 – Вихідні дані до розрахунку захисного заземлення

Показник	Труба
Довжина заземлювача, см	250
Діаметр заземлювача, см	7
Ширина з'єднувальної смуги	7
Ґрунт	Торф
Кліматична зона	II
Заземлювачі заглиблені і розміщені в один ряд	глибина заглиблення $h = 80$ см

У відповідності до вимог ПУЕ визначається допустимий опір розтіканню струму в заземленні R_z . Для мереж з напругою до 1000 В можна взяти $R_z = 4$ Ом.

Визначається питомий опір ґрунту, який рекомендовано для розрахунків, $\rho_{\text{табл.}}$ Ом·см). Для торфу – $\rho_{\text{табл.}} = 2000$ Ом·см.

Визначаються підвищувальні коефіцієнти для труб (вертикальних заземлювачів) $K_{\text{П.Т}}$ та для з'єднувальної смуги $K_{\text{П.С}}$, які враховують зміну опору ґрунту в різні пори року залежно від наявності опадів. Приймаємо: $K_{\text{П.Т}} = 1,8$. $K_{\text{П.С}} = 4,0$.

Визначається питомий розрахунковий опір ґрунту для вертикальних електродів (труб) $\rho_{\text{розр.т}}$ із урахуванням несприятливих умов за допомогою підвищувального коефіцієнта:

$$\rho_{\text{розр.т}} = \rho_{\text{табл.}} \cdot K_{\text{П.Т}}, \text{ Ом} \cdot \text{см}; \quad (6.1)$$

$$\rho_{\text{розр.т}} = 2000 \cdot 1,8 = 3600 \text{ Ом} \cdot \text{см}. \quad (6.2)$$

5. Визначається питомий розрахунковий опір ґрунту для горизонтального заземлювача (з'єднувальної смуги):

$$\rho_{розр.н} = \rho_{табл} \cdot K_{П.С}, \text{ Ом}\cdot\text{см}; \quad (6.3)$$

$$\rho_{розр.с} = 2000 \cdot 4 = 8000 \text{ Ом}\cdot\text{см}. \quad (6.4)$$

6. Визначається відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача:

$$t = h_3 + \frac{l_m}{2}, \text{ см}, \quad (6.5)$$

де h_3 – глибина заглиблення труб, см;

l_m – довжина вертикального заземлювача.

$$t = 80 + 250/2 = 205 \text{ см} \quad (6.6)$$

Визначається опір розтіканню струму для одиночного вертикального заземлювача, який розташований нижче від поверхні землі:

$$R_T = 0,366 \frac{\rho_{розр.г}}{l_T} \left(\lg \frac{2l_T}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + l_T}{4t - l_T} \right), \text{ Ом}. \quad (6.7)$$

$$R_T = 0,366 \times \frac{3600}{250} \left(\lg \frac{2 \times 250}{7} + \frac{1}{2} \lg \left(\frac{4 \times 205 + 250}{4 \times 205 - 250} \right) \right) = 10,5 \text{ Ом}. \quad (6.8)$$

Визначається необхідна кількість вертикальних заземлювачів без урахування коефіцієнта екранування:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						68
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_T \cdot \eta_{e.T} = \frac{R_T}{R_3}; \quad (6.9)$$

$$n_T \cdot \eta_{e.T} = \frac{10,5}{4} = 2,63 \text{шт.}, \quad (6.10)$$

прийmemo 3 шт.

Визначається відстань між вертикальними заземлювачами L_T із співвідношення

$$c = \frac{L_T}{l_T}. \quad (6.11)$$

Для стаціонарних заглиблених заземлювачів це співвідношення береться таким: $C = 1$. $L_T = l_T = 250$ см.

Визначаємо коефіцієнт екранування труб при числі труб n_T та відношенні:

$$c = \frac{L_T}{l_T} \cdot \eta_{e.T} = 0,78. \quad (6.12)$$

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$n_{T.E} = \frac{R_T}{R_3 \cdot \eta_{E.T}}; \quad (6.13)$$

$$n_{T.E} = \frac{10,5}{4 \times 0,78} = 3,37 \text{шт.}, \quad (6.14)$$

приймаємо 4 шт.

Визначаємо розрахунковий опір розтіканню струму при прийнятому числі вертикальних заземлювачів $n_{T.E}$:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						69
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{розр.тр} = \frac{R_T}{n_{T.E.} \cdot \eta_{E.T}}; \quad (6.15)$$

$$R_{розр.тр.} = \frac{10,5}{4 \times 0,78} = 3,37 \text{ Ом}. \quad (6.16)$$

Визначаємо довжину з'єднувальної смуги:

$$L_{3.C} = 1,05 L_T (n_{T.E} - 1), \text{ см}; \quad (6.17)$$

$$L_{3.c} = 1,05 \cdot 250 \cdot (4-1) = 787 \text{ см}. \quad (6.18)$$

Визначаємо опір розтікання струму в з'єднувальній смузі:

$$R_{3.C} = 0,366 \frac{\rho_{розр.c}}{L_{3.C}} \lg \frac{2L_{3.C}^2}{h_3 \cdot b_C} \text{ Ом}; \quad (6.19)$$

$$R_{3.c} = 0,366 \times \frac{8000}{787} \lg \frac{2 \times 787^2}{80 \times 7} = 12,4 \text{ Ом}. \quad (6.20)$$

Визначаємо коефіцієнт екранування для з'єднувальної смуги: $\eta_{E.3.C} = 0,77$.

Визначаємо розрахунковий опір для розтікання електричного струму в з'єднувальній смузі з урахуванням коефіцієнта екранування:

$$R_{розр.c} = \frac{R_{3.c}}{n_c \cdot \eta_{E.3.П}}, \quad (6.21)$$

де n_c – кількість з'єднувальних смуг, у нас $n_c = 1$.

$$R_{розр.c} = \frac{12,4}{1 \times 0,77} = 16,1 \text{ Ом} \quad (6.22)$$

Визначаємо загальний розрахунковий теоретичний опір розтіканню струму від вертикальних заземлювачів та з'єднувальної смуги:

$$R_{\text{заг.розр}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{розр.Т}}} + \frac{1}{R_{\text{розр.С}}}}; \quad (6.23)$$

$$R_{\text{заг.розр}} = \frac{1}{\frac{1}{4,49} + \frac{1}{16,1}} = 3,51 \text{ Ом}, \quad (6.24)$$

що менше R_3 .

Опір менше 4 Ом, отже захисне заземлення розраховано правильно.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		71

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Принципиальная технологическая схема производства ароматических углеводородов (бензола и толуола) платформингом [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://bstudy.net/971143/tehnika/printsiplnaya_tehnologicheskaya_schema_proizvodstva_aromaticeskih_uglevodorodov_benzola_toluola_platfo
2. Вікіпедія. Толуен [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BB%D1%83%D0%B5%D0%BD>
3. Толуол [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://himija-online.ru/organicheskaya-ximiya/areny/toluol.html>
4. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітньої програми «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : для студентної, заочної та дистанційної форм навчання / В. І. Склабінський, Я. Е. Михайловський, Р. О. Острога, М. С. Скиданенко. – Суми : СумДУ, 2019. – 53 с.
5. Збарский В. Л. Толуол и его нитропроизводные / В. Л. Збарский, В. Ф. Жилин. – Москва : Эдиториал, 2000. – 272 с.
6. Врагов А. П. Теплообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : навчальний посібник / А. П. Врагов. – Суми : Вид-во СумДУ, 2006. – 262 с.
7. Іванченко В. В. Конструювання та розрахунок кожухотрубчастих теплообмінних апаратів / В. В. Іванченко, О. І. Барвін, Ю. М. Штонда. – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2006. – 208 с.
8. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – Москва : Химия, 1973. – 754 с.
9. Маньковский О. Н. Теплообменная аппаратура химических производств: Инженерные методы расчета / О. Н. Маньковский, А. Р. Толчинский, М. В. Александров. – Ленинград : Химия, 1976. – 368 с.
10. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – Ленинград : Химия, 1987. – 576 с.

11. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.

12. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Ленинград : Машиностроение, 1982. – 384 с.

13. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов : в 2 кн. Кн. 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты / Ю. И. Дытнерский. – Москва : Химия, 1995. – 400 с.

14. Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – Ленинград : Машиностроение, 1970. – 752 с.

15. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – Ленинград : Машиностроение, 1981. – 382 с.

16. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – Москва : Машиностроение, 1989. – 640 с.

17. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Ленинград : Машиностроение, 1984. – 301 с.

18. Дистанційний курс «Проектування хімічних виробництв і основи САПР» / «Компонування виробництва» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://elearning.sumdu.edu.ua/free_content/lectured:f43ede4f2c1341b4c42f8f9ad8b986f4c38640aa/latest//4642/tema.pdf

19. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Химия, 1980. – 312 с.

20. Ермаков В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В.И. Ермаков, В.С. Шейн. – Ленинград : Химия, 1981. – 368 с.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		73

21. Пряников В. И. Техника безопасности в химической промышленности В. И. Пряников. – Москва : Химия, 1990. – 346 с.

22. Примірна інструкція з охорони праці при роботах з ацетоном, бензол, керосином, бензином, бутилацетатом, толуолом, етиловим ефіром [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://otipb.at.ua/load/primirna_instrukcija_z_okhoroni_praci_pri_robotakh_z_acetonom_benzolom_kerosinom_benzinom_butilacetatom_toluolom_etilovim_efirom/3-1-0-1682

23. Методичні вказівки до дипломного проекту «Розрахунок захисного заземлення» із розділу «Охорона праці / Л. О. Гурець, І. О. Трунова». – Суми : Видавництво СумДУ, 2012. – 21 с.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		74