

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра: Хімічної технології високомолекулярних сполук

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВР**  
зі спеціальності 6.133: Галузеве машинобудування

Тема роботи: Виробництво оцтової кислоти. Насадочна ректифікаційна колона потужність по вихідній суміші 6500 кг/годину.

Виконав студент

Томорка П.В.

Залікова книжка:

№ \_\_\_\_\_

Захищений з оцінкою:

\_\_\_\_\_

Керівник проекту

Романько С.М.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ**  
**СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**  
 Спеціальність: Галузеве машинобудування

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Зав. Кафедрою

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВР**

Студенту: Томорка П.В.

група ХМзт-71ш курс IV

1. **Тема курсової роботи:** «Виробництво оцтової кислоти. Насадочна ректифікаційна колона потужність по вихідній суміші 6500 кг/годину.»

2. **Вихідні дані:** Продуктивність 6500 кг/год, склад продуктів за легкокиплячим компонентом у вихідній суміші 25% (мол.), в дистилаті 96% (мол.), в кубовому залишку 2,5%. Насадка – Кільця Рашига 50x50x5 мм.

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу (листи А1)

3.1 Загальний вигляд 2,5xА1;

3.2 Технологічна схема А2;

3.3 Складальні креслення 2xА2.

4. Література та матеріали, які рекомендуються: Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов / М.Ф. Михайлев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М.Ф. Михайлева. Л.: Машиностроение, Ленингр. отдние, 1984. - 301 с., ил.

5. Контрольні терміни виконання: травень

Етап і розділи комплексного курсового проекту	Т И Ж Д Е Н Ь					
	1, 2	3, 4, 5,6	7, 8, 9	10, 11, 12, 13	14	15
1 Опис схеми, апарата	х х					
2 Технологічна частина		х х х х				
3 Розрахунки на міцність, герметичність та стійкість			х х х			
4 Розробка креслень				х х х х		
5 Оформлення записки					х	
6 Захист проекту						х

6. Дата видачі завдання Березень 2021 р

7. Термін захисту курсової роботи Червень 2021р.

Керівник комплексної курсової роботи Романько С.М.

## Реферат

Пояснювальна записка: 59 с, 6 рисунків, 3 таблиці, 13 літературних джерел. Графічні матеріали: складальне креслення апарата, технологічна схема, креслення складальних одиниць листів 4 формату А1.

Тема: Виробництво оцтової кислоти. Насадочна ректифікаційна колона потужність по вихідній суміші 6500 кг/годину.

Розроблена технологічна схема виробництва. Описані теоретичні основи процесу ректифікації. Описаний принцип дії та конструкція ректифікаційної колони. Вибраний та обґрунтований матеріал апарату.

Проведені технологічні розрахунки апарату це розрахунки матеріального та теплового балансів, конструктивні розрахунки, визначений опір апарату, вибране та розраховане допоміжне обладнання.

Зроблені конструктивні розрахунки товщин стінок апарату, розрахунки які підтверджують надійність апарату.

Описаний монтаж і ремонт апарату та охорона праці.

Ключові слова: АПАРАТ, КОРПУС, РЕКТИФІКАЦІЯ, КОЛОНА, ОЦТОВА КИСЛОТА.

## Зміст

Вступ.....	5
1 Технологічна частина .....	6
1.1 Опис технологічної схеми установки.....	6
1.2 Теоретичні основи процесу .....	8
1.3 Опис конструкції колони і вибір матеріалів.....	10
2 Технологічні розрахунки процесу і апарату.....	16
2.1 Матеріальний баланс процесу .....	16
2.2 Технологічні розрахунки .....	17
2.3 Конструктивні розрахунки .....	22
2.4 Гідравлічний опір апарата .....	26
2.5 Тепловий баланс установки.....	28
2.6 Вибір допоміжного обладнання.....	31
3 Розрахунок апарату на міцність та герметичність.....	35
3.1 Расчет толщины стенки корпуса и крышки.....	35
3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання.....	37
3.3 Розрахунок опори .....	46
4 Монтаж і ремонт апарату .....	49
4.1 Монтаж колони .....	49
4.2 Проведення ремонтних робіт .....	50
5 Охорона праці.....	52
5.1 Аналіз потенційних небезпек, під час експлуатації обладнання.....	52
5.2 Характеристики розділених компонентів .....	54
5.3 Розрахунок освітлення .....	55
Висновки .....	57
Література .....	58

					6.133.21.07.00.00 ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Томорка</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Романько</i>			4		
<i>Реценз.</i>					<i>ШІ Сум ДУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>							

*Пояснювальна  
записка*

## Вступ

Проблеми виготовлення оцтової кислоти високої якості із початкової суміші вимагає до себе великої уваги, так як неправильне та неякісне дотримання технологічних процесів не дозволяє отримати продукт необхідної якості.

Із всієї технологічної лінії необхідно виділити ділянку ректифікації, де від якості дотримання технологічного процесу та правильності підбору обладнання залежать кінцеві властивості готового продукту. При цьому технологічна схема прийнята типовою для розділення сумішей, де кількість колон на лінії дорівнює числу компонентів у вихідній суміші. Такий вибір зумовлений практичним досвідом даного виробництва.

Ректифікація – це масообмінний процес, який здійснюється в більшості випадків в проточних колонних апаратах з контактними елементами (насадки, тарілки), аналогічними в процесах абсорбції. Згідно цьому методи розрахунку та проектування ректифікаційних та абсорбційних установок мають багато спільних елементів. Особливості процесу ректифікації (різні співвідношення навантажень за рідиною та паром в нижній та верхній частинах колони; змінний по висоті коефіцієнт розподілення, спільне протікання процесів масо- та теплопереносу) ускладнює його розрахунок. Вибір конструкції колони та контактних елементів залежить від багатьох факторів и визначається в цілому економічною доцільністю, вартість процесу ректифікації і вимоги, що пред'являються до готового продукту.

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми установки

Технологічна схема ректифікаційної установки зображена на рисунку 1. Початкова суміш потрапляє в проміжну ємність позиція 7, потім з проміжної ємності позиція 7 відцентровим насосом позиція 11 подається в теплообмінник підігрівача позиція 4, де підігрівається до температури кипіння. Нагріта суміш надходить в насадочну ректифікаційну колону позиція 1 на поверхню насадок (кільця Рашига).

Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з піднімаючою вгору паром, що утворюється при кипінні кубової рідини в кип'ятильник позиція 3. Початковий склад пара приблизно дорівнює складу кубового залишку  $x_w$ , тобто, збіднений легколетучим компонентом. Для більш повного збагачення верхню частину колони зрошують відповідно до заданого флегмового числа рідини (флегмою) складу  $x_p$ , яка входить в дефлегматор позиція 2 шляхом конденсації пара, що виходить з колони. Частина конденсату виводиться з дефлегматора у вигляді готового продукту поділу - дистилату, який охолоджується в теплообміннику (холодильнику) позиція 5 і направляється в проміжну ємність позиція 8. З кубової частини колони насосом позиція 13 безперервно виводиться кубова рідина - продукт, збагачений важколетучим компонентом, який охолоджується в теплообміннику (холодильнику) позиція 6 і направляється в ємність позиція 9.

Таким чином, в ректифікаційній колоні здійснюється безперервний нерівномірний процес поділу вихідної бінарної суміші на дистилат з високим вмістом легколетучого компонента і кубовий залишок, збагачений важколетучим компонентом.[4]

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

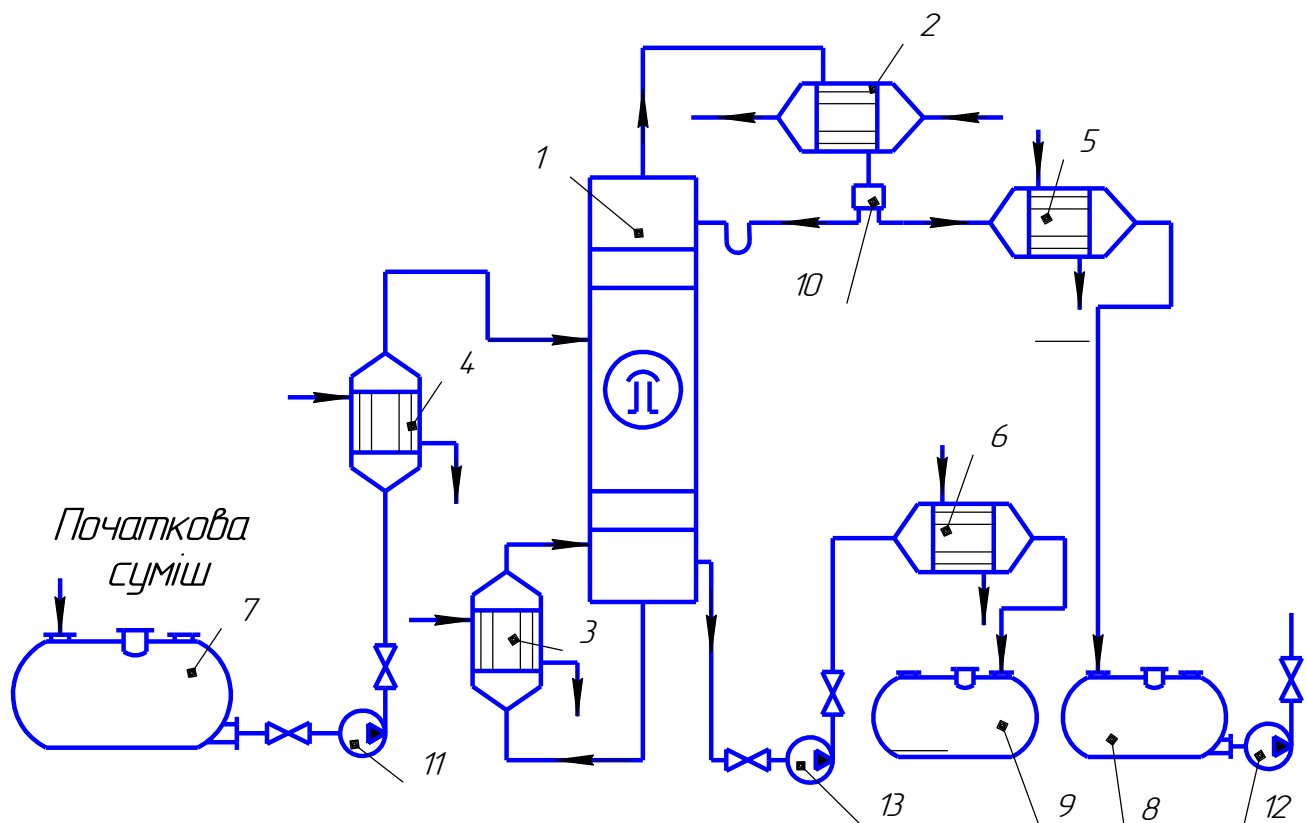


Рисунок 1 – Технологічна схема ректифікації

- 1 – насадочна ректифікаційна колона,
- 2 - дефлегматор (конденсатор),
- 3 - кип'ятильник,
- 4 - теплообмінник (підігрівач),
- 5 - холодильник дистиляту,
- 6 - холодильник кубової рідини,
- 7 - ємність для початкової суміші,
- 8 - ємність для збору дистиляту,
- 9 - ємність для кубової рідини,
- 10 - розподільник,
- 11, 12, 13 – насоси.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.133.21.07.00.00 ПЗ

Арк.

7

## 1.2 Теоретичні основи процесу

Розглядаючи взаємодію пари та рідини в ректифікаційному апараті, отримаємо результати:

а) мольні теплові випари компонентів однакові, згідно цього кожний кілограм-моль пари при конденсації випарює відповідно кілограм-моль рідини і згідно, мольний потік пари, переміщуючого в апараті знизу вверху, однаково в будь-якому січенні апарата;

б) при конденсації пари в конденсуючому пристрої не відбувається зміна складу пари, отже, склад пара який виходить із ректифікаційної колони дорівнює складу дисцилята  $y_p = x_p$ ;

в) при випаровуванні рідини в нижній частині апарата випарювача не відбувається її зміна складу, отже склад пара, який виникає в випарнику, дорівнює складу залишку  $y_w = x_w$ ;

Кількість дисцилята, отриманого в конденсаторі, дорівнює кількості пари, який надходить в цей апарат. Отриманий в конденсаторі дисцилят ділиться на дві частини – одна частина надходить в колону (флегма), друга кінцевим продуктом (дисцилятом).

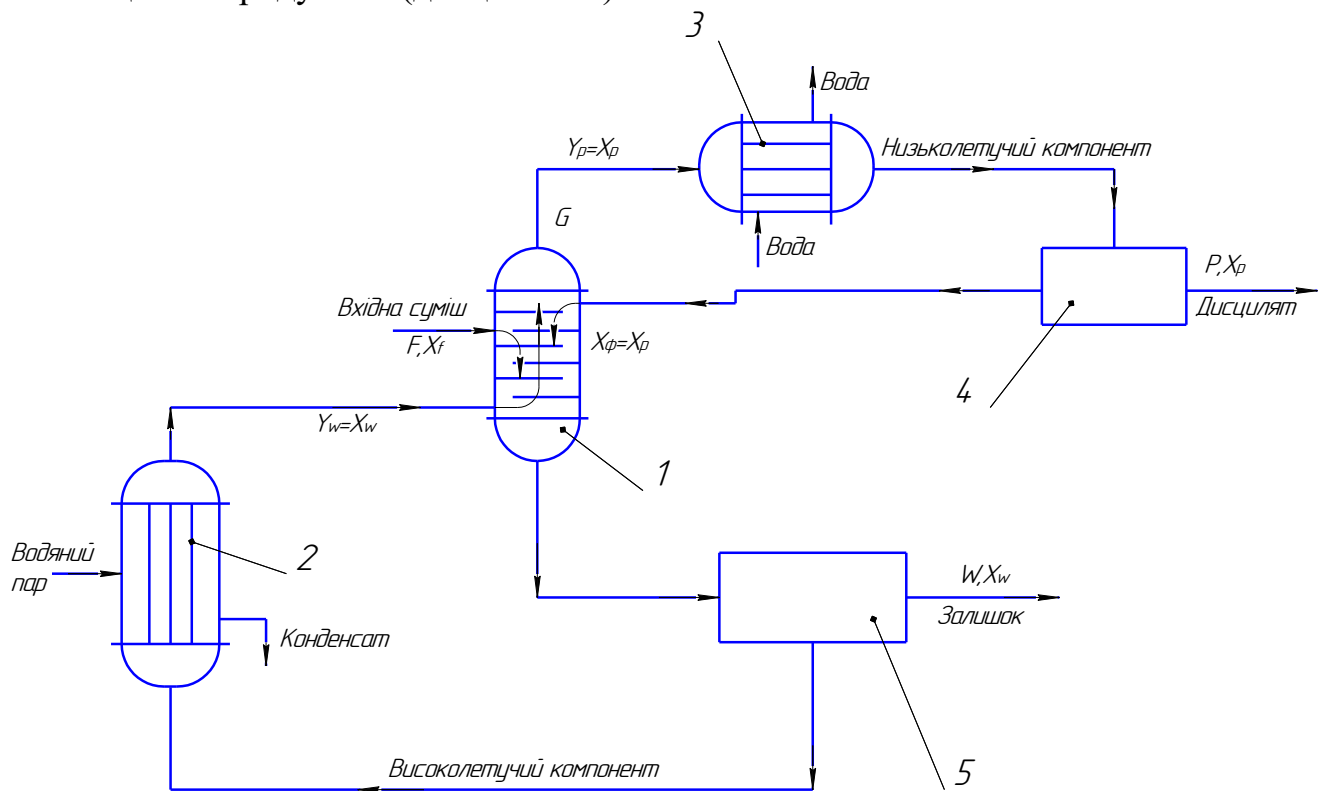


Рис. 2 Схема роботи ректифікаційної колони

1 - Ректифікаційна колона, 2 – кип'ятильник, 3 – конденсатор,  
4 – холодильник дисцилята, 5 – холодильник кубової рідини.

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Для отримання 1 кмоль дистилляту необхідно випарювання  $D$  кмоль рідини та повернення в апарат шляхом конденсації для взаємозв'язку з паровим потоком  $R$  кмоль. Останню величину назвемо флегмовим числом, вона являє собою співвідношення кількості повертаючого в колону дисцилята (флегми) до кількості відпрацьованого дисциляту у вигляді готового продукту.

Кількість пара, отриманого в нижній частині ректифікаційного апарата, який проходить по колоні який надходить в конденсатор (дефлегматор), дорівнює

$$D \cdot G_p = G_p \cdot R + G_p \text{ чи } D = R + 1. \quad (1.1)$$

Отримане співвідношення показує, що розділ суміші при ректифікації в результаті взаємозв'язку в потоці парів та рідин в ректифікаційному апараті при кратності випарювання  $(R + 1)$  та кратності конденсації  $R$ .

Для визначення флегмового числа та виводу рівняння ліній робочих конденсацій необхідно розглянути матеріальний баланс ректифікації. Матеріальний баланс ректифікації по летучему компоненту может бути визначеним загальним для всіх масообмінних процесів виражен общим для всех массообменных процессов рівністю

$$G \cdot dy = L \cdot (-dx). \quad (1.2)$$

Кількість взаємодіючих парів складе  $G$  кмоль, а рідини  $L$  кмоль. Тоді, згідно прийнятому співвідношенню,  $G = (R + 1) \cdot G_p$ , а  $L = R \cdot G_p$  – для верхньої частини ректифікаційного апарата та  $L = (R + F) \cdot G_p$  – для нижньої частини апарата. Таким чином, для верхньої та нижньої частини апарата рівнянн матеріального балансу буде мати вигляд

$$(R + 1)dy = R(-dx); \quad (1.3)$$

$$(R + 1)dy = (R + F)(-dx). \quad (1.4)$$

Для довільного січення верхньої частини колони, де робочі концентрації  $x$  та  $y$ , і верху, де концентрації  $x_p$  та  $y_p$ , отримаємо

$$(R + 1) \cdot (y_p - y) = (R + 1) \cdot (x_p - x) = R \cdot (x_p - x) \quad (1.5)$$

або

$$y = \frac{R}{R + 1} \cdot x + \frac{x_p}{R + 1} = A \cdot x + B. \quad (1.6)$$

Для довільного січення нижньої частини колони, де робочі концентрації  $x$  та  $y$ , і верху, де концентрації рідини та пару  $x_w$  та  $y_w$ , отримаємо

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$(R + 1) \cdot (y - y_w) = (R + 1) \cdot (y - x_w) = (F + R) \cdot (x - x_w) \quad (1.7)$$

або

$$y = \frac{R + F}{R + 1} \cdot x - \frac{F - 1}{R + 1} \cdot x_w = A' \cdot x + B' \quad (1.8)$$

Отримання рівняння ліній робочих концентрацій для верхньої та нижньої частин ректифікаційної колони.

Окрім цього, із рівняння для січення апарата, згідно вводу початкової суміші  $(x_f, y_f)$ , та верху колони  $(x_p, y_p)$  маємо

$$(R + 1) \cdot (x_p - y_f) = R \cdot (x_p - x_f), \quad (1.9)$$

звідки

$$R = \frac{x_p - y_f}{y_f - x_f} \quad (1.10)$$

### 1.3 Опис конструкції колони і вибір матеріалів

Ректифікаційні колони, в залежності від їх внутрішньої конструкції для розподілу стікаючої флегми і висхідних парів поділяються на сітчасті, ковпачкові та насадочні. Колона це вертикальний циліндр, виготовлений зі сталі, чавуну або кераміки і складається з декількох царг, з'єднаних герметично за допомогою рознімних фланців. Більшість колон цільно зварні.

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

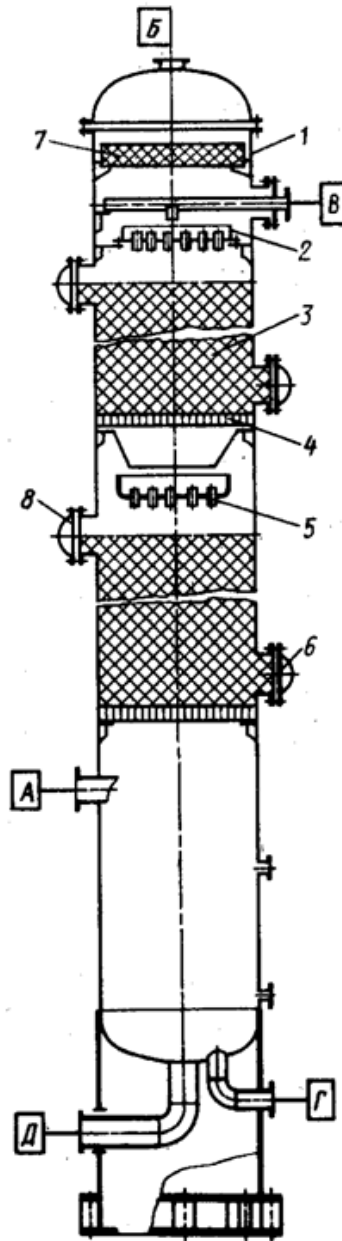


Рис. 3. Схема насадочної ректифікаційної колони  
 1. Корпус, 2. Розподільча тарілка, 3. Насадка,  
 4. Опорні решітки, 5. Перерозподільна тарілка,  
 6. 8, Люки, 7. Відбійні пристрої, А, Б, В, Г, Д штуцери.

У перегінному кубі, за рахунок підведення тепла, відбувається випаровування бінарної суміші. Пори суміші піднімаються в ректифікаційній колоні, а назустріч їм з дефлегматора стікає деяка частина дистилляту, яка носить назву флегми. Пори на виході з ректифікаційної колони надходять в дефлегматор, в якому вони частково конденсуються за рахунок віддачі тепла подається в нього холодильного компонента.

						6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			11

Парожидкісна емульсія надходить в сепаратор; в ньому відбувається відділення пари від рідини. Відсепарований пар надходить в конденсатор де він повністю конденсується і у вигляді готового продукту (ректифікату) надходить в збірний бак.

Процес масо - і теплообміну на контактній поверхні протікає в наступному порядку: рідина (флегма), що виходить в сепараторі вступає в контакт з парами, що надходять з попереднього апарата, по ходу пара контактує з поверхнею; при цьому відбувається часткова конденсація парів і подальша їх сепарація, в результаті якої з частини пара утворюється флегма. Ця флегма по насадці переміщається на контактну поверхню і вступає в контакт з парами цього рівня та іншими.

Таким чином, ректифікація являє собою процеси масо - і теплообміну при безпосередньому змішуванні рідкої суміші (флегми) з парами при їх багаторазової часткової конденсації і сепарації. В процесі ректифікації флегма, опускаючись і вступаючи в масо - і теплообмін з парами, що піднімаються по колоні, випаровується за рахунок тепла конденсації парів і при цьому збіднюється легко кип'ячим компонентом, але збагачується висококиплячим компонентом за рахунок часткової конденсації парів; пари ж навпаки, піднімаючись, збагачуються легко киплячим компонентом за рахунок випаровування його з флегми і збіднюються висококиплячим компонентом.[6]

У насадочних колонах насадка складається з кілець Рашига або Паля (фарфорових, металевих, керамічних), пустотілих кульок, дробленого коксу, кварцу та інших матеріалів. Вибір форми насадки і матеріалу її диктується в кожному окремому випадку фізико-хімічними властивостями, що розділяється рідина суміш в умовах ректифікації.

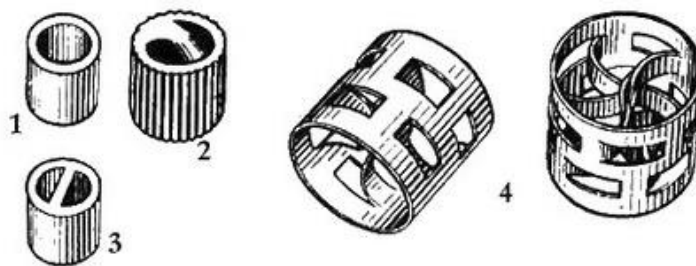


Рис. 4 Насадки ректифікаційної колони

1 – кільця Рашига 2 - спіральні, 3 – з перегородками, 4 – кільця Паля

Для успішної роботи насадок колон слід прагнути у всіх випадках до можливо більш рівномірному розподілу стікаючої рідини по всьому перетину колони. Такому розподілу рідини сприяють однорідність форми і

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

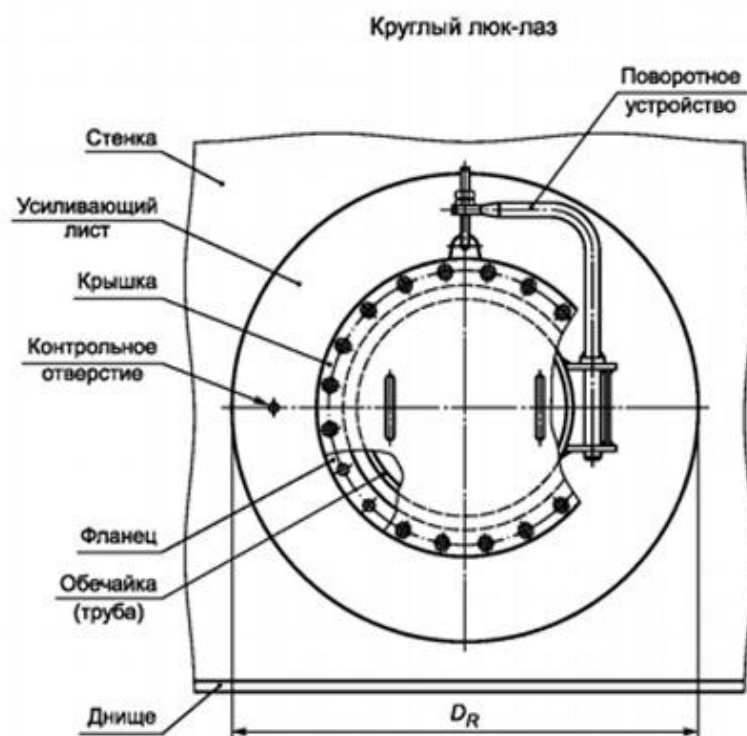
розмірів насадки, максимально можлива швидкість висхідного потоку пара, а також строго вертикальна установка самої колони. Досліди показали, що спочатку досягнута рівномірність розподілу рідини поступово порушується в міру стікання її, так як пар прагне відтіснити рідину до периферії і зайняти центральну зону шару насадки. Для боротьби з цим явищем в колонах з високим шаром насадки останній розбивають на декілька шарів меншої висоти, відокремлених один від одного вільним, незаповненим простором. Крім того, над кожним шаром насадки встановлюють перерозподільні тарілки, що створюють більш рівномірне зрошення насадки і забезпечують рівномірний розподіл пара по перетину колони.[1]

По конструкції корпусів розрізняють в основному три типи колон:

1) корпус зібраний з окремих царг, що з'єднуються між собою фланцями на прокладці. Кришку і днище кріплять таким же способом. У такому корпусі не влаштовують люків-лазів;

2) корпус суцільнозварний; кришку кріплять за допомогою фланцевого з'єднання. Для огляду в корпусі передбачають оглядові люки;

3) корпус суцільнозварний, до нього приварюють кришку і днище. Для монтажу і демонтажу внутрішньої оснастки його обов'язково постачають люками-лазами.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.133.21.07.00.00 ПЗ

Арк.

13

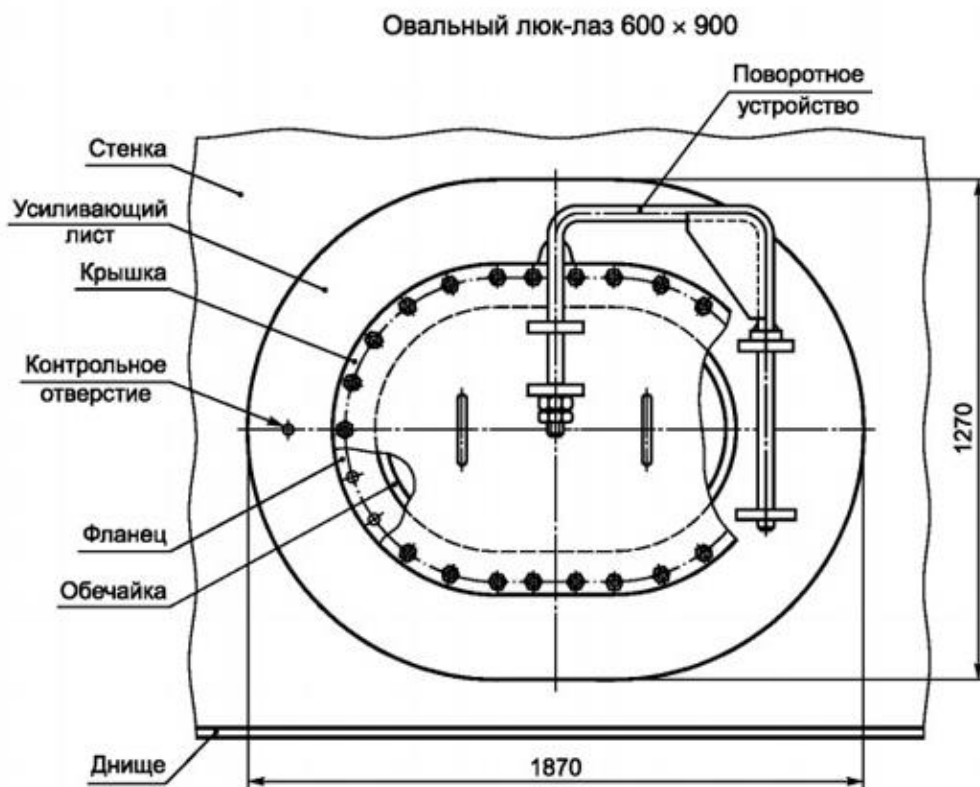


Рис.5 - Люки-лази в стінках колон

У конструкціях опор колонних апаратів необхідно передбачати лази або вікна для огляду зварних швів і полегшення обслуговування. Для колон діаметром 800 мм і більше лази повинні бути діаметром не менше 500 мм.

Вибір конструкційного матеріалу, який визначається умовою експлуатації проектованого елемента, вузла або апарата (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу середовища, вимоги до якості, що переробляється продукту та інше.), Слід виконувати так, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію виготовлення елемента (вироби).[1]

У цьому проекті здійснюється технологічний процес із застосуванням продукту з підвищеним вимогою до його якості в частині відсутності домішок, то для забезпечення умов роботи апарату прийнята корозійностійка сталь аустенітного класу 12X18Н10Т ГОСТ 5632-80. Сталь характеризується гарною корозійною стійкістю в середовищі, рекомендується застосовувати в температурному інтервалі - 256 ° С до + 525 ° С для корпусних елементів, до 600 ° С - для внутрішніх пристроїв без обмеження тиску. Сталь технологічна, добре зварюється, добре деформується в холодному і гарячому стані, добре обробляється всіма видами різання,

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.133.21.07.00.00 ПЗ

Арк.

14

характеризується задовільними лінійними властивостями. Хімічний склад і механічні властивості представлені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Хімічний склад і механічні властивості сталі 12X18H10T

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	S, %	P, %	E·10 <sup>5</sup> 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

До недоліків цієї сталі слід віднести те, через велику в'язкості вона гірше піддається механічній обробці. Однак, з огляду на, те що механічна обробка конструктивних елементів апарату здійснюється тільки за місцем стику зварюваних елементів конструкції, то цей фактор не має істотного впливу в цілому на вартість виготовлення апарату.

Матеріал зовнішньої оснастки, арматури, кріпильних елементів та інші., що не мають контакту і переробляється середовищем, приймаємо конструкційну сталь 20 ГОСТ 380-71. Вибір на користь цієї сталі, заснований на її порівняно низької вартості, хорошій оброблюваності і досить високими фізико-механічними властивостями. Хімічний склад і механічні властивості представлені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 - Хімічний склад і механічні властивості сталі 20

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	As, %	S, %	P, %	E·10 <sup>5</sup> МПа	σ МПа	σ МПа	δ %
0,23- 0,3	0,5- 0,8	0,05- 0,19	0,3	0,5	0,3	0,08	0,05	0,04	2,0	280	400	23

## 2 Технологічні розрахунки процесу і апарату

### 2.1 Матеріальний баланс процесу

Згідно технологічної схеми та даним масових концентрацій в ректифікаційній колоні:

Початкова суміш

$$\bar{x}_F = 0,25;$$

Дисциляту

$$\bar{x}_D = 0,96;$$

Кубового залишку

$$\bar{x}_W = 0,025.$$

Визначимо масовий витрати через  $G_D$ , кубовий залишок  $G_W$ . Із рівняння матеріального балансу визначемо масові витрати дисцилята та кубового залишку

$$G_D = G_F \cdot \frac{\bar{x}_F - \bar{x}_W}{\bar{x}_D - \bar{x}_W} \quad (2.1)$$

де  $G_F$  – витрати початкової рідини, кг/год;

$$G_D = 6500 \frac{0,25 - 0,025}{0,96 - 0,025} = 1564 \text{ кг/год}$$

$$G_W = G_F \cdot \frac{\bar{x}_D - \bar{x}_F}{\bar{x}_D - \bar{x}_W} \quad (2.2)$$

$$G_D = 6500 \frac{0,96 - 0,25}{0,96 - 0,025} = 4936 \text{ кг/год.}$$

Секундні витрати

$$G_D = \frac{1564}{3600} = 0.43 \text{ кг/с,}$$

$$G_W = \frac{4936}{3600} = 1.4 \text{ кг/с,}$$

$$G_F = \frac{6500}{3600} = 1.8 \text{ кг/с.}$$

Виразимо концентрації харчування, дистилята і кубового залишку в мольних частках:

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$x_F = \frac{\frac{\bar{x}_F}{M_B}}{\frac{\bar{x}_F}{M_B} + \frac{1 - \bar{x}_F}{M_y}} \quad (2.3)$$

де  $M_B = 18$  кг/кмоль та  $M_y = 60$  кг/кмоль – молярний частки води і оцтової кислоти відповідно.

$$x_F = \frac{\frac{0.25}{18}}{\frac{0.25}{18} + \frac{1 - 0.25}{60}} = 0.53$$

$$x_D = \frac{\frac{\bar{x}_D}{M_B}}{\frac{\bar{x}_D}{M_B} + \frac{1 - \bar{x}_D}{M_y}} \quad (2.4)$$

$$x_D = \frac{\frac{0.96}{18}}{\frac{0.96}{18} + \frac{1 - 0.96}{60}} = 0.99$$

$$x_W = \frac{\frac{\bar{x}_W}{M_B}}{\frac{\bar{x}_W}{M_B} + \frac{1 - \bar{x}_W}{M_y}} \quad (2.5)$$

$$x_W = \frac{\frac{0.025}{18}}{\frac{0.025}{18} + \frac{1 - 0.025}{60}} = 0.1$$

## 2.2 Технологічні розрахунки

Маємо рівноважні склади рідини [1 додаток X] (x) и (y), в мольних %, та температури кипіння (t) в °C суміші води – оцтова кислота при атмосферному тиску, які заносимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

x	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
y	0	9,2	16,7	30,3	42,5	53	62,6	71,6	79,5	86,4	93	100
t	118,1	115,4	113,8	110,1	107,5	105,8	104,4	103,3	102,1	101,3	100,6	100

За даними таблиці 2 будемо діаграму залежності  $t-x-y$  і рівноваги суміші вода-оцтова кислота (Додаток А).

Відносна молярна витрата харчування

$$F = \frac{X_D - X_W}{X_F - X_W} \quad (2.6)$$

$$F = \frac{0.99 - 0.1}{0.53 - 0.1} = 2.1$$

Робоче флегмове число

$$R = 4$$

Рівняння робочих ліній:  
верхньої частини колони

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{X_D}{R+1} \quad (2.7)$$

$$y = \frac{4}{4+1} \cdot x + \frac{0.99}{4+1} = 0.8 \cdot x + 0.24$$

нижній частині колони

$$y = \frac{R+F}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W \quad (2.8)$$

$$y = \frac{4+2.1}{4+1} \cdot x + \frac{2.1-1}{4+1} \cdot 0.1 = 1.2 \cdot x + 0.2.$$

Наносимо на діаграму стану робочих ліній. Відклавши на осі ординат 0,194 (19,4%), наносимо робочу лінію АВ для верхньої частини колони. Через точки А і С проводимо робочу лінію для нижньої частини колони.

Середні концентрації рідини:

в нижній частині колони

$$X_{\text{ср.н}} = \frac{X_F + X_W}{2}$$

$$x_{\text{ср.н}} = \frac{0.53 + 0.1}{2} = 0.3$$

у верхній частині колони

$$X_{\text{ср.в}} = \frac{X_D + X_F}{2}$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x_{\text{ср.в}} = \frac{0,99 + 0,53}{2} = 0,8$$

Середні концентрації пара по рівняннях робочих ліній:  
у верхній частині колони

$$y_{\text{ср.в}} = 0,8 \cdot x_{\text{ср.в}} + 0,194$$

$$y_{\text{ср.в}} = 0,8 \cdot 0,902 + 0,194 = 0,916 \quad y_{\text{ср.в}} = 0,8 \cdot 0,8 + 0,194 = 0,83;$$

в нижній частині колони

$$y_{\text{ср.н}} = 1,054 \cdot x_{\text{ср.н}} - 0,017$$

$$y_{\text{ср.н}} = 1,054 \cdot 0,3 - 0,017 = 0,3$$

Середні температури пара знаходимо з таблиці 2 (див. вище) методом інтерполяції:

$$\begin{array}{lll} \text{при} & y_{\text{ср.в}} = 0,83 & t_{\text{ср.в}} = 100,8 \text{ } ^\circ\text{C}; \\ \text{при} & y_{\text{ср.н}} = 0,3 & t_{\text{ср.н}} = 105,2 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{array}$$

Середні молярний маси та щільності пара:  
у верхній частині колони

$$M_{\text{ср.в}} = y_{\text{ср.в}} \cdot M_{\text{в}} + (1 - y_{\text{ср.в}}) \cdot M_{\text{у}} \quad (2.9)$$

$$M_{\text{ср.в}} = 0,83 \cdot 18 + 0,17 \cdot 60 = 25,1 \text{ кг/кмоль},$$

$$\rho_{\text{ср.в}} = \frac{M_{\text{ср.в}} \cdot T_0}{22,4 \cdot T_{\text{ср.в}}} \quad (2.10)$$

$$\rho_{\text{ср.в}} = \frac{25,1 \cdot 273}{22,4(273 + 100,8)} = 0,7 \text{ кг/м}^3;$$

в нижній частині колони

$$M_{\text{ср.н}} = y_{\text{ср.н}} \cdot M_{\text{в}} + (1 - y_{\text{ср.н}}) \cdot M_{\text{у}} \quad (2.11)$$

$$M_{\text{ср.н}} = 0,3 \cdot 18 + 0,7 \cdot 60 = 47,4 \text{ кг/кмоль},$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\rho_{\text{ср.н}} = \frac{M_{\text{ср.н}} \cdot T_0}{22,4 \cdot T_{\text{ср.н}}} \quad (2.12)$$

$$\rho_{\text{ср.н}} = \frac{47,4 \cdot 273}{22,4(273+105,2)} = 1,13 \text{ кг/м}^3.$$

Температура в верху колони при  $x_D = 0,99$  дорівнює  $100,3^\circ\text{C}$ , а в кубі-випарнику при  $x_W = 0,1$  дорівнює  $109,2^\circ\text{C}$ .

Щільність води при  $100,3^\circ\text{C}$   $\rho_B = 958 \text{ кг/м}^3$ , оцтової кислоти при  $109,2^\circ\text{C}$   $\rho_Y = 929 \text{ кг/м}^3$  [1, додаток I].

Мольна маса вихідної суміші і дистилляту

$$M_F = M_B \cdot x_F + M_Y \cdot (1 - x_F)$$

$$M_F = 18 \cdot 0,53 + 60 \cdot 0,47 = 37,7 \text{ кг/кмоль},$$

$$M_D = M_B \cdot x_D + M_Y \cdot (1 - x_D)$$

$$M_F = 18 \cdot 0,99 + 60 \cdot 0,01 = 18,4 \text{ кг/кмоль}.$$

В'язкість рідких шарів  $\mu_x$  знаходимо за формулою (4, VII.11)

$$\lg \mu_x = x_{\text{ср}} \cdot \lg \mu_B + (1 - x_{\text{ср}}) \cdot \lg \mu_Y, \quad (2.13)$$

де  $\mu_B$  и  $\mu_Y$  – в'язкість води і оцтової кислоти при температурі суміші.  
[1 додаток II]

$$\mu_{B,B} = 0,284 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{Y,B} = 0,46 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{B,H} = 0,242 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{Y,H} = 0,388 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Тоді відповідно в'язкість рідини у верхній і нижній частині колони

$$\lg \mu_{x,B} = x_{\text{ср.В}} \cdot \lg \mu_{B,B} + (1 - x_{\text{ср.В}}) \cdot \lg \mu_{Y,B} \quad (2.14)$$

$$\log \mu_{x,B} = 0,8 \cdot \log 0,284 \cdot 10^{-3} + 0,2 \cdot \log 0,46 \cdot 10^{-3}$$

звідси

$$\mu_{x,B} = 0,298 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\lg \mu_{x.H} = x_{cp.H} \cdot \lg \mu_{B.H} + (1 - x_{cp.H}) \cdot \lg \mu_{y.H} \quad (2.15)$$

$$\log \mu_{x.H} = 0,3 \cdot \log 0,242 \cdot 10^{-3} + 0,7 \cdot \log 0,388 \cdot 10^{-3}$$

звідси

$$\mu_{x.B} = 0,302 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

Середній масовий потік в колоні

$$G_B = G_D \cdot (R + 1) \cdot \frac{M_{cp.B}}{M_D} \quad (2.16)$$

$$G_B = 0,43(4 + 1) \frac{25,1}{18,4} = 2,9 \text{ кг/с};$$

$$G_H = G_D \cdot (R + 1) \cdot \frac{M_{cp.H}}{M_D} \quad (2.17)$$

$$G_H = 0,43(4 + 1) \frac{47,4}{18,4} = 5,5 \text{ кг/с}.$$

Гранична фіктивна швидкість пара  $\omega_p$ , при якій відбувається захлинання насадочних колон, визначається за рівнянням VII.9 [3]

$$\frac{\omega_p^2 \cdot a \cdot \rho_y \cdot \mu_x^{0,16}}{g \cdot \varepsilon^2 \cdot \rho_x} = 1,2 \cdot \exp \left[ -4 \cdot \left( \frac{L}{G} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{\rho_y}{\rho_x} \right)^{0,125} \right], \quad (2.18)$$

де  $\rho_x, \rho_y$ , – середні щільності рідини і пара, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_x$  – в'язкість рідкої суміші, мПа·с;  $G$  – середній масовий потік в колоні, кг/с.

Для кілець 50×50×5 мм по таблиці XVII [2]:

питома поверхня насадки,  $a = 140 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ;

вільний обсяг,  $\varepsilon = 0,78 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ;

насипна щільність,  $\rho_H = 530 \text{ кг/м}^3$ .

Гранична швидкість парів у верхній частині колони  $\omega_{п.в}$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{\omega_{п.н} \cdot 140 \cdot 0,7 \cdot 0,31^{0,16}}{9,81 \cdot 0,78^2 \cdot 958} = 1,2 \exp \left[ -4 \cdot \left( \frac{1,52}{1,186} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{0,7}{958} \right)^{0,125} \right]$$

звідси

$$\omega_{п.в} = 1,81 \text{ м/с.}$$

Гранична швидкість парів в нижній частині колони  $\omega_{п.н}$

$$\frac{\omega_{п.н} \cdot 140 \cdot 1,13 \cdot 0,31^{0,16}}{9,81 \cdot 0,78^2 \cdot 929} = 1,2 \exp \left[ -4 \cdot \left( \frac{3,276}{2,12} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{1,13}{929} \right)^{0,125} \right]$$

звідси

$$\omega_{п.н} = 1,7 \text{ м/с.}$$

Для ректифікаційних колон, що працюють в плівковому режимі при атмосферному тиску, робочу швидкість рекомендується приймати на 20-30% нижче швидкості захливання (див. с. 127) [3].

Приймемо робочу швидкість  $\omega$  на 30% нижче граничної

$$\omega_{в} = 0,7 \cdot 1,81 = 1,27 \text{ м/с,}$$

$$\omega_{н} = 0,7 \cdot 1,7 = 1,19 \text{ м/с.}$$

### 2.3 Конструктивні розрахунки

Діаметр ректифікаційної колони визначаємо з рівняння витрати [3, VII.12]

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} \quad (2.19)$$

Тоді діаметр верхньої і нижньої частини колони відповідно дорівнює

$$D_{в} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{в}}{\pi \cdot \omega_{в} \cdot \rho_{ср.в}}} \quad (2.20)$$

$$D_{в} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,9}{3,14 \cdot 1,27 \cdot 0,7}} = 0,8 \text{ м,}$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D_H = \sqrt{\frac{4 \cdot G_H}{\pi \cdot \omega_H \cdot \rho_{cp,H}}}$$

$$D_H = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,5}{3,14 \cdot 1,9 \cdot 1,13}} = 0,95 \text{ м,}$$

Приймаємо стандартне значення діаметра колонни, однакові для верхньої та нижньої частини  $D = 1000 \text{ мм}$ .

Висоту шару насадки визначаємо окремо для верхньої і нижньої частини колони [1, 73]

$$H = N_T \cdot h_3, \quad (2.21)$$

де  $N_T$  – число теоретичних тарілок, що визначається графічно по діаграмі  $y-x$ ;  $h_3$  – висота насадки, еквівалентна одній теоретичній тарілці.

Виконавши на діаграмі  $y-x$  побудова ламаної лінії (починаючи від точки В), знаходимо необхідне число ступенів зміни концентрації:

у верхній частині колони воно становить

$$N_{T,B} \approx 14,$$

у нижній частині

$$N_{T,H} \approx 6,$$

всього

$$N_T \approx 20.$$

Еквівалентна висота насадки [2, 7.23]

$$h_3 = 5,2 \cdot d_3 \cdot Re_{\Pi}^{0,2} \cdot \left(\frac{G}{L}\right)^{0,35} \cdot \left(\frac{\rho_{ж}}{\rho_{\Pi}}\right)^{0,2} \cdot \frac{\lg \frac{L}{m \cdot G}}{1 - \frac{m \cdot G}{L}}. \quad (2.22)$$

Далі визначимо параметри, що входять в попереднє рівняння.

Еквівалентний діаметр насадки

$$d_3 = \frac{4 \cdot \varepsilon}{a},$$

$$d_3 = \frac{4 \cdot 0,78}{140} = 0,022 \text{ м.}$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Критерій Рейнольдса для верхньої і нижньої частин колони відповідно

$$Re_{п.в} = \frac{4 \cdot \omega_{в} \cdot \rho_{ср.в}}{a \cdot \mu_{в}}, \quad (2.23)$$

$$Re_{п.в} = \frac{4 \cdot 1,27 \cdot 0,7}{140 \cdot 0,0106 \cdot 10^{-3}} = 6524,3,$$

$$Re_{п.н} = \frac{4 \cdot \omega_{н} \cdot \rho_{ср.н}}{a \cdot \mu_{н}}, \quad (2.24)$$

$$Re_{п.н} = \frac{4 \cdot 1,19 \cdot 1,13}{140 \cdot 0,0103 \cdot 10^{-3}} = 8483,5,$$

де  $\mu_{в}$  и  $\mu_{н}$  – в'язкості парів для верхньої і нижньої частин колони

$$\mu_{в} = \frac{0,0112 + 0,0099}{2} = 0,0106 \text{ мПа}\cdot\text{с},$$

$$\mu_{н} = \frac{0,0114 + 0,0101}{2} = 0,0103 \text{ мПа}\cdot\text{с},$$

де  $\mu_{А}$  и  $\mu_{Б}$  – в'язкості парів води і оцтової кислоти відповідно при середній температурі вгорі і внизу колони, що визначаються за додатком XIII [1].

Відношення навантажень по пару і рідини  $G / L$  кмоль / кмоль одно:  
для верхньої частини колони

$$\frac{G_{г}}{L_{г}} = \frac{R+1}{R} = \frac{3,953+1}{3,953} = 1,25 \text{ кмоль/кмоль};$$

для нижньої частини колони

$$\frac{G_{н}}{L_{н}} = \frac{R+1}{R+F} = \frac{3,953+1}{3,953+3,56} = 0,66 \text{ кмоль/кмоль}.$$

Величину  $m$  знайдемо спрямленням ділянок кривої рівноваги( заміною кривої рівноваги ламаною лінією)

$$m = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_k}{k}, \quad (2.25)$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



де  $m_1, m_2 \dots$  – тангенси кутів нахилу прямих на окремих ділянках;  $k$  – число прямолінійних ділянок ламаної лінії:

для нижньої частини колони

$$m_H = \frac{1,3 + 1,4 + 1,5 + 1,46 + 1,33 + 1,23}{6} = 1,38;$$

для верхньої частини колони

$$m_e = \frac{1,14 + 1,18 + 1,18 + 1,14 + 1,0 + 0,97 + 0,92 + 0,8 + 0,72 + 0,67 + 0,57 + 0,6 + 0,57 + 0,5}{14} = 0,84$$

Отже, еквівалентна Висота насадки:

для верхньої частини колони

$$h_{э.в} = 5,2 \cdot 0,022 \cdot 6524,4^{0,2} \cdot 1,25^{0,35} \cdot \left( \frac{746}{2,35} \right)^{0,2} \cdot \frac{\lg \frac{1}{0,84 \cdot 1,25}}{1 - 0,84 \cdot 1,25} = 0,96 \text{ м};$$

для нижньої частини колони

$$h_{э.н} = 5,2 \cdot 0,022 \cdot 8384,5^{0,2} \cdot 0,66^{0,35} \cdot \left( \frac{815}{2,57} \right)^{0,2} \cdot \frac{\lg \frac{1}{1,38 \cdot 0,66}}{1 - 1,38 \cdot 0,66} = 0,87 \text{ м}.$$

Тоді величина шару насадки:

для верхньої частини колони

$$H_e = 14 \cdot 0,96 = 13,44 \text{ м};$$

для нижньої частини колони

$$H_n = 6 \cdot 0,87 = 5,22 \text{ м}.$$

Загальна висота шару насадки:

$$H_{\Sigma} = 13,44 + 5,22 = 18,66 \text{ м}.$$

Приймаємо висоту шару насадки 19 м.

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.4 Гідравлічний опір апарата

Гідравлічний опір апарату  $\Delta P$  знаходять за рівнянням

$$\Delta p_c = \lambda \frac{H}{d_s} \frac{\omega^2 \rho}{\varepsilon^2 \cdot 2} \quad (2.26)$$

Критерій Рейнольдса для газу у верхній і нижній частинах колони відповідно дорівнює:

$$Re_\varepsilon = \frac{\omega_\varepsilon \cdot d_s \cdot \rho_\varepsilon}{\varepsilon \cdot \mu_\varepsilon} = \frac{1,03 \cdot 0,022 \cdot 2,335}{0,78 \cdot 0,0106 \cdot 10^{-3}} = 6400 ;$$

$$Re_\varepsilon = \frac{\omega_n \cdot d_s \cdot \rho_n}{\varepsilon \cdot \mu_n} = \frac{1,19 \cdot 0,022 \cdot 2,57}{0,78 \cdot 0,0103 \cdot 10^{-3}} = 8374 .$$

Коефіцієнт опору сухої насадки у вигляді безладно засипаних кілець знаходять за рівнянням:

$$\lambda = \frac{16}{Re^{0,2}} \quad (2.27)$$

Для верхньої і нижньої частин колони отримаємо відповідно:

$$\lambda_\varepsilon = \frac{16}{6400^{0,2}} = 2,8 ;$$

$$\lambda_n = \frac{16}{8374^{0,2}} = 2,6 .$$

Гідравлічний опір сухої насадки у верхній і нижній частинах колони дорівнює:

$$\Delta p_{c\varepsilon} = 2,8 \cdot \frac{13,44}{0,022} \cdot \frac{1,03^2 \cdot 2,35}{0,78^2 \cdot 2} = 2733 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{cn} = 2,49 \cdot \frac{5,22}{0,022} \cdot \frac{1,19^2 \cdot 2,57}{0,78^2 \cdot 2} = 1767 \text{ Па}.$$

Щільність зрошення у верхній і нижній частинах колони визначимо за формулами:

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$U_B = \frac{L_B}{\rho_x \cdot 0,785 \cdot D^2}; \quad (2.28)$$

$$U_H = \frac{L_H}{\rho_x \cdot 0,785 \cdot D^2}. \quad (2.30)$$

Підставивши дані, отримаємо:

$$U_в = \frac{1,52}{746 \cdot 0,785 \cdot 1,0^2} = 0,003 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с};$$

$$U_н = \frac{3,276}{815 \cdot 0,785 \cdot 1,0^2} = 0,0051 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с}.$$

Величину  $\Delta p$  знаходимо за формулою [4]

$$\Delta p = \Delta p_c \cdot 10^{b \cdot U}, \quad (2.31)$$

де  $\Delta p_c$  – гідравлічний опір сухої (нерошасоючої насадки), Па;  $U$  – щільність зрошення,  $\text{м}^3/\text{м}^2\text{с}$ ;  $b$  – коефіцієнт.

Для кілець Рашига значення  $b$  (4, с.108)

$$b = 173$$

Гідравлічний опір зрошуваної насадки у верхній і нижній частинах колони:

$$\Delta p_в = 10^{173 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} \cdot 2733 = 9028 \text{ Па},$$

$$\Delta p_н = 10^{173 \cdot 5,1 \cdot 10^{-3}} \cdot 1767 = 1000 \text{ Па}.$$

Гідравлічний опір зрошуваної насадки в колоні:

$$\Delta p = \Delta p_в + \Delta p_н = 9028 + 1000 = 10028 \text{ Па}.$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.5 Тепловий баланс установки

Витрата теплоти, що віддається охолоджуючій воді в дефлегматорі

$$Q_d = G_D \cdot (1 + R) \cdot r_D \quad (2.32)$$

тут

$$r_D = \bar{x}_D \cdot r_b + (1 - \bar{x}_D) \cdot r_y \quad (2.33)$$

$$r_D = 0,96 \cdot 2260 + 0,04 \cdot 390 = 2095 \text{ кДж/кг},$$

де  $r_b$  та  $r_y$  – питомі теплоти конденсації води і оцтової кислоти при  $100,3^\circ\text{C}$ .

$$Q_d = 0,43 \cdot (1 + 4) \cdot 2095 = 1781 \text{ кВт}$$

Витрата теплоти, що отримується в кубі-випарнику від пари, що гріє

$$Q_k = Q_d + G_D \cdot C_D \cdot t_D + G_W \cdot C_W \cdot t_W - G_F \cdot C_F \cdot t_F + Q_{\text{пот}} \quad (2.34)$$

Тут теплові втрати  $Q_{\text{пот}}$  прийняті в розмірі 3% від корисно витрачається теплоти; питомі теплоємності взяті відповідно при  $t_D = 100,3^\circ\text{C}$ ,  $t_W = 109,2^\circ\text{C}$  та  $t_F = 105,8^\circ\text{C}$ ; температура кипіння визначена по таблиці 1.

$$Q_k = 1,03 \cdot (1781 + 0,43 \cdot 4,19 \cdot 100,3 + 1,4 \cdot 3,3 \cdot 109,2 + 1,8 \cdot 2,45 \cdot 105,8) = 1875 \text{ кВт}.$$

Витрата теплоти в паровому підігрівачі вихідної суміші:

$$Q = 1,05 \cdot G_F \cdot C_F \cdot (t_F - t_H) \quad (2.35)$$

Тут теплові втрати прийняті в розмірі 5%, питома теплоємність вихідної суміші

$$C_F = \bar{x}_F \cdot C_b + (1 - \bar{x}_F) \cdot C_y \quad (2.36)$$

$$C_F = 0,25 \cdot 4,19 + 0,75 \cdot 2,208 = 3,39 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$$

взята при середній температурі

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_F + t_H}{2} = \frac{105,8 + 20}{2} = 63^\circ\text{C}.$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q = 0.05 \cdot 1.8 \cdot 3.39 \cdot (105.8 - 20) = 89 \text{ кВт.}$$

Витрата теплоти, що віддається охолоджуючій воді у водяному холодильнику дистиляту

$$Q = G_D \cdot C_D \cdot (t_D - t_K) \quad (2.37)$$

де питома теплоємність дистиляту  $C_D = 4,19 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$  взята при середній температурі

$$t_{cp} = \frac{100,3 + 25}{2} = 63^\circ\text{C.}$$

$$Q = 0.43 \cdot 4.19 \cdot (100.3 - 25) = 54 \text{ кВт.}$$

Витрата теплоти, що віддається охолоджуючій воді у водяному холодильнику кубового залишку:

$$Q = G_W \cdot C_W \cdot (t_W - t_K) \quad (2.38)$$

де питома теплоємність кубового залишку  $C_W = 1,89 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$  взята при середній температурі

$$t_{cp} = \frac{109,2 + 25}{2} = 67^\circ\text{C.}$$

$$Q = 1.4 \cdot 1.89 \cdot (109.2 - 25) = 190 \text{ кВт.}$$

Витрата гріючого пара, що має тиск  $p_{абс} = 4 \text{ ат}$  та вологість 5%:

а) в кубі-випарнику

$$G_{ГП} = \frac{Q_K}{r_{ГП} \cdot x} \quad (2.39)$$

де  $r_{ГП} = 2141 \text{ кДж/кг}$  – питома теплота конденсації пари, що гріє;

$$G_{ГП} = \frac{1875}{2141 \cdot 0,95} = 0,92 \text{ кг/с,}$$

б) в підігрівачі вихідної суміші

$$G_{ГП} = \frac{Q}{r_{ГП} \cdot x} \quad (2.40)$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{\text{ГП}} = \frac{89}{2141 \cdot 0,95} = 0,04 \text{ кг/с.}$$

Всього

$$G_{\text{ГП}} = 0,92 + 0,04 = 0,96 \text{ кг/с.}$$

Витрата охолоджуючої води при нагріванні її на  $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ :

а) в дефлегматорі

$$V_{\text{В}} = \frac{Q_{\text{д}}}{c_{\text{В}} \cdot \Delta t \cdot \rho_{\text{В}}} \quad (2.41)$$

$$V_{\text{В}} = \frac{1781}{4,19 \cdot 20 \cdot 1000} = 21,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с};$$

б) у водяному холодильнику дистилляту

$$V_{\text{В}} = \frac{Q}{c_{\text{В}} \cdot \Delta t \cdot \rho_{\text{В}}} \quad (2.42)$$

$$V_{\text{В}} = \frac{54}{4,19 \cdot 20 \cdot 1000} = 0,64 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с};$$

в) у водяному холодильнику кубового залишку

$$V_{\text{В}} = \frac{190}{4,19 \cdot 20 \cdot 1000} = 2,27 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Всього

$$V_{\text{В}} = (21,25 + 0,64 + 2,27) \cdot 10^{-3} = 24,16 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.6 Вибір допоміжного обладнання

Вибір холодильника для кубового залишку.

Теплове навантаження апарату  $Q = 190$  кВт, витрата охолоджуючої води

$$V_B = 2,27 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Витрати води

$$G = V_B \cdot \rho \quad (2.43)$$

$$G = 2,27 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 2,27 \text{ кг/с}.$$

Средньологаріфмічна різниця температур

$$\Delta t_{cp} = \frac{(109,2 - 30) - (25 - 10)}{\ln \frac{79,2}{15}} = 38,6 \text{ К}.$$

Мінімальна орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі, відповідне ламінарному потоку теплоносіїв (4, табл. П.1)

$$K_{op} = 450 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

При цьому орієнтовний значення поверхні теплообміну складе

$$F_{op} = \frac{Q}{\Delta t \cdot K_{op}} \quad (2.44)$$

де  $Q$  – витрата теплоти в холодильнику кубового залишку, Вт;

$$F_{op} = \frac{190 \cdot 10^3}{38,6 \cdot 450} = 10,9 \text{ м}^2.$$

Із табл. П.3[4] найближче підходить холодильник, який має параметри: діаметр кожуха  $D = 273$  мм, діаметр труб  $d_n = 20 \times 2$  мм, число ходів  $z = 1$ , загальне число труб  $n = 61$  шт., довжина труб  $l = 3,0$  м, площа теплообміну  $F = 11,5 \text{ м}^2$ , площа вузького перетину міжтрубному простору  $f_{mtp} = 0,007 \text{ м}^2$ , площа перерізу одного ходу по трубах  $f_{tp} = 0,012 \text{ м}^2$ .

Далі проводимо уточнений розрахунок.

значення критерію  $Re$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Re = \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot d \cdot \left(\frac{n}{z}\right) \cdot \mu} \quad (2.45)$$

де  $\mu$  – в'язкість охолоджуючої води, Па·с;

$$Re = \frac{4 \cdot 2,27}{3,14 \cdot 0,016 \cdot \left(\frac{61}{1}\right) \cdot 0,656 \cdot 10^{-3}} = 4516.$$

значення критерію Pr

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda} \quad (2.46)$$

де  $\lambda$  – теплопровідність охолоджуючої води, Вт/м·К;

$$Pr = \frac{4190 \cdot 0,656 \cdot 10^{-3}}{0,662} = 4,15.$$

Коефіцієнт тепловіддачі рідини, що рухається по трубах

$$\alpha_1 = \frac{0,662}{0,016} \cdot 0,023 \cdot 4516^{0,8} \cdot 4,15^{0,4} = 1411 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Для міжтрубному простору

$$Re = \frac{4 \cdot 0,12}{0,007 \cdot 0,41 \cdot 10^{-3}} = 167247.$$

$$Pr = \frac{4190 \cdot 0,41 \cdot 10^{-3}}{0,124} = 13,85.$$

Коефіцієнт теплопередачі до кислоти складе

$$\alpha_2 = \frac{0,124}{0,02} \cdot 0,023 \cdot 167247^{0,8} \cdot 13,85^{0,36} = 3644 \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Оскільки кубовий залишок - органічна рідина, відповідно до табл. П.2 [4] приймемо термічні опору забруднень рівними

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$r_1 = r_2 = \frac{1}{5800} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

теплопровідність нержавіючої сталі  $\lambda_{\text{ст}} = 17,5 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ .  
Сума термічних опорів стінки і забруднень дорівнює

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{5800} = 4,58 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

Коефіцієнт теплопровідності дорівнює

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1411} + \frac{1}{3644} + 4,58 \cdot 10^{-4}} = 694 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

Необхідна поверхню становить

$$F = \frac{190 \cdot 10^3}{694 \cdot 38,6} = 7,1 \text{ м}^2,$$

що задовольняє обраному значенням  $F = 11,5 \text{ м}^2$ .

Далі зробимо вибір кожухотрубного (горизонтального) дефлегматора за спрощеною схемою.

У дефлегматорі конденсується  $0,17 \text{ кг/с}$  парової суміші за рахунок охолодження води на  $20^\circ\text{C}$ . Умовно вважаємо, що вода нагрівається в дефлегматорі від  $18$  до  $38^\circ\text{C}$ .

Температурні умови процесу

$$100,3 \rightarrow 100,3$$

$$\underline{18} \leftarrow \underline{38}$$

$$\Delta t_6 = 82,3 \quad \Delta t_m = 62,3$$

Т. к.  $\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} < 2$ , маємо

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{82,3 + 62,3}{2} = 72,3^\circ\text{C.}$$

З таблиці (3, 4.8) орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі від конденсується пара органічних речовин до води  $K_{\text{op}} = 550 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .

Теплове навантаження з теплового балансу колони

										Арк.
										33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$Q = 1781 \text{ кВт.}$$

Орієнтовне значення площі теплообміну

$$F_{\text{оп}} = \frac{Q}{K_{\text{оп}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} \quad (2.47)$$

$$F_{\text{оп}} = \frac{1781 \cdot 10^3}{550 \cdot 72,3} = 44,8 \text{ м}^2.$$

Вибираємо стандартний конденсатор, який має параметри: діаметр кожуха  $D = 400$  мм, довжина труб  $L = 6$  м, площа теплообміну  $F = 46 \text{ м}^2$ , кількість труб  $n = 166$ , діаметр труб  $20 \times 2$  мм.

Потім виробляємо вибір кожухотрубного підігрівача вихідної суміші за спрощеною схемою.

Продуктивність підігрівача по вихідній суміші  $G_f = 0,29$  кг/с. З теплового балансу теплове навантаження апарату  $Q = 89$  кВт.

Температурні умови процесу при тиску що гріє пара  $p = 4$  ата

$$\begin{array}{ccc} 143 & \rightarrow & 143 \\ 105,8 & \leftarrow & 20 \end{array}$$

$$\Delta t_{\text{м}} = 37,2 \text{ К} \quad \Delta t_{\text{с}} = 123 \text{ К}$$

Тоді

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\text{с}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{с}}}{\Delta t_{\text{м}}}} = \frac{123 - 37,2}{\ln \frac{123}{37,2}} = 70,4 \text{ К.}$$

З таблиці (3, 4.8) орієнтовні значення коефіцієнта теплопередачі від конденсуючого пара до органічних рідин  $K = 200 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .

Орієнтовне значення поверхні теплообміну

$$F_{\text{оп}} = \frac{89 \cdot 10^3}{200 \cdot 70,4} = 6,3 \text{ м}^2.$$

Вибираємо стандартний теплообмінник, який має такі параметри:  
діаметр кожуха  $D = 273$  мм;  
довжина труб  $l = 2,0$  м;  
площа теплообмінника  $F = 7,5 \text{ м}^2$ ;  
кількість труб  $n = 61$ ;  
діаметр труб  $d = 29 \times 2$  мм.

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 Розрахунок апарату на міцність та герметичність

#### 3.1 Расчет толщины стенки корпуса и крышки

Приймаємо коефіцієнт міцності зварних швів  $\varphi = 0,9$  (ручна дугова електрозварювання), напруга для сталі 12Х18Н10Т при  $t = 107^\circ\text{C}$

$$\sigma = 150 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустима напруга

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma = 1 \cdot 150 = 150 \text{ МПа}$$

У зв'язку з тим, що апарат працює при атмосферному тиску, то розрахунок товщини стінки здійснюємо по тиску гідравлічних випробувань.

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях

$$p_{\text{п}} = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma_{\text{п}}]}{[\sigma]} \quad (3.1)$$

де  $p$  - тиск в апараті;  $[\sigma]$  – допустима напруга гідравлічних випробувань.

$$[\sigma_{\text{п}}] = \frac{\sigma_{\text{т}}}{1,1} = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ МПа.}$$

Тоді

$$p_{\text{п}} = 1,25 \cdot 0,1 \cdot \frac{218}{150} = 0,18 \text{ МПа.}$$

Тиск в апараті від гідростатичного напору

$$p_{\text{г}} = H \cdot \rho \cdot g \quad (3.2)$$

де  $H$  – висота колони з урахуванням сепараційного простору, м;

$$p_{\text{г}} = 20 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 196,2 \cdot 10^3 \text{ Па} = 0,2 \text{ МПа.}$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунковий тиск в апараті

$$p = p_{\pi} + p_{\Gamma} = 0,18 + 0,2 = 0,38 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma_{\pi}] - p} \quad (3.3)$$

де  $D$  – діаметр апарату, мм.

$$s_p = \frac{0,38 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 218 - 0,38} = 1,0 \text{ мм}$$

Приймаємо надбавку до розрахункової товщини для апарату за весь термін служби ( 10 років)

$$c = 0,03 \cdot 10 = 0,3 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки

$$s = s_p + c \quad (3.4)$$

$$s = 1,0 + 0,3 = 1,3 \text{ мм.}$$

З урахуванням напруг стиснення від маси колони приймаємо товщину стінки, мінімальну для  $D = 1000$  [4, с.113]

$$s = 10 \text{ мм.}$$

Розрахункова товщина стінки кришки при проведенні гідравлічних випробувань

$$s_p = \frac{p_{\pi} \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma_{\pi}] - 0,5 p_{\pi}} \quad (3.5)$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$s_p = \frac{0,38 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 218 - 0,5 \cdot 0,38} = 1,0 \text{ мм}$$

Виконавча товщина

$$s = 1,0 + 0,3 = 1,3 \text{ мм.}$$

З метою уніфікації сортаменту листового прокату приймаємо  $s = 10 \text{ мм}$ .

### 3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання

Фланцеве з'єднання кришки і корпусу апарату при  $D_{\text{вн}} = 1000 \text{ мм}$  і  $p = 0,32 \text{ МПа}$  вибирається згідно ОСТ 26-426-79 з плоскими приварними фланцями і ущільнювальною поверхнею типу «шип – паз».

Товщина втулки фланця [6]

$$s_0 \leq 1,35 \cdot s,$$

де  $s = 8 \text{ мм}$  – товщина обичайки апарату.

$$s_0 = 1,35 \cdot 6 = 7,5 \text{ мм,}$$

приймаємо  $s_0 = 8 \text{ мм}$ .

Перевіряємо виконання умови

$$s_0 - s \leq 5$$

$$8 - 6 = 2 \leq 5 \text{ – умова виконується.}$$

Визначимо діаметр болтової окружності. Із [8] с.263

$$D_6 = D_{\text{вн}} + 2 \cdot (2 \cdot s_0 + d_6 + u), \quad (3.6)$$

де  $d_6 = 20 \text{ мм}$  – діаметр болтів при  $D_{\text{вн}} = 1000 \text{ мм}$  і  $p = 0,32 \text{ МПа}$  (табл. 1.40 [8]);  $u = 6 \text{ мм}$  – нормативний зазор між гайкою і втулкою ( $u = 4 \div 6$ , табл.9 [8]).

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D_6 = 1,0 + 2 \cdot (2 \cdot 0,008 + 0,020 + 0,006) = 1,084 \text{ м,}$$

приймаємо  $D_6 = 1,1$  м. (см. с.263 [9]).

По [8] с.264 зовнішній діаметр фланця

$$D_\phi \geq D_6 + a, \quad (3.7)$$

де  $a = 40$  мм (табл.13.27 [9])

$$D_\phi = 1,1 + 0,04 = 1,14 \text{ м,}$$

приймаємо  $D_\phi = 1,15$  м (с.264 [8]).

Зовнішній діаметр прокладки визначається за формулою [8]

$$D_\pi \geq D_6 - e, \quad (3.8)$$

де  $e = 30$  мм (табл.13,27 [8]);

$$D_\pi = 1,1 - 0,03 = 1,07 \text{ м.}$$

приймаємо  $D_\pi = 1,07$  м

Середній Діаметр прокладки [8]

$$D_{\text{ср.}\pi} \geq D_\pi - b_\pi, \quad (3.9)$$

де  $b_\pi = 20$  мм – ширина прокладки (табл.1.42 [8]);

$$D_{\text{ср.}\pi} = 1,07 - 0,02 = 1,05 \text{ м.}$$

Еквівалентна ширина прокладки

$$b_e = 0,6 \cdot \sqrt{b_\pi} \quad (\text{при } b_\pi > 15 \text{ мм}); \quad (3.10)$$

$$b_e = 0,6 \cdot \sqrt{20} = 2,68 \text{ мм.}$$

Застосовуємо матеріал прокладки-пароніт по ГОСТ 481-80 товщиною 2мм.

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість болтів, необхідне для забезпечення герметичності з'єднання, визначаємо за формулою [6]

$$Z_{\text{б}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{t_{\text{б}}}, \quad (3.11)$$

де  $t_{\text{б}}$  – крок болтів,  $t_{\text{б}} = (4,2 \div 5) \cdot d_{\text{б}} = 4,5 \cdot 20 = 90$  мм (табл.13.20 [2])

$$Z_{\text{б}} = \frac{3,14 \cdot 1,1}{0,09} = 38.$$

Приймаємо найближче більше кратне чотирьом значення  $Z_{\text{б}} = 40$  мм.  
Висота фланця визначаємо за формулою

$$h = \lambda \cdot \sqrt{D_{\text{вн}} \cdot s_{\text{е}}}, \quad (3.12)$$

де  $\lambda = 0,38$  – коефіцієнт (рис.13.14 [8]);  $s_{\text{е}}$  – еквівалентна товщина втулки фланця

$$s_{\text{е}} = \alpha \cdot s_0, \quad (3.13)$$

де  $\alpha = 1,0$  – для плоского приварного фланця

$$s_{\text{е}} = 1,0 \cdot 8 = 8 \text{ мм};$$

$$h = 0,38 \cdot \sqrt{1,0 \cdot 0,008} = 0,034 \text{ м},$$

Приймаємо  $h = 40$  мм.

Розрахункова довжина болта між опорними поверхнями головки болта і гайки

$$l_{\text{б}} = l_{\text{бo}} + 0,28 \cdot d_{\text{б}}; \quad (3.14)$$

$$l_{\text{бo}} = 2 \cdot (h_{\text{ср}} + s_{\text{п}}); \quad (3.15)$$

$$l_{\text{бo}} = 2 \cdot (40 + 2) = 84 \text{ мм};$$

$$l_{\text{б}} = 84 + 0,28 \cdot 20 = 89,6 \text{ мм};$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з урахуванням товщини трубної решітки приймаємо  $l_{\delta} = 140$  мм.

Навантаження, що діє на фланцеве з'єднання

$$Q_d = \frac{p_R \cdot \pi \cdot D_{\text{ср.п}}^2}{4}, \quad (3.16)$$

де  $p_R = 0,32$  МПа – внутрішній тиск в апараті;  $D_{\text{ср.п}} = 1,05$  м – середній діаметр прокладки

$$Q_d = \frac{0,27 \cdot 3,14 \cdot 0,9^2}{4} = 0,17 \text{ МН.}$$

Реакція прокладки при робочих умовах [6]

$$R_{\text{п}} = \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot b_e \cdot m \cdot p_R, \quad (3.17)$$

де  $m = 2,5$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу прокладки (табл.13.28 [8]);

$$R_{\text{п}} = 3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,00268 \cdot 2,5 \cdot 0,32 = 0,007 \text{ МН.}$$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = \gamma \cdot Z_{\delta} \cdot f_{\delta} \cdot E_{\delta} \cdot (\alpha_{\text{ср}} \cdot t_{\text{ср}} - \alpha_{\delta} \cdot t_{\delta}), \quad (3.18)$$

де  $\alpha_{\text{ср}} = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу фланця;  
 $\alpha_{\delta} = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу болтів;  
 $t_{\delta} = 0,96 \cdot t_p = 0,96 \cdot 40 = 39^{\circ}\text{C}$  - розрахункова температура неізолюваних болтів;  
 $\gamma$  – безрозмірний коефіцієнт;  $Z_{\delta}$  – Кількість болтів;  $f_{\delta} = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  – розрахункова площа поперечного перерізу болта по зовнішньому діаметру;  $E_{\delta} = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  – модуль поздовжньої пружності сталі 20к при  $t_{\delta} = 39^{\circ}\text{C}$ .

$$\gamma = A \cdot Y_{\delta}, \quad (3.19)$$

де  $Y_{\delta}$  – лінійна податливість болта.

$$Y_{\delta} = \frac{l_{\delta}}{E_{\delta} \cdot f_{\delta} \cdot Z_{\delta}} \quad (3.20)$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$Y_{\phi} = \frac{0,14}{1,91 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 40} = 7,8 \cdot 10^{-5} \text{ М/МН};$$

$$A = [Y_{\Pi} + Y_{\phi} + 0,25 \cdot (Y_{\phi 1} + Y_{\phi 2}) \cdot (D_{\phi} - D_{\text{ср.п}})]^{-1}, \quad (3.21)$$

де  $Y_{\Pi}$  – лінійна податливість прокладки;  $Y_{\text{ср}} = Y_{\phi 1} = Y_{\phi 2}$  – кутова податливість фланця;

$$Y_{\Pi} = \frac{S_{\Pi}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b_{\Pi} \cdot E_{\Pi}} \quad (3.22)$$

$$Y_{\Pi} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,02 \cdot 2000} = 15,2 \cdot 10^{-6} \text{ М/МН};$$

$$Y_{\text{ср}} = \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{h^3 \cdot E}, \quad (3.23)$$

де  $\omega$  – безрозмірний параметр;  $\psi_2$  – коефіцієнт, який визначається за рис.13.17 [6].

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)]^{-1}, \quad (3.24)$$

де  $\psi_1, j$  – коефіцієнт

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg K; \quad (3.25)$$

$$K = \frac{D_{\text{ср}}}{D_{\text{вп}}} \text{ – для плоских фланців};$$

$$K = \frac{1,15}{1,0} = 1,15;$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg 1,15 = 6,6 \cdot 10^{-2},$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\psi_2 = \frac{k+1}{k-1} = \frac{1,15+1}{1,15-1} = 14,3;$$

$$j = \frac{h}{s_e} = \frac{0,04}{0,008} = 5. \quad (\text{с.226 [6]})$$

Тоді

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot 0,38 \cdot (1 + 6,6 \cdot 10^{-2} \cdot 5^2)]^{-1} = 0,52;$$

$$Y_\phi = \frac{[1 - 0,52 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)] \cdot 14,3}{0,04^3 \cdot 1,9 \cdot 10^5} = 0,353 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН};$$

$$A = [15,2 \cdot 10^{-6} + 7,8 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,353 \cdot (1,1 - 1,05)^2]^{-1} = 1871 \text{ МН/м};$$

отже

$$\gamma = 1871 \cdot 7,8 \cdot 10^{-5} = 0,146;$$

зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = 0,146 \cdot 40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot (12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 39 - 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 38) = 0,0033 \text{ МН}.$$

Визначимо коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

$$k_{\text{ж}} = \frac{Y_{\bar{6}} + 0,5Y_{\text{ср}}(D_{\bar{6}} - D - s_o) \cdot (D_{\bar{6}} - D_{\text{ср.п}})}{Y_{\text{п}} + Y_{\bar{6}} + Y_{\phi}(D_{\bar{6}} - D_{\text{ср.п}})^2} \quad (3.26)$$

$$k_{\text{ж}} = \frac{7,8 \cdot 10^{-5} + 0,353 \cdot 0,9 \cdot 10^{-5} \cdot (1,1 - 1,0 - 0,008) \cdot (1,1 - 1,05)}{15,2 \cdot 10^{-6} + 7,8 \cdot 10^{-5} + 0,353 \cdot (1,1 - 1,05)^2} = 0,91.$$

Визначимо болтову навантаження. В умови монтажу [8]

$$p_{\text{б1}} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_{\text{ж}} \cdot Q_{\text{д}} + R_{\text{п}} \\ 0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b_{\text{п}} \cdot p_{\text{пр}} \end{array} \right\}, \quad (3.27)$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $p_{пр}$  – пробний тиск стиснення прокладки, для пароніту по табл. 4 [8]  $p_{пр} = 20$  МПа.

$$p_{б1} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,91 \cdot 0,277 + 0,007 \\ 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,02 \cdot 20 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \\ 0,66 \end{array} \right\} = 0,66 \text{ МН.}$$

При робочих умовах [8]

$$p_{б2} = p_{б1} + (1 - k_{ж}) \cdot Q_d + Q_t \quad (3.28)$$

$$p_{б2} = 0,66 + (1 - 0,91) \cdot 0,277 + 0,0033 = 0,69 \text{ МН.}$$

Перевірка міцності і герметичності з'єднання  
умова міцності болтів [8]

$$\frac{P_{б1}}{Z_{б} \cdot f_{б}} \leq [\sigma_{б}]^{20}, \quad (3.29)$$

$$\frac{P_{б2}}{Z_{б} \cdot f_{б}} \leq [\sigma_{б}]^t, \quad (3.30)$$

де  $[\sigma_{б}]^{20} = 200$  МПа – для матеріалу болтів при температурі 20°C;  $[\sigma_{б}] = 138$  МПа – для матеріалу болтів при температурі 39°C.

$$\frac{0,66}{40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} \leq 200 = 70,2 \leq 200 \text{ – умова виконується;}$$

$$\frac{0,69}{40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} \leq 138 = 73,4 \leq 138 \text{ – умова виконується.}$$

Визначимо наведений згинальний момент за формулою 1.145 [6]

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (D_{б} - D_{ср.п}) \cdot p_{б1} \\ 0,5 \cdot (D_{б} - D_{ср.п}) \cdot p_{б2} \end{array} \right\} \quad (3.31)$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_0 = \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (1,1 - 1,05) \cdot 0,66 \\ 0,5 \cdot (1,1 - 1,05) \cdot 0,69 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,017 \\ 0,018 \end{array} \right\} = 0,018 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

За формулою 1.141 [6] для прокладки з пароніту

$$\frac{P_{\text{бmax}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b} \leq p_{\text{п.р}} \quad (3.32)$$

де  $p_{\text{п.р}}$  – допустимий тиск на прокладку по табл. 1.44 [6]  $p_{\text{п.р}} = 130$  МПа;

$$p_{\text{бmax}} = \max \{ p_{\text{б1}}; p_{\text{б2}} \} \quad (3.33)$$

$$p_{\text{бmax}} = \max \{ 0,66; 0,69 \} = 0,69 \text{ МН.}$$

$$\frac{p_{\text{бmax}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b} = \frac{0,69}{3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,02} = 10,5 \text{ МПа} \leq 130 \text{ МПа,}$$

умова міцності виконується.

Для перетину, обмеженого розміром  $s_0$  перевіряємо умова за формулою 1.147 [6]:

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \varphi \cdot [\sigma_0], \quad (3.34)$$

де  $\sigma_0$  – Максимальна напруга в перерізі, обмеженому розміром  $s_0$ , визначається за формулою 1.148 [6];  $\varphi = 0,95$  – коефіцієнт міцності зварних швів;  $[\sigma_0]$  – допустима напруга для фланця в перетині  $s$  при кількості навантажень з'єднання (збірка-розбирання) не більше  $2 \cdot 10^3$ ;  $\sigma_t$  – тангенціальна напруга у втулці від внутрішнього тиску;  $\sigma_m$  – меридіональна напруга у втулці від внутрішнього тиску;

за формулою 1.149 [6]

$$\sigma_m = \frac{P_p \cdot D_{\text{вп}}}{4(s_0 - c)} \quad (3.35)$$

$$\sigma_m = \frac{0,32 \cdot 1,0}{4 \cdot (0,008 - 0,0003)} = 11 \text{ МПа;}$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

за формулою 1.149 [6]

$$\sigma_t = \frac{p_p \cdot D_{\text{ВП}}}{2 \cdot (s_0 - c)} \quad (3.36)$$

$$\sigma_t = \frac{0,32 \cdot 1,0}{2 \cdot (0,008 - 0,0003)} = 22 \text{ МПа};$$

за формулами 1.143 та 1.148 [6]

$$\sigma_0 = \psi_3 \cdot \frac{T_{\text{сп}} \cdot M_0 \cdot v}{D^* \cdot (s_0 - c)^2}, \quad (3.37)$$

де  $\psi_3 = 1$  – для плоских приварних фланців;  $T_{\text{сп}}$  – безрозмірний коефіцієнт; за формулою 1.144 [6]

$$T_{\text{сп}} = \frac{D_{\text{II}}^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{D_{\text{II}}}{D_{\text{ВП}}}\right) - D_{\text{ВП}}^2}{(1,05 \cdot D_{\text{ВП}}^2 + 1,945 \cdot D_{\text{II}}^2) \cdot \left(\frac{D_{\text{II}}}{D_{\text{ВП}}} - 1\right)} \quad (3.38)$$

де  $D_{\text{II}} = 1,07$  м – зовнішній діаметр прокладки;

$$T_{\text{сп}} = \frac{1,07^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{1,07}{1,0}\right) - 1,0^2}{(1,05 \cdot 1,0^2 + 1,945 \cdot 1,07^2) \cdot \left(\frac{1,07}{1,0} - 1\right)} = 1,7,$$

$$\sigma_0 = \frac{1 \cdot 1,7 \cdot 0,018 \cdot 0,52}{1,07 \cdot (0,008 - 0,0003)^2} = 251 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_0 = 0,003 \cdot E = 0,003 \cdot 1,9 \cdot 10^5 = 570 \text{ МПа}.$$

Умова міцності

						6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
							45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$\sqrt{(251+11)^2 + 22^2} - (251+11) \cdot 22 \leq 0,95 \cdot 570$$

252 < 542 – умова міцності виконано.

Окружний тиск в кільці фланця

$$\sigma_k = \frac{M_0 \cdot [1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{cp})] \cdot \psi_2}{(D_{вн} \cdot h_{\psi}^2)} \quad (3.39)$$

$$\sigma_k = \frac{0,018 \cdot 14,3 \cdot [1 - 0,52 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)]}{1,0 \cdot 0,04^2} = 49 \text{ МПа.}$$

Визначаємо кут повороту фланця за формулою 1.150 [6]

$$\Theta = \frac{\sigma_k \cdot D_{вн}}{E \cdot h_{cp}} \leq [\Theta], \quad (3.40)$$

де  $[\Theta] = 0,009$  рад – допустимий кут повороту фланця

$$\Theta = \frac{49 \cdot 1,0}{1,9 \cdot 10^5} = 0,0064 < 0,009 \text{ рад,}$$

тобто умова герметичності з'єднання виконується.

### 3.3 Розрахунок опори

Вибір типу опори залежить від умов: місця установки апарату, співвідношення висоти і діаметра апарату, його маси і інших, при відношенні  $H/D \geq 5$  обрана опора, зображена на кресленні колони. За ОСТ 26-467-78 вибираємо циліндричну опору виконання 3 і проводимо перевірочні розрахунки.

З таблиці (4, VI. 1) насипна щільність насадки

$$\rho = 530 \text{ кг/м}^3,$$

тоді маса насадки

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$m_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot (H_B + H_H) \cdot \rho \quad (3.41)$$

$$m_1 = \frac{3,14 \cdot 1,0^2}{4} \cdot (15 + 4) \cdot 530 = 7905 \text{ кг.}$$

Маса обичайки колони

$$m_2 = \pi \cdot (D + s) \cdot s \cdot H \cdot \rho \quad (3.42)$$

$$m_2 = 3,14 \cdot (1,0 + 0,01) \cdot 0,01 \cdot 20,0 \cdot 7850 = 4979 \text{ кг.}$$

Маса оснащення колони приймається в розмірі 20% від маси обичайки

$$m_3 = 0,2 \cdot m_2$$

$$m_3 = 0,2 \cdot 4979 = 996 \text{ кг.}$$

Об'єм колони  $V = 15,7 \text{ м}^3$ , тоді маса води при гідравлічних випробуваннях

$$m_4 = V \cdot \rho_B \quad (3.43)$$

$$m_4 = 15,7 \cdot 1000 = 15700 \text{ кг.}$$

Наведене навантаження на опору

$$Q = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot g \quad (3.44)$$

$$Q = (7905 + 4979 + 996 + 15700) \cdot 9,81 = 29,55 \cdot 10^3 \text{ Н} = 289 \text{ кН.}$$

Міцність зварного з'єднання опори з корпусом визначаємо за умовою

$$\sigma = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot a_1} \leq \varphi_s \cdot [\sigma], \quad (3.45)$$

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $a_1 = 10$  мм – розрахункова товщина зварного шва;  $\varphi_s$  – коефіцієнт міцності зварного шва, зазвичай приймається  $\varphi_s = 0,7$ .

Тоді

$$\sigma = \frac{4 \cdot 289 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1000 \cdot 10} = 36,8 \text{ МПа} \leq 0,7 \cdot 120 = 84 \text{ МПа.}$$

Отже, умова міцності зварного шва виконується.

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 4 Монтаж і ремонт апарату

### 4.1 Монтаж колони

Одним з вирішальних умов правильної організації монтажних робіт є комплектна постановка обладнання, що має високу заводську готовність.

Порядок постановки устаткування визначено «основними технічними вимогами монтажних організацій к химическому оборудованию» ТУ 26-01-217-89.

Обладнання, що поставляється повинно відповідати таким основним вимогам, що визначає його якість і максимальну готовність:

- в опорній основі повинні бути передбачені регульовальні гвинти, за допомогою яких обладнання вивіряють на фундаменті в горизонтальній і вертикальній площинах;

- у апаратів колонного типу для їх стропування при монтажі повинні бути передбачені монтажні штуцера ГОСТ 13716-86 або інші захватні пристрої;

- апарати з зовнішніми і внутрішніми теплоізоляційними захисними покриттями повинні поставлятися з привареними деталями для кріплення цих покриттів, а також з підготовленими захисними поверхнями;

- на апаратах і судинах підлягають на місці монтажу гідравлічного випробування, повинні бути передбачені спеціальні штуцери для установки вентиля (воздушника), через який при заповненні апарату водою буде проводитися випуск повітря, для приєднання манометра і повного зливу води;

- кожен штуцер на апараті або посудині повинен мати відповідний фланець, робочу прокладку і кріпильні деталі;

- для вивірки вертикальності встановленого апарату колонного типу, якщо він за проектом має зовнішню ізоляцію, повинні бути передбачені спеціальні бобишки з нарізкою для вкручування штирів. Бобишки розташовують у нижній і верхній частинах апарату по дві, під кутом 90 °С;

- відправлені заводом-виробником до місця монтажу апарат, посудину або транспортабельний вузол повинні мати вказівки місць стропування, зазначена на апараті або вузлі яскравою фарбою. На апараті або вузлі на видному місці також яскравою фарбою повинен бути вказана вага апарату або його вузлів. Якщо апарат поставляється окремими вузлами, то вони повинні мати складальну маркування на відмінюється частинах.

Збірка апаратів, що складаються з окремих царг, що збираються на фланцях здійснюється безпосередньо на фундаменті. В цьому випадку до їх підйому слід перевірити горизонтальність привалочних поверхонь кожної царги. Відхилення не повинно перевищувати 0,3 мм на 1 м діаметр апарату, але не більше 2 мм на весь діаметр.

Збірка фланцевих з'єднань повинна виконуватися без підганяючі операцій; болти в отвори повинні входити вільно, без напруги. Затягування

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фланцевих з'єднань необхідно проводити одночасним закручуванням гайок на діаметрально розташованих болтах або шпильках.

Остаточну затягування фланцевих з'єднань царг апаратів з прокладками з шнурового азбесту слід проводити «на гаряче» при нагріванні всього апарату паром до 60°C.

## 4.2 Проведення ремонтних робіт

Відповідно до діючого положення про планово-попереджувальному ремонті графіки і плани ремонту обладнання складаються в певній послідовності. Технічна адміністрація виробничого цеху надає до відділу головного механіка підприємства проект річного плану-графіка ремонту устаткування з урахуванням дати їх останнього ремонту. Відділ головного механіка на підставі цехових проектів планів-графіків розробляють проект зведеного плану ремонту обладнання по підприємству.

Підготовка ремонту включає:

- 1 Технічний огляд устаткування перед ремонтом;
- 2 Складання проектно-кошторисної документації для робіт підлягають виконанню;
- 3 Оформлення та видачі замовлень на проведення робіт;
- 4 Розробку графіка на проведення робіт.

Основним видом їх зносу колоною масообмінних апаратури є забивання колони відкладеннями і корозії її елементів. Царгові колони розбираються повністю. Вантажопідйомний механізм встановлений вище колони, що дозволяє зняти всі царги по черзі. При неможливості встановлення вантажопідйомного механізму вище колони демонтаж починається з нижньої царги згідно зі схемою представленої на рисунку.

Підготовка колонного апарату до ремонту наступне: видалення робочого середовища з апарату, після, чого виробляють його пропарювання водяною паром, який витісняє залишилися в колоні пари газів, після пропарювання колону промивають водою. Промивання колони водою також сприяє швидшому її охолодженню, не можна приступати до ремонтних робіт, якщо температура промивної води перевищує 50 ° С. Пропарену і промиту колону від'єднують від всіх апаратів і комунікацій глухими заглушками, що встановлюються у фланцевих з'єднаннях. Установку кожної заглушки і подальше її зняття реєструють в спеціальному журналі.

Ремонт оснащення царгових колон проводиться після їх демонтажу. оснащення в царгах ущільнюються за допомогою азбесту або шнурового фторопластового ущільнюючого матеріалу, при демонтажі перегородок, люків азбест і ФУМ витягується за допомогою гаків і зубила. Ремонт оснащення пов'язаний з їх чищенням і заміною зношених елементів. Після установки оснащення в царгу перевіряється рівномірність паророзподілу,

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допускається деяка негоризонтального, так як основний вплив на роботу насадки надає установка цанг.

Вельми відповідальна операція при складанні царгової колони є установка прокладок між дротяними поверхнями і кріплення царг болтами. Від сталості товщини прокладки по всій площі сполучення і від рівномірності затягування болтів фланцевих з'єднань залежить щільність з'єднань, а також вертикальне положення осі колони і горизонтальне положення розміщення насадок.

Регулювання слою регулювання полягає в наступному: насадку заливають водою так, щоб надмірна кількість води зливалася через зливний пристрій. Злив по всьому периметру повинен бути однаковим, тому передбачається можливість його регулювання. Після заповнення гідрозатворів зливні кишені під перевіряється компресором нагнітають повітря. Регулюючи висоту насадки, по висоті домагаються однаковою мірою барботажа бульбашок повітря через шар води по всій поверхні.

Ремонт колони закінчують її випробуванням. При гідравлічному випробуванні колона заповнюється водою при відкритій воздушки, встановленої у верхній частині колони, поява води в воздушки свідчить про заповнення колони. Після закриття воздушки тиск в колоні повільно підвищується до контрольованої величини, при цьому тиску апарат витримується 5 хвилин, потім тиск скидається до робочого значення, при якому приступають до огляду корпусу, одночасно обстукуючи зварні шви молотком масою 0,5-1,5 кг.

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 Охорона праці

### 5.1 Аналіз потенційних небезпек, під час експлуатації обладнання

Для кожного промислового виробництва складається нормативно-технічна документація, в якій вказується:

- 1) Характеристика властивостей переробляється продукту, вихідної сировини та допоміжних матеріалів.
- 2) Опис технологічного процесу зі схемою виробництва.
- 3) Норми технологічного режиму із зазначенням гранично допустимих відхилень.
- 4) Можливі неполадки технологічного процесу, їх причини та способи усунення.
- 5) Основні правила пуску, безпечного ведення процесу і зупинки обладнання.
- 6) Аналітичний і автоматичний контроль виробництва.
- 7) Правила аварійної зупинки виробництва.
- 8) Відходи виробництва, стічні води і викиди в атмосферу: їх склад, способи утилізації або очищення і порядок скидання.
- 9) Перелік інструкцій, знання яких є обов'язковим для осіб, які ведуть технологічний процес і які обслуговують дане виробництво.

Точне дотримання нормативно-технічної документації, регламент забезпечує задану продуктивність, якість продукції, безпеку і санітарні умови праці.

Порушення послідовності операцій, відхилення (більше допустимих) від заданих кількостей сировини, що завантажується, температур, тиску і т. д. можуть привести до аварій.

Для підтримки необхідного технологічного режиму в сучасних безперервних промислових виробництвах контроль і регулювання процесу автоматизують. На вимірювальних і регулюючих приладах є пересувні контакти, встановлені на кордоні гранично допустимих відхилень. При досягненні небезпечних параметрів прилади автоматично вимикають відповідне обладнання і включають звукові або світлові сигнали.

На шкалах найпростіших приладів (манометри, термометри і т. д.) Наносять червону риску, яка вказує гранично допустиме відхилення параметра.

Процес ректифікації відноситься до процесу зі значним виділенням тепла. Температура нагрітих поверхонь обладнання і огорожень на робочих місцях не повинна перевищувати 45°C; для обладнання, всередині якого температура дорівнює або нижче 100 °, температура поверхні не повинна перевищувати 35°C.

Устаткування, прилади, трубопроводи та їм подібні джерела тепла забезпечуються теплоізоляцією.

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

У зв'язку з виділенням газоподібних речовин можливе виникнення вибуху. Тому слід встановлювати електродвигуни тільки закритого вибухобезпечного типу, а все електротехнічне обладнання (пускові пристрої, світильники та ін.) Не повинні іскрити. Маркування вибухозахищене 1ExiIICTB.

На ділянках технологічного процесу, де виділяється багато вологи, повинні встановлюватися аспірація і місцеві відсмоктувачі.

Протипожежні заходи організуються згідно СНиП 2.09.02-85, категорія будівлі по СНиП II М-2-72 та ОНТП-24-84 відноситься до категорії «В».

Устаткування і комунікації повинні мати надійне заземлення.

Всі рухомі частини механізмів повинні бути огорожені суцільними або сітчастими огороженнями або укладені в кожухи, що виключає можливість захоплення одягу обслуговуючого персоналу.

Прорізи в підлогах, люки і переходи повинні бути з огорожами.

Відділення ректифікації є пожежо- та вибухонебезпечним. При утриманні парів кислоти в повітрі від 5,4 до 24 об. % і при появі іскри можливий вибух з подальшою пожежею. Тому питання герметичності апаратів, трубопроводів і кіслотоприймачів необхідно приділяти виняткову увагу. Пари кислоти також отруйні і викликають отруєння працюючих і опіки на шкірі. Допустима концентрація їх - 20 мг / м<sup>3</sup>. З метою зниження концентрації парів кислоти в повітрі відділення обладнується надійної приточно-витяжною вентиляцією через фрамуги у вікнах, витяжних ліхтарях і за допомогою дефлекторів. Для зниження температури повітря у робочого місця апаратника встановлюють припливні віконні вентилятори для подачі свіжого повітря.

Для поліпшення повітрообміну в перекриттях відділення влаштовують отвори площею не менше 10% від площі всього приміщення.

Всі кислотні ємності повинні мати воздушники, з'єднані з кіслотоуловлювачами.

Відділення повинно мати не менше двох виходів. Електромережа і електроустановки цього відділення повинні відповідати вимогам приміщень особливо небезпечних в пожежо-і вибухонебезпечному відношенні і обладнуватися аварійною електроосвітленням. Застосування переносних світильників не дозволяється, за винятком переносних акумуляторних ліхтарів шахтного типу. При цьому включають світильник поза кислотної ємності.

Вогневі роботи у відділенні можна проводити після повного звільнення від продуктів та заповнення водою всіх ємностей до переливу через горловини. Всі приміщення та поверхи повинні мати кошти парогасіння з запірним вентилем поза приміщенням, ящики з піском, вогнегасники, кошми і ін. Кислотні ємності, мірники і трубопроводи необхідно заземлювати для зняття зарядів статичної електрики. Опір заземлення - не більше 10 Ом.

										6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
											53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Необхідні інструменти, ключі кранів, намітки, вікна для позначок повинні бути бронзовими, мідними або обміднений. При крайньої необхідності користування сталевим інструментом його рясно змащують солідолом.

При веденні перегонки не допускається порушення встановлених технологічних параметрів: температури, тиску в колонах, швидкості процесу, фортеці та ін.

Необхідно стежити за справністю манометрів (пружинних і водяних), термометрів, редукційного клапана, вакуум-переривників верхніх і нижніх, всіх колон, кислоторегуляторів, паро- та водорегуляторів. Особлива увага звертається на безперербійне постачання ректифікованого апарату охолоджуючої водою і вихідної сумішшю. Необхідно мати резервні насоси холодної води. Пожежний водопровід з гідрантами і викидних рукавами повинен бути постійно справним.

## 5.2 Характеристики розділених компонентів

Оцтова кислота (етанова кислота)  $\text{CH}_3\text{COOH}$  — органічна сполука, слабо, гранична одноосновная карбонова кислота. Солі та складні ефіри оцтової кислоти називаються ацетатами.

Оцтова кислота являє собою безбарвну рідину з характерним різким запахом і кислим смаком. Гігроскопічна. Необмежено розчинна у воді. Змішується з багатьма розчинниками; в оцтової кислоти добре розчинні неорганічні сполуки і гази, такі як  $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$  та інші. Існує у вигляді циклічних і лінійних димерів.

Основні фізичні властивості оцту:

Температура плавлення –  $16,75^\circ\text{C}$ ;

густина –  $1,0492 \text{ г/см}^3$ ;

Температура кипіння –  $118,1^\circ\text{C}$ ;

молярна маса –  $60,05 \text{ г/моль}$ ;

теплота спалювання –  $876,1 \text{ кДж/моль}$ .

Оцтова кислота широко застосовується в різних галузях:

в фармацевтиці - входить до складу лікарських препаратів;

в хімічній промисловості - використовується для виробництва ацетону, барвників, ацетилцелюлози;

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в харчовій промисловості - застосовується для консервації і смаку;  
в легкій промисловості - використовується для закріплення фарби на тканині.

### 5.3 Розрахунок освітлення

Штучне освітлення передбачається у всіх побутових та виробничих приміщеннях для компенсації нестачі природного освітлення і для освітлення приміщень в темний час доби.

Згідно з нормами СНиП II-4-79 при виконанні робіт VIII розряду використовується система загального освітлення. Нормована освітленість по VIII розряду (загальне спостереження за ходом виробничого процесу) під розряду б (з періодичним перебуванням людей в приміщенні) становить 50 лк [5, табл. 4-1].

Для освітлення виробничого приміщення використовуються люмінесцентні лампи, тому що вони енергетично більш економічні та за спектральними характеристиками максимально близькі до природного і мають найвищу світловіддачу. Вибираємо лампи ЛД-80: потужність 80 Вт, Світловий потік 5400 лм, довжина 1,5 м, Діаметр 40 мм. [5, табл. 2-12].

У вибухонебезпечних приміщеннях категорії В-І встановлюються світильники тільки у вибухозахищеному виконанні, вибираємо світильник типу НОГЛ-2 х 80 з відбивачем [5, табл. 3-2], в світильнику встановлюється 2 лампи в захисних трубках з оргскла.

Світловий потік лампи в світильнику визначається за формулою [5, 5-1]:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot k_3 \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

звідки визначимо число світильників N:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot k_3 \cdot Z}{\Phi_{\text{л}} \cdot n \cdot \eta}.$$

де  $\Phi_{\text{л}} = 5400$  лк – потрібний світловий потік лампи в світильнику, [5, табл.2-12];

E – задана мінімальна освітленість, лк;

S-освітлювана площа, м<sup>2</sup>;

$k_3 = 1,8$  – коефіцієнт запасу [5, табл. 4-9];

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення (Z= 1,1 для люмінесцентних ламп);

n – кількість ламп в світильнику, шт;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку.

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для визначення коефіцієнта використання  $\eta$  знайдемо індекс приміщення  $i$  за формулою [5, 5-3]:

$$i = \frac{A \cdot B}{H(A + B)},$$

де  $A$  – довжина приміщення, м;  $B$  – його ширина, м;  $H$  – розрахункова висота, м.

$$i = \frac{33 \cdot 18}{21(33 + 18)} = 0,6$$

Тоді приймаємо  $\eta = 0,2$  [5, табл. 5-11].

Площа освітлення:

$$S = A \cdot B = 33 \cdot 18 = 594 \text{ м}^2.$$

Значить число світильників в робочій зоні складе:

$$N = \frac{50 \cdot 594 \cdot 1,8 \cdot 1,1}{5400 \cdot 2 \cdot 0,2} = 27,225 \text{ шт.}$$

Приймаємо 28 світильників. Разом виходить 56 ламп ЛД-80 для забезпечення необхідного загального освітленні робочої зони виробничого приміщення.

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## Висновки

В даній бакалаврській роботі були описані теоретичні основи процесу ректифікації, описана конструкція ректифікаційної колони та вибір матеріалу з якого вона виготовлена. Приведений опис технологічної схеми установки з описом апарату та принцип його роботи.

Зроблені технологічні розрахунки згідно яких було вибрано стандартну ректифікаційну колону.

Виконані розрахунки на міцність:

- розрахунок стінки корпусу апарату та розрахунок стінки кришки;
- розрахунок фланцевого з'єднання вхідного штуцера;
- розрахунок та вибір стандартної опори.

Розписан монтаж та ремонт апарату.

Виконаний аналіз потенційних небезпек які можуть виникнути під час роботи обладнання, описані характеристики компонентів. Та зроблений розрахунок освітлення.

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Література

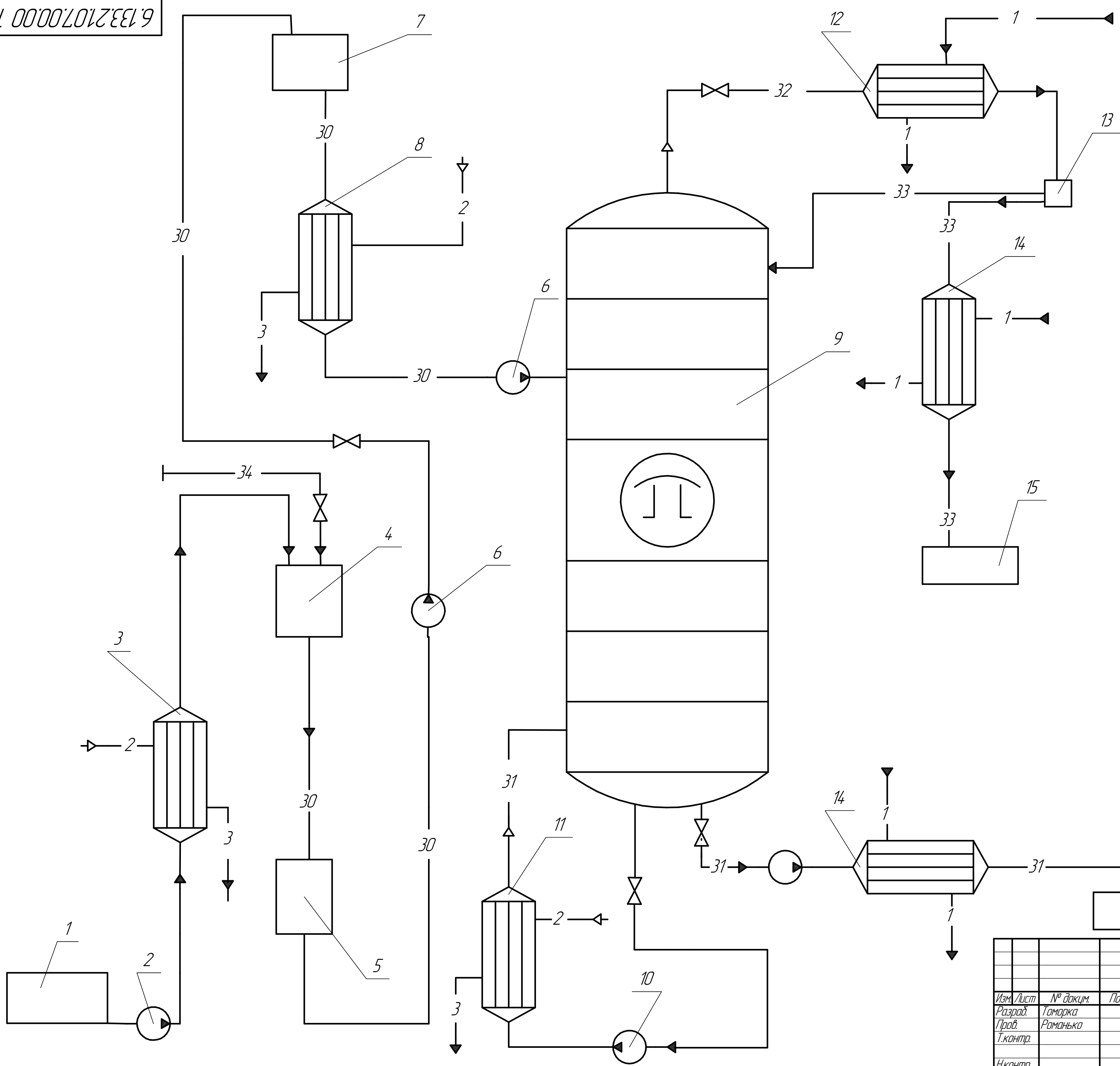
1. Плановский А. К, Рамм В. М., Каган С. З. "Процессы и аппараты химической технологии". М.: Химия, 1972, - 848 с.
2. Павлов К. Ф., Романков П. Г, Носков А. А "Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии". Л.: Химия, 1987,- 576 с.
3. Соколов В. Н. "Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи". Л.: Машиностроение, 1982, - 384 с.
4. Дытнерский Ю. И. "Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию".- М.: Химия, 1983. - 272 с.
5. "Справочная книга для проектирования электрического освещения". Под ред. Кнорринга Г.М. Л.: "Энергия", 1976, - 384 с.
6. Михалев М. Ф., Третьяков Н.П. "Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи". Л.: Машиностроение, 1984, - 301 с.
7. Лацинский А.А., Толщинский А.Р. "Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры. Справочник. ". Л.: Машиностроение, 1970, – 752 с.
8. Плановский А.Н., Николаев П.И. "Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии". М.: Химия, 1972, - 496 с.
9. Голубятников В.А., Шувалов В.В. "Автоматизация производственных процессов в химической промышленности". Москва: Химия, 1985, - 252с.
10. Кошарский Б.Д. "Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие". Л: Машиностроение, 1976, - 488с.
11. Макаров Г.В., Стрельчук Н.А. "Охрана труда в химической промышленности". М.: Химия, 1977, - 568с.
12. Фарамазов С.А. "Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов. 2-е изд.". М.: Химия, 1980. – 312 с.
13. Ермаков В.И., Шеин В.С. "Ремонт и монтаж химического оборудования." Л.: Химия, 1981. – 368 с.

					6.133.21.07.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



6.133.2107.00.00 ТС

Перв. примен.  
Спроб. №  
Подп. и дата  
Инд. № дробл.  
Взам. инд. №  
Подп. и дата  
Инд. № подл.



Условное обозначение	Смесь в трубопроводе
1	Вода
2	Пар
3	Конденсат
30	Смесь
31	Кубовый остаток
32	Дистиллят
33	Ректификат
34	Бензол

Позиция	Наименование	Количество
1	Ёмкость с исходной смесью	1
2,6,10	Насос	3
3,8	Подогреватель	2
4	Смеситель	1
5	Нейтрализатор	1
7	Ёмкость с смесью	1
9	Колонна ректификационная	1
11	Кипятильник	1
12	Дефлегматор	1
13	Распределитель	1
14	Холодильник	2
15	Ёмкость с ректификатом	1
16	Ёмкость с кубовым остатком	1

				6.133.2107.00.00 ТС				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Производство уксусной кислоты Участок технологической схемы	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Тамарка					Лист	Листов	1
Проб.	Романько					ШИ Сум ГУ		
Т.контр.								
Н.контр.								
Утв.								

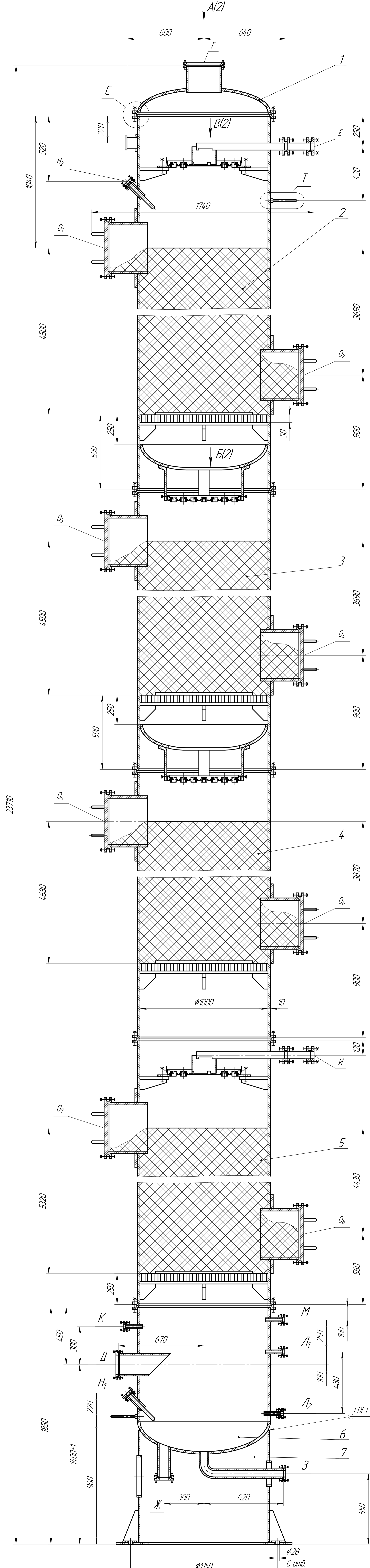
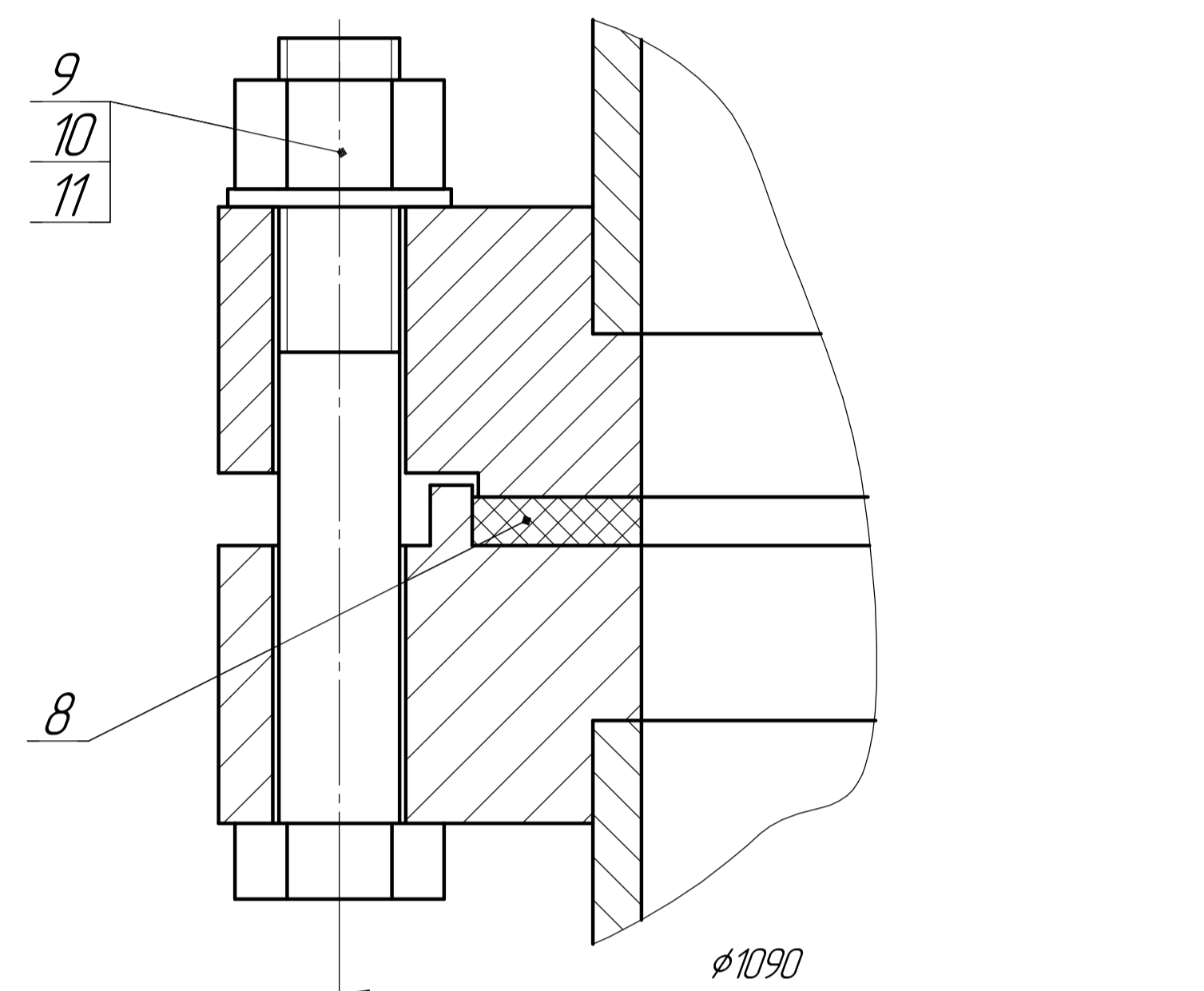


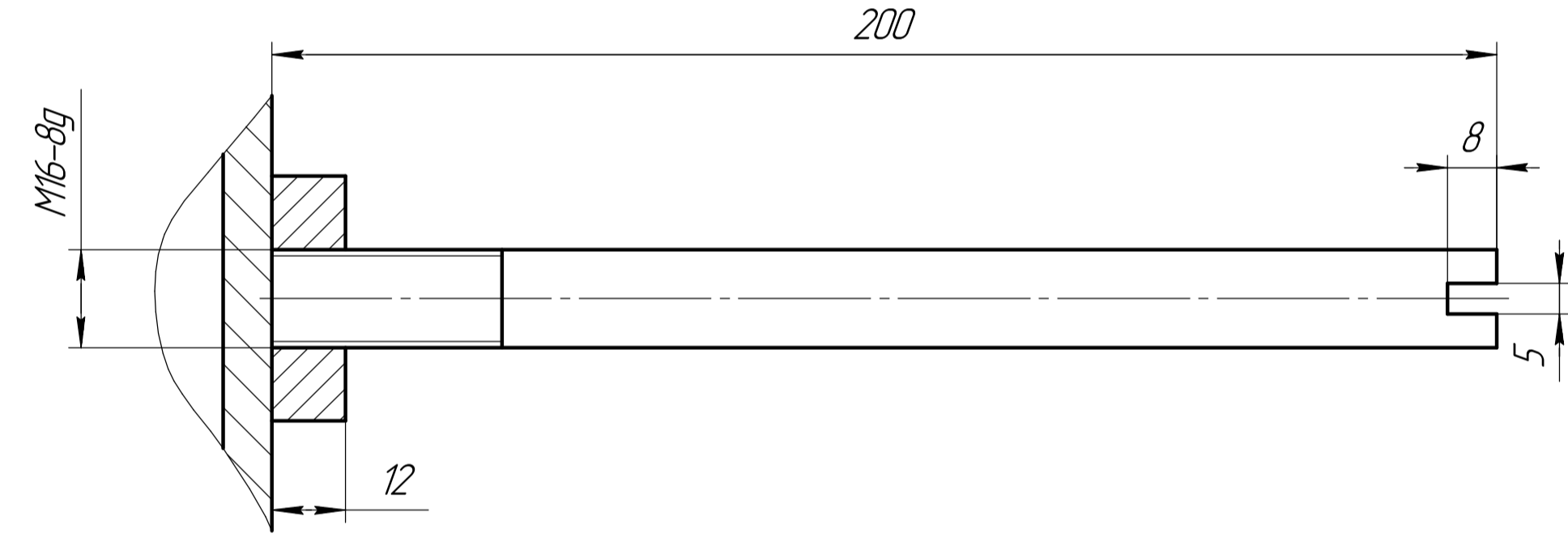
Таблица штуцеров

Обозн.	Наименование	Кол.	Проклад. условный D, мм	Давление условное P, МПа
Г	Выход пара	1	250	0,5
Д	Вход пара	1	250	0,25
Е	Вход флегмы	1	50	0,25
З	Выход кубового остатка	1	40	0,25
И	Вход исходной смеси	1	50	0,25
К	Для манометра	1	25	16
L1-2	Для указателя уровня	2	20	16
М	Для установки уровнемера	1	25	6,4
H1-2	Для термометра ртутного	2	25	2,5
O1-8	Люк	6	500	0,6

С (1:1)



T (1:1)



Техническая характеристика

Аппарат предназначен для разделения смеси ацетон-бензол	
Параметр	Значение
1. Рабочее давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,1
2. Расчетное давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,38
3. Максимально допустимая рабочая температура стенки, °С	120
4. Минимально допустимая рабочая температура стенки, °С	минус 20
5. Расчетная температура стенки, °С	107
4. Наименование среды	уксусная кислота-вода
5. Характеристика рабочей среды: - класс опасности (по ГОСТ 12.1.007) - пожароопасность (по ГОСТ 12.1.004) - взрывоопасность (по ГОСТ 12.1.011)	Да Да Да
6. Номинальный объем, м <sup>3</sup>	
7. Группа аппарата (по ГСТУ 3-17-191-2000)	
8. Срок службы аппарата, лет	10
9. Число циклов нагружения сосуда за весь срок службы, не более	1000

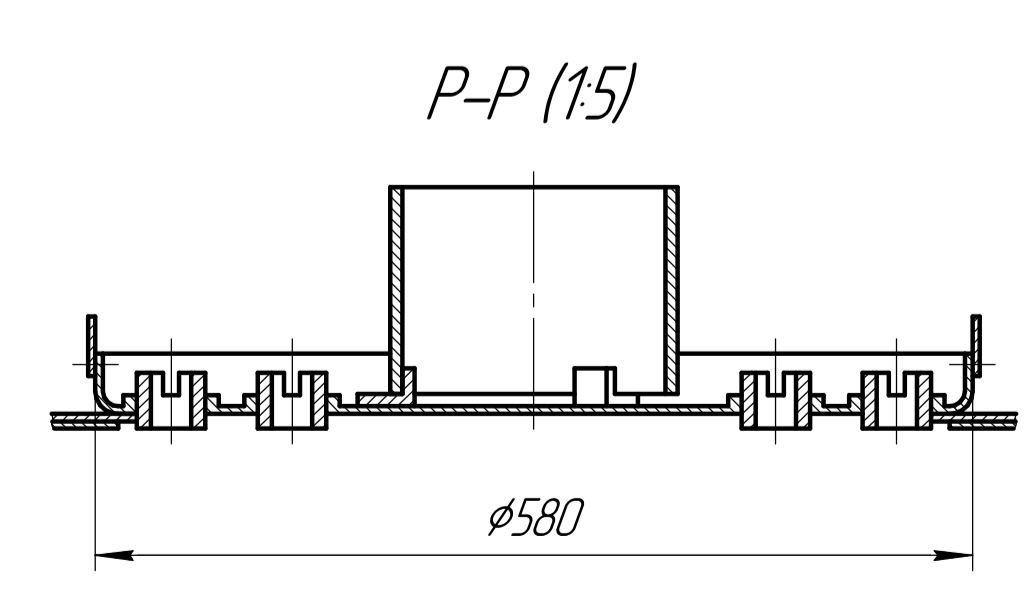
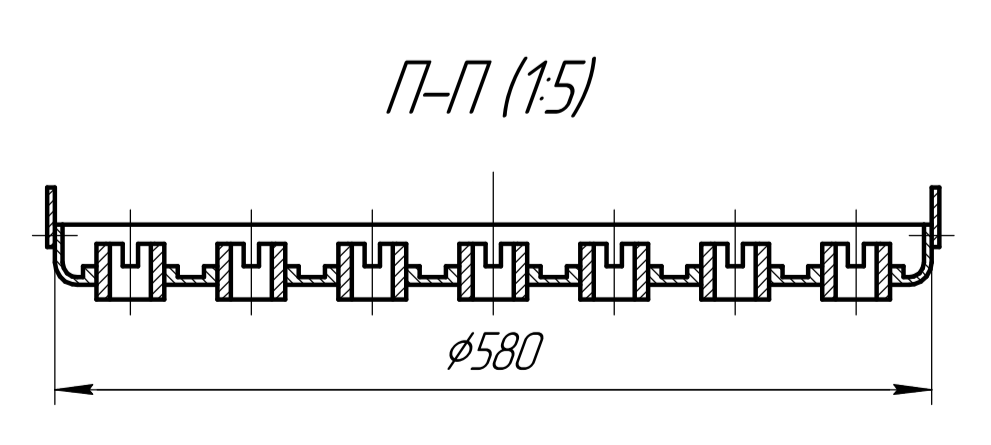
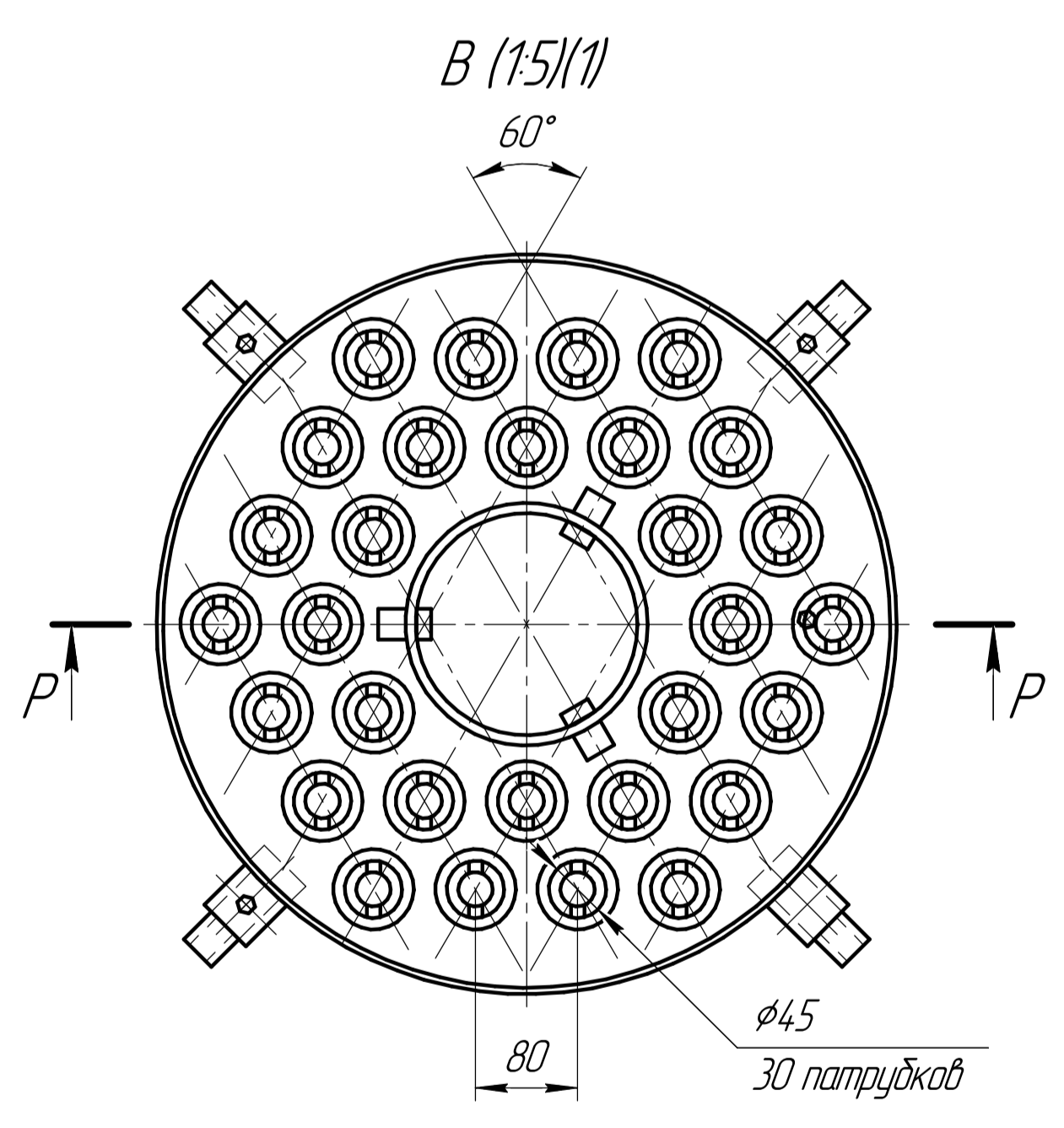
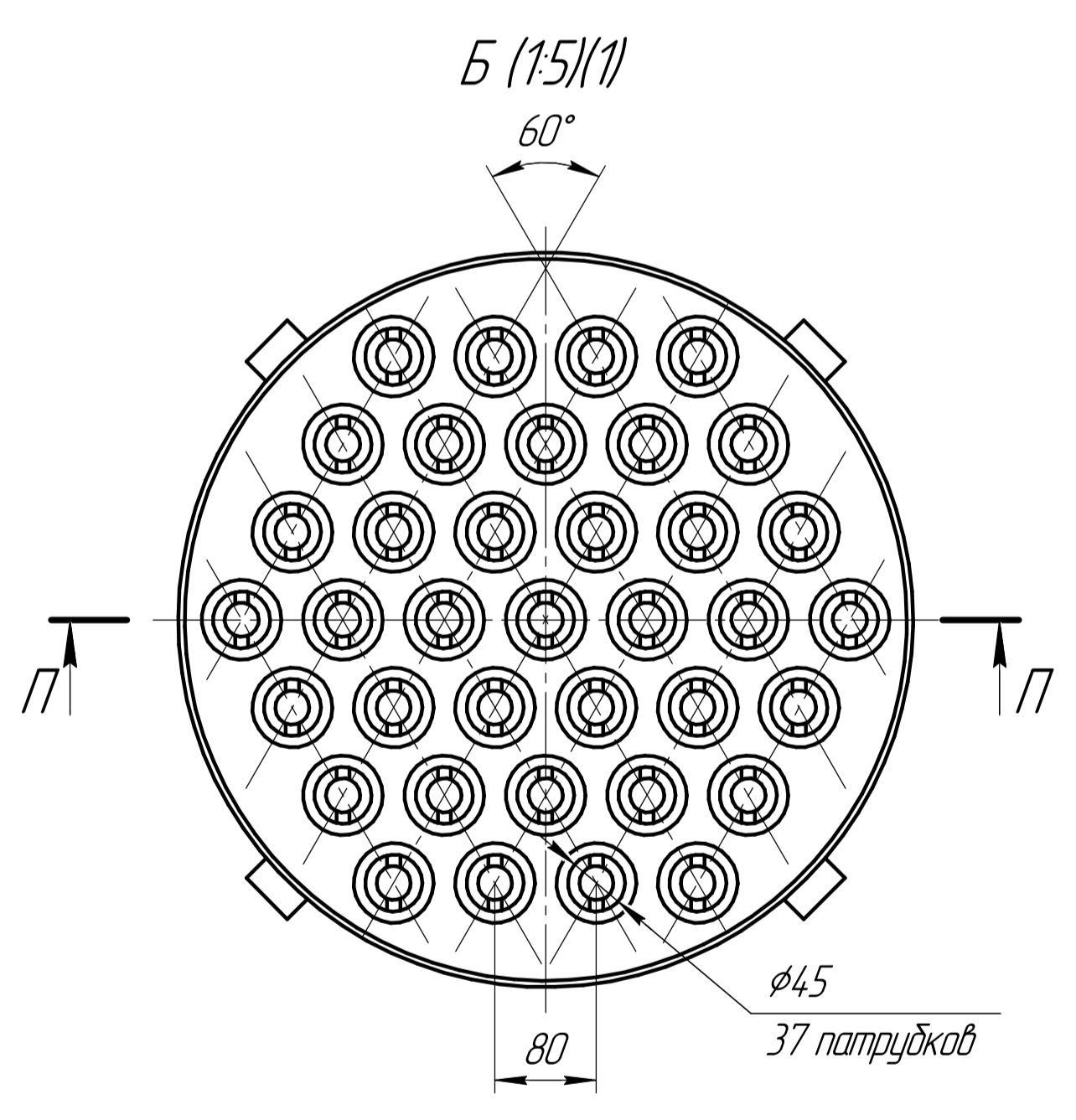
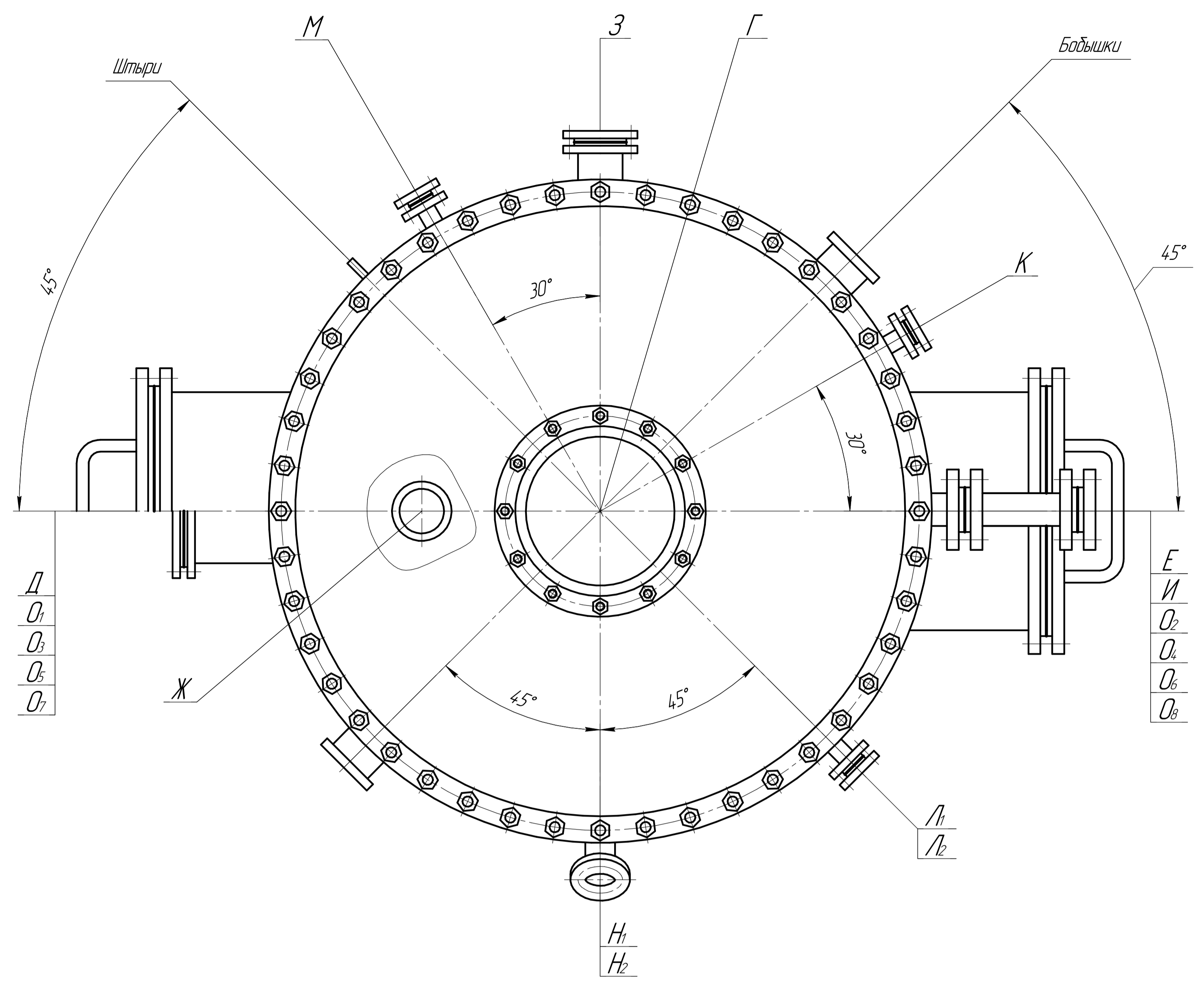
Технические требования

- Аппарат изготовить в соответствии с ГСТУ 3-17-191-2000 "Посуды из стали сварной. Загальні технічні умови" и ДНАОП 0.00-107-94 "Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением".
- Сварные швы контролировать УЗД или рентгенопросвечиванием в объеме 25%. Недоступные для УЗД или рентгенопросвечивания швы контролировать в соответствии с РД 26-11-01-85.
- Аппарат испытать гидравлическим давлением (порядок испытания согласно ГСТУ 3-17-191-2000) p<sub>исп</sub>=0,46 МПа в горизонтальном положении или пневматическим 0,07 МПа.
- Сварные швы составных фланцев проверить на герметичность давлением воздуха (или инертного газа) p=0,4...0,6 МПа.
- Климатическое исполнение Ч. Категория размещения 4 ГОСТ 15150-69.
- Действительное расположение штуцеров люков и цапф см. черт. вид А.
- H14, h14, ±IT14/2.
- Размеры для справок.
- Монтаж аппарата произвести в соответствии со СНиПЗ 05-05-84.

6.133.2107.00.00 СБ			
Колонна ректификационная		Лист	Масса
Сварочный чертеж		Лист 1	Максимум 1:10
		ШИ Сум ГУ	

Изд. №	Лист №	Листов	Спецификация	Листы	Листы
1	1	1	1	1	1

A(1:5)(1)



Изд. № 001/01  
Лист № 01/01  
Взам. инв. №  
Лист № 01/01