

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра хімічної технології високомолекулярних сполук

Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 7.133 "Галузеве машинобудування"

Тема роботи: Виробництво гідрохінону. Барабанна сушарка гідрохінону потужністю по готовому продукту 400 кг/год.

Виконав:

студент групи ХМ-71ш

Череповський Володимир Сергійович

Залікова книжка

№ _____

Захищений з оцінкою:

Керівник:

Закусило Р. В.

підпис

ШСумДУ 2021

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Шосткинський інститут

Кафедра «Хімічна технологія високомолекулярних сполук»

Спеціальність 7.133 "Галузеве машинобудування"

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи бакалавра

Студенту Череповському Володимирі Сергійовичу.

Курс IV Група ХМ-71ш Семестр VIII

1. *Тема роботи:* Виробництво гідрохінону. Барабанна сушарка гідрохінону потужністю по готовому продукту 400 кг/год.

2. *Вихідні дані:*

Потужність сушарки - 400 кг/годину на готовий продукт. Початкова вологість – 5%; кінцева вологість – 0,2%. Теплоносій – повітря. Температура матеріалу на виході з сушарки - 40°C. Розмір частинок гідрохінону – від 0,5 мм до 3,5 мм.

3. *Перелік необхідного графічного матеріалу (аркуші А1):*

- | | |
|---|--------|
| 1. Барабанна сушарка. Складальне креслення | 1,0 А1 |
| 2. Технологія виробництва гідрохінону. Схема загальна | 0,5 А1 |
| 3. Складальні одиниці | 1,5 А1 |

4. *Необхідна література:*

Соколов В. Н. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи. Ленинград, Машиностроение, 1982, 384 с.

Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. Москва, Химия, 1983, 272 с.

5. *Етапи виконання курсового проекту:*

Етап та розділ проектування	ТИЖДЕНЬ													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Введення	x													
Технологічна частина		x	x	x	x									
Конструкторські розрахунки та розрахунки на міцність						x	x	x						
Розробка креслень									x	x	x	x		
Оформлення записки													x	
Захист проекту														x

6. Дата видання завдання _____ 2021 р.

7. Термін для здачі захисту _____ 2021 р.

Керівник Закусило Р. В _____.

ПІБ

підпис

ЗМІСТ

НАЗВА ЗАГОЛОВКУ	С
РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	5
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	6
1.1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ	6
1.2 ОПИС ГОТОВОГО ПРОДУКТУ	7
1.3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ АПАРАТУ	8
1.4 ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ПРОЦЕСУ	10
2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ	12
2.1 МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС	12
2.2 ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС	13
2.3 КОНСТРУКТИВНІ РОЗРАХУНКИ	22
2.4 ВИБІР ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ	29
3. РОЗРАХУНОК АПАРАТУ НА МІЦНІСТЬ І ГЕРМЕТИЧНІСТЬ	35
3.1 ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ	35
3.2 ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ СТІНКИ БАРАБАНА	36
3.3 ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ОПОРНОГО БАНДАЖА СУШАРКИ	40
3.4 РОЗРАХУНОК УПОРНОГО РОЛИКА	43
4. МОНТАЖ И РЕМОНТ АПАРАТУ	45
4.1. МОНТАЖ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ	45
4.2. РЕМОНТ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ	49
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	51
5.1 ТОКСИЧНІСТЬ ГОТОВОГО ПРОДУКТУ	51
5.2 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ В СУШАРНМУ ЦЕХУ	53
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	55
ДОДАТОК А - I-x діаграма вологого повітря	57

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Череповський				Кваліфікаційна робота бакалавра.	Лит.	Арк.	Аркушів
	Закусило					3	57	
Реценз.					Пояснювальна записка	ШІСумДУ		
Н. Контр.						гр. ХМ-71ш		
Затверд.								

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 57 ст., 4 рис., 1 табл., 1 додаток, 15 літературних джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема виробництва, складальне креслення апарату, креслення складальних одиниць, всього 3 аркуші формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Виробництво гідрохінону. Барабанна сушарка гідрохінону потужністю по готовому продукту 400 кг/год».

Розглянуто теоретичні основи процесу сушіння та описано конструкцію барабанної сушарки. Описана технологія виробництва гідрохінону.

При розрахунку апарату враховані властивості використовуваного матеріалу для вибору режиму технологічного процесу. Виконано технологічні та конструктивні розрахунки, якими визначено показники теплообмінних і масообмінних процесів, а також основні конструктивні розміри апарату.

Вибрано допоміжне обладнання у вигляді циклону та вентилятору, що забезпечує проведення технологічного процесу.

Здійснено вибір конструктивних матеріалів та проведені розрахунки на міцність за визначенням розмірів складових частин апарату для підтвердження його працездатності.

Розглянуто процеси монтажу та ремонту апарату.

Розглянуті питання охорони праці на виробництві гідрохінону.

Ключові слова: БАРАБАННА СУШАРКА, ГІДРОХІНОН, ПОВІТРЯ, МОНТАЖ, РОЗРАХУНОК.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Видалення вологи з твердих і пастоподібних матеріалів дозволяє здешевити їх транспортування, надати їм необхідні властивості (наприклад, зменшити злежування добрив або поліпшити розчинність барвників), а також зменшити корозію апаратури і трубопроводів при зберіганні або подальшій обробці цих матеріалів [1, с 731].

Вологу можна видаляти з матеріалів механічними способами (віджиманням, відстоюванням, фільтруванням, центрифугуванням). Однак більш повне зневоднення досягається шляхом випаровування вологи і відведення утворюються пари, тобто за допомогою теплового сушіння [1, с 731].

Цей процес широко використовується в хімічній технології. Він часто є останньою операцією на виробництві, що передує випуску готового продукту. При цьому попереднє видалення вологи зазвичай здійснюється більш дешевими механічними способами (наприклад, фільтруванням), а остаточне - сушінням. Такий комбінований спосіб видалення вологи дозволяє підвищити економічність процесу [1, с 731].

У хімічних виробництвах, як правило, застосовується штучне сушіння матеріалів у спеціальних сушильних пристроях, так як природне сушіння на відкритому повітрі - процес занадто тривалий.

Метою цієї бакалаврської роботи є проектування барабанної сушарки для виробництва гідрохінону.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ

Цей розділ базується на джерелі [2].

Сушіння - це термічний процес примусового видалення рідини з твердих, рідких речовин або їх сумішей з допомогою випаровування. Найчастіше в якості рідини, що видаляється, виступають волога або летючі органічні розчинники. Процес сушіння відбувається наступним чином: нагрітий газовий потік, віддаючи тепло оброблюваного матеріалу, вбирає в себе випарювану їм рідину, видаляючи її із загальної маси речовини. Часто сушіння є останнім етапом в процесі виробництва, що передує продажу або упаковці продукції.

При конвективному сушінні тепло передається від джерела теплової енергії до поверхні матеріалу, що піддається сушінню за допомогою теплоносія. Як теплоносій використовують повітря, інертні гази, димові гази, перегріту пару.

Фізична сутність процесу зводиться до видалення вологи з матеріалу за рахунок різниці парціальних тисків над матеріалом $P_M^п$ рпм та в навколишньому середовищі $P_C^п$. Процес сушіння відбувається за умови $P_M^п > P_C^п$. При вирівнюванні цих парціальних тисків настає рівновага і процес сушіння припиняється. Видалення вологи з поверхні тісно пов'язане з дифузією вологи всередині матеріалу до його поверхні. Ці два процеси повинні перебувати у строгій відповідності, в іншому випадку можливе пересихання, жолоблення поверхні матеріалу та погіршення його якості.

Таким чином, при конвективному сушінні волога переміщується до поверхні за рахунок градієнта вологості, градієнт температури дещо гальмує цей процес. За рахунок різниці температур на поверхні і всередині матеріалу відбувається рух вологи до середини, у напрямку зниження температури. Рівноважна вологість, а значить і перебіг процесу конвективного сушіння, залежать від властивостей матеріалу, що підлягає сушінню, характеру зв'язку з ним вологи і параметрів навколишнього середовища.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 ОПИС ГОТОВОГО ПРОДУКТУ

Гідрохінон - ароматична органічна сполука, представник двоатомних фенолів з хімічною формулою $C_6H_4(OH)_2$ [3].

Згідно джерела [4], «Білі або безбарвні призматичні кристали, солодкуваті на смак. Має модифікації, що відрізняються фізичними властивостями: стабільна α -модифікація має температуру плавлення 173,8-174,8°C і щільність 1,36 г/см², нестабільна γ -модифікація - температуру плавлення 169°C і щільність 1,325 г/см². Має молярну масу 110,11 г/моль, температуру кипіння 286,5°C, температуру спалаху 165°C».

Сильний відновник, використовується як проявник у фотографії, антиоксидант в хімічній промисловості, реагент для визначення ніобію, вольфраму, золота і цезію в аналітичній хімії [3].

Гідрохінон має відповідати ГОСТ 19627-74. Нормовані фізико-хімічні характеристики гідрохінону наведено в табл. 1.2.1.

Таблиця 1.2.1 – Фізико-хімічні характеристики гідрохінону [4].

№	Назва показника	Норма для сорту	
		Вищого	Першого
1	Масова доля гідрохінона, %	99-101	99-101
2	Кольоровість за біхроматною шкалою, не більше	12	20
3	Температура плавлення, °C	171-175	170-175
4	Масова доля втрат при висушуванні, %, не більше	0,1	0,1
5	Масова частка залишку після прожарювання, %, не більше	0,03	0,08
6	Масова доля заліза, %, не більше	0,002	0,010
7	Масова доля важких металів, %, не більше	0,0005	0,002

1.3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ АПАРАТУ

Об'єкт розробки – барабанна сушарка. Цей розділ базується на джерелах [5-6].

Барабанна сушарка (рис. 1.3.1) має циліндричний барабан 1, встановлений з невеликим нахилом до горизонту ($1/15 - 1/50$) і спирається за допомогою бандажів 2 на ролики 3. Барабан приводиться в обертання електродвигуном через зубчасту передачу 4 і редуктор. Число оборотів барабана зазвичай не перевищує 5-8 хв-1; його положення в осьовому напрямку фіксується напологливими роликами 5. Матеріал подається в барабан живильником 6, попередньо підсушується, перемішуючись лопатями 7 приймально-гвинтової насадки, а потім надходить на внутрішню насадку, розташовану вздовж майже всієї довжини барабана. Насадка забезпечує рівномірний розподіл і добре перемішування матеріалу по перетину барабана, а також його тісне зіткнення при пересипанні з сушильним агентом - топковим газами. Гази і матеріал особливо часто рухаються прямоюкою, що допомагає уникнути перегріву матеріалу, так як в цьому випадку найбільш гарячі гази стикаються з матеріалом, що має найбільшу вологість. Щоб уникнути посиленого виносу пилу з газами останні просочуються через газодувку 8 із середньою швидкістю, що не перевищує 2-3 м/с. Перед викидом в атмосферу відпрацьовані гази очищаються від пилу в циклоні 9.

У розвантажувального кінця барабана є підпирний пристрій у вигляді суцільного кільця або кільця, утвореного кільцеподібно-розташованими поворотними лопатками (у вигляді жалюзі). Призначення цього кільця - підтримувати певну ступінь заповнення барабана матеріалом; як правило, ступінь заповнення не перевищує 20%. Час перебування зазвичай регулюється швидкістю обертання барабана і рідше - зміною кута його нахилу. Висушений матеріал видаляється з камери 10 через розвантажувальний пристрій 11, за допомогою якого герметизується камера 10 і запобігає надходження в неї повітря ззовні.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

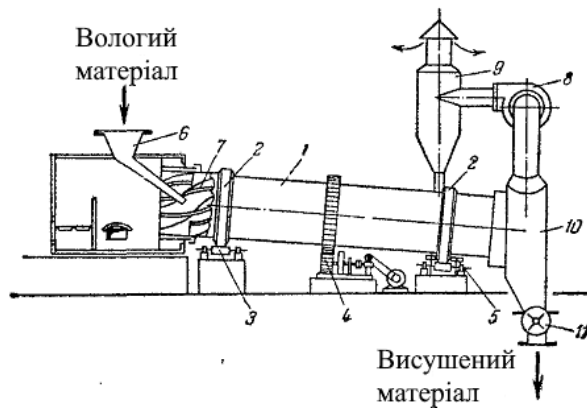


Рис. 1.3.1 - Барабанна сушарка:

1 - барабан; 2 - бандажі; 3 - опорні ролики; 4 - передача; 5 - опорно-упорні ролики; 6 - живильник; 7 - лопаті; 8 - вентилятор; 9 - циклон; 10 - розвантажувальна камера; 11 - розвантажувальний пристрій.

Приклади насадок для барабанної сушарки наведені на рис. 1.3.2. Підйомно-лопатева насадка використовується для сушіння великошматкових і схильних до налипання матеріалів, секторна насадка - для малосипких та великошматкових матеріалів з великою щільністю. Для дрібношматкових, сильно сипучих матеріалів широко застосовуються розподільні насадки. Сушіння тонкоподрібненого матеріалу, який пилить, проводиться в барабанах з перевалочною насадкою з закритими осередками.

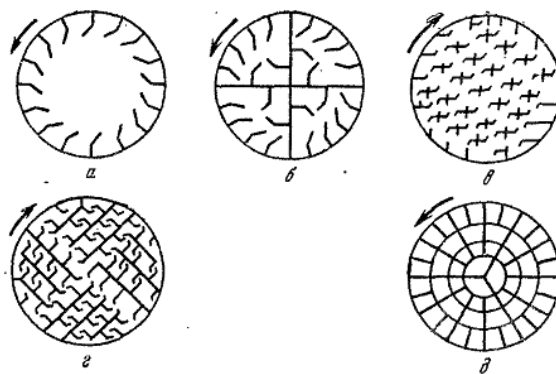


Рис. 1.3.2 - Типи насадок барабаних сушарок:

а - підйомно-лопатева; б - секторальна; в, г - розподільна; д - перевалочна.

Приймаємо розподільну конструкцію перевалочних пристроїв, так як вона використовується для дрібношматкового і сильно сипучого гідрохінону.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1.4 ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ПРОЦЕСУ

У промисловості гідрохінон синтезують наступними способами [7]:

1. окисненням 1,4-діізопропілбензолу повітрям, потім проводять кислотний гідроліз отриманого біс-гідропероксиду з утворенням гідрохінону і ацетону;
2. гідроксилюванням фенолу 70% перекисом водню при 90°C з використанням в якості каталізаторів 75% ортофосфорної кислоти або 65% хлорної кислоти. В результаті реакції утворюється суміш гідрохінону і пірокатехіну, яку в подальшому поділяють ректифікацією;
3. взаємодією фенолу і ацетону з утворенням 4-ізопропілфенола, який окислюють перекисом водню в кислому середовищі з утворенням гідрохінону і ацетону;
4. окисненням сірчаноокислого аніліну двоокисом марганцю або хромовою кислотою до 4-бензохінону, потім відновлюють 4-бензохінон порошкоподібним залізом в воді при 70-80°C в присутності гідросульфїту натрію із загальним виходом реакції 74-84%.

Останній з наведених виходів є найпоширенішим, тому використовуємо його.

Технологічна схема виробництва гідрохінону наведена на рис. 1.4.1.

У реактор проміжного продукту Р1 завантажуються сірчаноокислий анілін та двоокис марганцю. Після хімічної реакції, проміжний продукт направляється в реактор отримання гідрохінону Р2, де проміжний продукт стабілізують порошкоподібним залізом в воді при 70-80°C. В якості каталізатору виступає гідросульфїт натрію.

Отриманий готовий продукт є вологим, тому він направляється на стадію сушіння.

Повітря за допомогою газодувки Г1 подається в калорифер К, де нагрівається до температури 100°C. Звідти повітря направляється в барабанну сушарку БС. Одночасно з цим вологий матеріал, вуглекислий марганець зі ступенем вологості 22,0%, подається з бункера вологого матеріалу Б1 через

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозатор Д в завантажувальний бункер барабанної сушарки БС. У сушарці БС відбувається процес висушування кристалів вуглекислого марганцю до заданого ступеня вологості 2%. Сухий вуглекислий марганець через розвантажувальний люк БС направляється в бункер висушеного матеріалу Б2, звідки надходить на стрічковий транспортер СТ для подальшої упаковки готового продукту. Відпрацьований сушильний агент з БС направляється в циклон Ц де відбувається поділ твердої та газової фази. Тверда фаза, кристали вуглекислого марганцю, надходять також на СТ. Топкові гази з повітрям за допомогою вентилятора В3 викидаються в атмосферу.

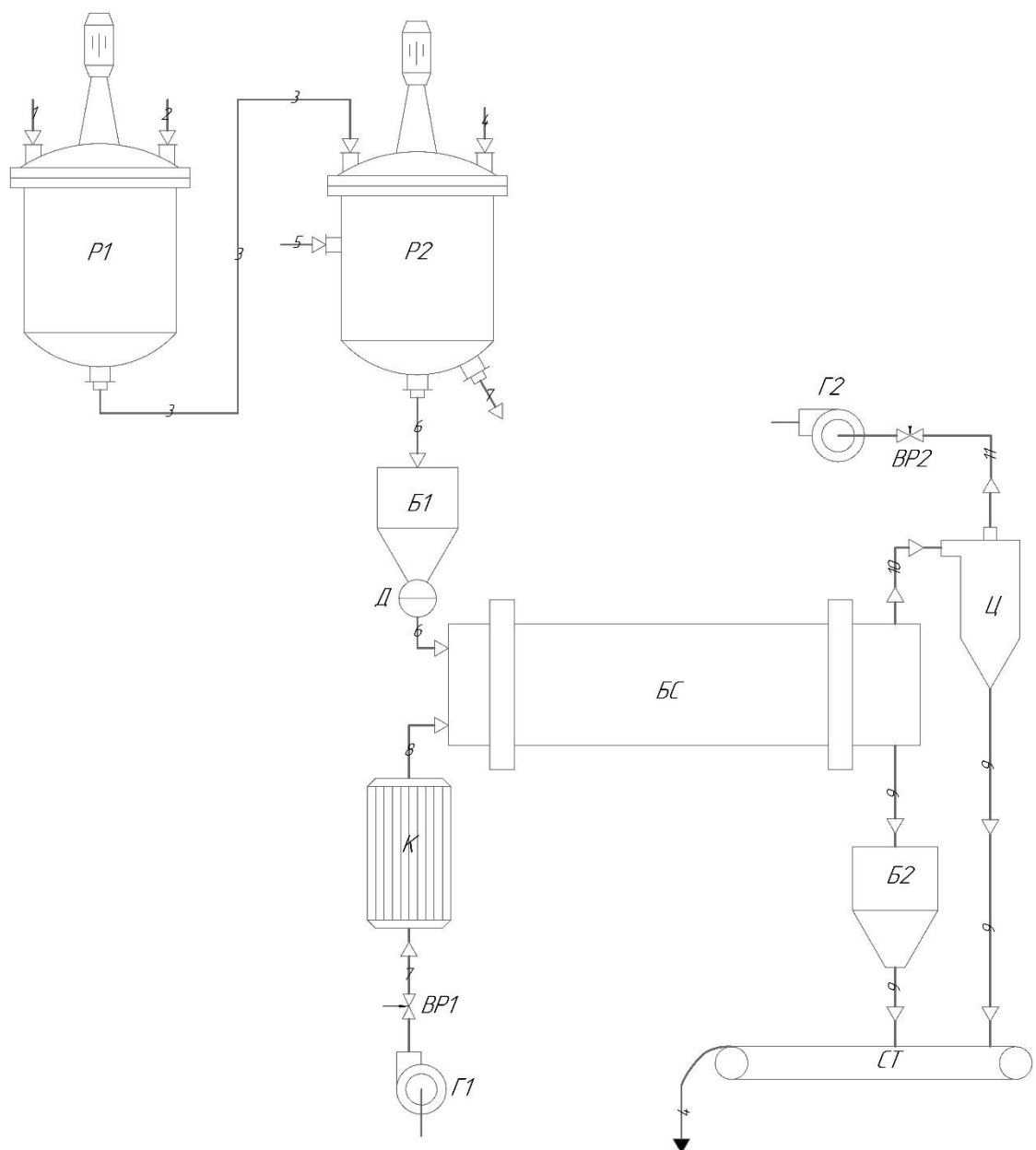


Рис. 1.4.1 – Технологічна схема виробництва гідроксиду

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ

Завданням бакалаврської роботи є проектування барабанної сушарки для висушування гідрохінону нагрітим повітрям.

Початкові дані:

Продуктивність сушарки за готовим продуктом – **400 кг/год**. Розмір частинок гідрохінону – **від 0,5 мм до 3,5 мм**. Початкова вологість – 5%, кінцева вологість – 0,2%. Температура матеріалу на виході з сушарки - **40°C**.

Оскільки цих даних недостатньо для розрахунку теплового балансу, приймаємо з умов процесу виробництва гідрохінону наступні дані:

1. Початкова температура матеріалу - 20°C.
2. Температура повітря на вході в сушарку - 110°C (оскільки температура самозаймання гідрохінону – 173°C).
3. Температура повітря на виході з сушарки - 75°C.
3. Питома кількість втрат тепла – 22,6 кДж на 1 кг випарюваної вологи.

2.1 МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС

Формули для розрахунку взяті з джерела [8].

Кількість вологи, яка випаровується при сушінні:

$$W = G_K \cdot \frac{w_H - w_K}{w_o - w_H} \quad (2.1.1)$$

де G_K – продуктивність по готовому продукту, кг/год;

w_H – початкова вологість матеріалу, %;

w_K – кінцева вологість матеріалу, %.

$$W = 400 \cdot \frac{5 - 0,2}{100 - 5} = 20,21 \text{ кг/год (0,0056 кг/с)}$$

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

2.2 ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС

Формули для розрахунку взяті з джерела [8].

2.2.1 Для літніх умов

Параметри повітря на вході в калорифер:

$t_0 = 19,3^\circ\text{C}$ - початкова температура повітря;

$\varphi_0 = 69\%$ - початкова відносна вологість повітря.

$$x_0 = 0,622 \cdot \frac{\varphi_0 \cdot P_{\text{нас}}}{B - \varphi_0 \cdot P_{\text{нас}}} \quad (2.2.1)$$

де $B = 745 \text{ мм. рт. ст.} \cdot 133,3 = 99308,5 \text{ Н/м}^2$ – атмосферний тиск;

φ_0 – відносна вологість повітря;

$P_{\text{нас}} = 16,48 \text{ мм. рт. ст.} \cdot 133,3 = 2196,8 \text{ Н/м}^2$ – тиск насиченої водяної пари.

$$x_0 = 0,622 \cdot \frac{0,69 \cdot 2196,8}{99308,5 - 0,69 \cdot 2196,8} = 0,0096 \text{ кг}_\text{в}/\text{кг}_\text{с. п.}$$

Ентальпія повітря на вході в калорифер:

$$I_0 = (1,01 + 1,97 \cdot x_0) \cdot t_0 + 2493 \cdot x_0 \quad (2.2.2)$$

де t_0 – температура повітря, $^\circ\text{C}$;

x_0 – початковий вологовміст повітря.

$$I_0 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0096) \cdot 19,3 + 2493 \cdot 0,0096 = 43,79 \text{ кДж/кг}_\text{с. п.}$$

Параметри повітря на вході в сушарку (після калорифера):

$$I_1 = (1,01 + 1,97 \cdot x_1) \cdot t_1 + 2493 \cdot x_1 \quad (2.2.3)$$

де $t_1 = 110^\circ\text{C}$ - температура повітря на вході в сушарку;

$x_1 = x_0 = 0,0096 \text{ кг/кг}_\text{с. в.}$ – вологовміст повітря на вході в сушарку.

$$I_1 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0096) \cdot 110 + 2493 \cdot 0,0096 = 137,11 \text{ кДж/кг}_\text{с. п.}$$

Відносна вологість повітря на вході в сушарку (при $t \geq 100^\circ\text{C}$):

$$\varphi_1 = \frac{x_1}{0,622 + x_1} \quad (2.2.4)$$

$$\varphi_1 = \frac{0,0096}{0,622 + 0,0096} = 0,0152 (1,52\%).$$

Питома кількість тепла, яка вводиться в сушарку з матеріалом для сушіння:

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

$$q_M = \frac{\theta_M}{W} = \frac{G_K \cdot c_M \cdot (\theta_K - \theta_H)}{W} \quad (2.2.5)$$

де G_K – продуктивність по готовому продукту, кг/год;

$c_M = 0,103$ кДж/кг · гр – питома теплоємність гідрохінону;

θ_K – температура матеріалу на виході з сушарки, °С;

θ_H – початкова температура матеріалу, °С;

W – кількість випарюваної вологи, кг/год.

$$q_M = \frac{400 \cdot 0,103 \cdot (40 - 20)}{20,21} = 40,77 \text{ кДж/кг_вл,}$$

Поправка до реальної сушарки:

$$\Delta = c_B \cdot \theta_1 - (q_M + q_{II}) \quad (2.2.6)$$

де $c_B = 4,19$ кДж/кг · гр – теплоємність вологи у вологому матеріалі при θ_1 ;

θ_1 – початкова температура матеріалу, °С;

q_M – питома кількість тепла, яке вводиться в сушарку, кДж/кг_вл;

q_{II} – питома кількість втрат тепла (22,6 кДж на 1 кг випарюваної вологи), кДж/кг_вл.

$$\Delta = 4,19 \cdot 20 - (40,77 + 22,6) = 20,43 \text{ кДж/кг_вл}$$

Позитивне значення цього параметру означає, що ентальпія повітря збільшується під час сушіння.

Параметри повітря на виході з сушарки.

Враховуючи що:

$$\Delta = \frac{I_2 - I_1}{x_2 - x_1} \quad (2.2.7)$$

і висловивши:

$$I_2 = (1,01 + 1,97 \cdot x_2) \cdot t_2 + 2493 \cdot x_2 \quad (2.2.8)$$

записуємо:

$$20,43 = \frac{(1,01 + 1,97 \cdot x_2) \cdot 75 + 2493 \cdot x_2 - 137,11}{x_2 - 0,0096}$$

Розв'язуючи це рівняння, отримуємо:

$$x_2 = 0,0233 \text{ кг/кг_с. п.}$$

Відносна вологість на виході з сушарки:

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

$$\varphi_2 = \frac{x_2 \cdot B}{(0,622 + x_2) \cdot P_{\text{нас}}} \quad (2.2.9)$$

де x_2 – вологовміст повітря на виході з сушарки;

B – атмосферний тиск, Н/м²;

$P_{\text{нас}} = 289,1 \text{ мм. рт. ст.} \cdot 133,3 = 38543,5 \text{ Н/м}^2$ – тиск насиченої водяної пари [9, ст. 536] при $t_2 = 75^\circ\text{C}$.

$$\varphi_2 = \frac{0,0233 \cdot 99308,5}{(0,622 + 0,0233) \cdot 38543,5} = 0,093 \text{ (9,3\%)}$$

Ентальпія повітря на виході з сушарки виходячи з формули (2.2.8):

$$I_2 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0233) \cdot 75 + 2493 \cdot 0,0233 = 137,28 \text{ кДж/кг}_\text{с. п.}$$

Витрата повітря в сушарці.

Питома витрата повітря:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_1} \quad (2.2.10)$$

$$l = \frac{1}{0,0233 - 0,0096} = 73 \text{ кг}_\text{с. п./кг}_\text{вл.}$$

Масова витрата повітря:

$$L = l \cdot W \quad (2.2.11)$$

де l – питома витрата повітря, кг_{с. п.}/кг_{вл.};

W – кількість випарюваної вологи, кг/год.

$$L = 73 \cdot 20,21 = 1475,33 \text{ кг/год}$$

Об'ємна витрата повітря на вході в сушарку.

Питомий обсяг вологого повітря на вході в сушарку:

$$V_{\text{вх}} = \frac{R_v \cdot T}{B - \varphi_1 \cdot P_{\text{нас}}} \quad (2.2.12)$$

де $R_e = 287 \text{ кДж/кг} \cdot \text{гр}$ – газова стала для повітря;

T – абсолютна температура повітря, К;

B – атмосферний тиск, Н/м²;

φ_1 – відносна вологість повітря;

$P_{\text{нас}} = 1,461 \text{ кгс/см}^2 \cdot 9,81 \cdot 10^4 = 143324,1 \text{ Н/м}^2$ – тиск насиченої водяної пари при $t_1 = 110^\circ\text{C}$ [9, ст. 548].

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

$$V_{\text{вх}} = \frac{287 \cdot (110 + 273)}{99308,5 - 0,093 \cdot 143324,1} = 1,28 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Об'ємна витрата повітря на вході в сушарку:

$$L_{V_{\text{вх}}} = L \cdot v_{\text{вх}} \quad (2.2.13)$$

$$L_{V_{\text{вх}}} = 1475,33 \cdot 1,28 = 1888,42 \text{ м}^3/\text{год}$$

Об'ємна витрата повітря на виході з сушарки.

Питома витрата вологого повітря на виході з сушарки:

$$V_{\text{вих}} = \frac{R_v \cdot T}{B - \varphi_2 \cdot P_{\text{нас}}} \quad (2.2.14)$$

де $R_e = 287 \text{ кДж/кг} \cdot \text{гр}$ – газова стала для повітря;

T – абсолютна температура повітря, К;

B – атмосферний тиск, Н/м²;

φ_2 – відносна вологість повітря;

$P_{\text{нас}} = 0,393 \text{ кгс/см}^2 \cdot 9,81 \cdot 10^4 = 38553,3 \text{ Н/м}^2$ – тиск насиченої водяної пари при $t_2 = 75^\circ\text{C}$ [9, ст. 536].

$$V_{\text{вих}} = \frac{287 \cdot (75 + 273)}{99308,5 - 0,0233 \cdot 38553,3} = 1,015 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Об'ємна витрата повітря на виході з сушарки:

$$L_{V_{\text{вих}}} = L \cdot v_{\text{вих}} \quad (2.2.15)$$

$$L_{V_{\text{вих}}} = 1475,33 \cdot 1,015 = 1497,46 \text{ м}^3/\text{год}$$

Витрата тепла на нагрів повітря в калорифері.

Питома витрата тепла в калорифері:

$$q_k = l \cdot (I_1 - I_0) \quad (2.2.16)$$

де l – питома витрата повітря, кг_с. п./кг_вл.;

I_1 – ентальпія повітря на вході в сушарку, кДж/кг_с. п.;

I_0 – ентальпія початкового повітря, кДж/кг_с. п.

$$q_k = 73 \cdot (137,11 - 43,79) = 6812,36 \text{ кДж/кг_вл.}$$

Витрата тепла:

$$Q_k = q_k \cdot W \quad (2.2.17)$$

де q_k – питома витрата тепла в калорифері, кДж/кг_вл.;

W – кількість випарюваної вологи, кг/год.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

$$Q_k = 6812,36 \cdot 20,21 = 137677,8 \text{ кДж/год}$$

Прихід тепла:

1. З повітрям:

$$Q_1 = l \cdot I_0 \quad (2.2.18)$$

де l – питома витрата повітря, кг_с. п./кг_вл.;

I_0 – ентальпія початкового повітря, кДж/кг_с. п.

$$Q_1 = 73 \cdot 43,79 = 3196,67 \text{ кДж/кг_вл.}$$

2. З вологістю матеріалу:

$$Q_2 = c_b \cdot \theta_1 \quad (2.2.19)$$

де $c_b = 4,19$ кДж/кг · гр – теплоємність води у вологому матеріалі при θ_1 ;

θ_1 – початкова температура матеріалу, °С.

$$Q_2 = 4,19 \cdot 20 = 83,8 \text{ кДж/кг_вл.}$$

3. З матеріалом:

$$Q_3 = \frac{G_k \cdot c_m \cdot \theta_1}{W} \quad (2.2.20)$$

де $c_m = 0,103$ кДж/кг · гр – теплоємність матеріалу при θ_1 ;

θ_1 – початкова температура матеріалу, °С;

G_k – продуктивність по готовому продукту, кг/год;

W – кількість випарюваної води, кг/год.

$$Q_3 = \frac{400 \cdot 0,103 \cdot 20}{20,21} = 40,77 \text{ кДж/кг_вл.}$$

4. Від теплоносія в калорифері:

$$Q_4 = q_k = 6812,36 \text{ кДж/кг_вл.}$$

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (2.2.21)$$

$$\sum Q_{\text{пр}} = 3196,67 + 83,8 + 40,77 + 6812,36 = 10133,6 \text{ кДж/кг_вл.}$$

Витрата тепла:

1. З повітрям:

$$Q_1 = l \cdot I_2 \quad (2.2.22)$$

де l – питома витрата повітря, кг_с. п./кг_вл.;

I_2 – ентальпія повітря на виході з сушарки, кДж/кг_с. в.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

$$Q_1 = 73 \cdot 137,28 = 10021,44 \text{ кДж/кг_вл.}$$

2. З матеріалом:

$$Q_2 = \frac{G_k \cdot c_m \cdot \theta_2}{W} \quad (2.2.23)$$

де $c_m = 0,103 \text{ кДж/кг} \cdot \text{гр}$ – теплоємність матеріалу при θ_1 ;

θ_2 – кінцева температура матеріалу, °С;

G_k – продуктивність по готовому продукту, кг/год;

W – кількість випарюваної вологи, кг/год.

$$Q_2 = \frac{400 \cdot 0,103 \cdot 40}{20,21} = 81,54 \text{ кДж/кг_вл.}$$

3. Втрати у навколишнє середовище:

$$Q_3 = q_{\text{п}} = 22,6 \text{ кДж/кг_вл.}$$

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2.2.24)$$

$$\sum Q_p = 10021,44 + 81,54 + 22,6 = 10125,58 \text{ кДж/кг_вл.}$$

Тепловий баланс сушарки:

$$\Delta Q = \left| \frac{\sum Q_p - \sum Q_{\text{пр}}}{\sum Q_{\text{пр}}} \right| \cdot 100\% \leq 5\% \quad (2.2.25)$$

$$\Delta Q = \left| \frac{10125,58 - 10133,6}{10133,6} \right| \cdot 100\% = 0,08\% \leq 5\%$$

Таким чином, розбіжність балансу знаходиться в допустимих межах [9, ст. 448].

2.2.2 Для зимових умов

Параметри повітря на вході в калорифер:

$t_0 = -3^\circ\text{C}$ - початкова температура повітря;

$\varphi_0 = 89\%$ - початкова відносна вологість повітря.

Вологовміст повітря, виходячи з формули 2.2.1:

$$x_0 = 0,622 \cdot \frac{0,89 \cdot 475,3}{98642 - 0,89 \cdot 475,3} = 0,0027 \text{ кг/кг_с. в.}$$

де $B = 740 \text{ мм. рт. ст.} \cdot 133,3 = 98642 \text{ Н/м}^2$ – атмосферний тиск;

$P_{\text{нас}} = 3,566 \text{ мм. рт. ст.} \cdot 133,3 = 475,3 \text{ Н/м}^2$ – тиск насиченої

водяної пари.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Ентальпія повітря на вході в калорифер, виходячи з формули 2.2.2:

$$I_0 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0027) \cdot (-3) + 2493 \cdot 0,0027 = 6,72 \text{ кДж/кг}_\text{с. п.}$$

Параметри повітря на вході в сушарку (після калорифера), виходячи з формули 2.2.3:

$$I_1 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0027) \cdot 100 + 2493 \cdot 0,0027 = 108,263 \text{ кДж/кг}_\text{с. п.}$$

Відносна вологість повітря на вході в сушарку (при $t \geq 100^\circ\text{C}$), виходячи з формули 2.2.5:

$$\varphi_1 = \frac{0,0027}{0,622 + 0,0027} = 0,004 \text{ (0,4\%)}$$

Розрахунок поправки до реальної сушарки.

Питома кількість тепла, яке вводиться в сушарку з висушують матеріалом, виходячи з формули 2.2.5:

$$q_M = \frac{400 \cdot 0,103 \cdot (40 - 20)}{20,21} = 40,77 \text{ кДж/кг}_\text{вл.}$$

Поправка до реальної сушарці, виходячи з формули 2.2.7:

$$\Delta = 4,19 \cdot 20 - (40,77 + 22,6) = 20,43 \text{ кДж/кг}_\text{вл.}$$

де $q_{\text{п}}$ – питома кількість втрат тепла (22,6 кДж на 1 кг випарюваної вологи), кДж/кг_вл.

Позитивне значення цього параметру означає, що ентальпія повітря збільшується під час сушіння.

Параметри повітря на виході з сушарки, виходячи з формул 2.2.7 і 2.2.8.

$$20,43 = \frac{(1,01 + 1,97 \cdot x_2) \cdot 75 + 2493 \cdot x_2 - 108,263}{x_2 - 0,0027}$$

Вирішуючи це рівняння, отримуємо:

$$x_2 = 0,0124 \text{ кг/кг}_\text{с. п.}$$

Відносна вологість на виході з сушарки, виходячи з формули 2.2.9:

$$\varphi_2 = \frac{0,0124 \cdot 99308,5}{(0,622 + 0,0124) \cdot 38543,5} = 0,05 \text{ (5\%)}$$

де $P_{\text{нас}} = 289,1 \text{ мм. рт. ст.} \cdot 133,3 = 38543,5 \text{ Н/м}^2$ – тиск насиченої водяної пари [4, ст. 536] при $t_2 = 75^\circ\text{C}$.

Ентальпія повітря на виході з сушарки виходячи з формули (2.2.8):

$$I_2 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0124) \cdot 75 + 2493 \cdot 0,0124 = 108,5 \text{ кДж/кг}_\text{с. п.}$$

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Витрата повітря в сушарці.

Питома витрата повітря, виходячи з формули 2.2.10:

$$l = \frac{1}{0,0124 - 0,0027} = 103,1 \text{ кг_с. п./кг_вл.}$$

Масова витрата повітря, виходячи з формули 2.2.11:

$$L = 103,1 \cdot 20,21 = 2083,651 \text{ кг/год}$$

Об'ємна витрата повітря на вході в сушарку.

Питомий обсяг вологого повітря на вході в сушарку, виходячи з формули 2.2.12:

$$V_{\text{вх}} = \frac{287 \cdot (110 + 273)}{99308,5 - 0,004 \cdot 143324,1} = 1,113 \text{ м}^3/\text{кг}$$

де $P_{\text{нас}} = 1,461 \text{ кгс/см}^2 \cdot 9,81 \cdot 10^4 = 143324,1 \text{ Н/м}^2$ – тиск насиченої водяної пари при $t_1 = 110^\circ\text{C}$ [4, ст. 548].

Об'ємна витрата повітря на вході в сушарку, виходячи з формули 2.2.13:

$$L_{V_{\text{вх}}} = 2083,651 \cdot 1,113 = 2319,1 \text{ м}^3/\text{год}$$

Об'ємна витрата повітря на виході з сушарки.

Питома витрата вологого повітря на виході з сушарки, виходячи з формул 2.2.14:

$$V_{\text{вых}} = \frac{287 \cdot (75 + 273)}{99308,5 - 0,05 \cdot 38553,3} = 1,03 \text{ м}^3/\text{кг}$$

де $P_{\text{нас}} = 0,393 \text{ кгс/см}^2 \cdot 9,81 \cdot 10^4 = 38553,3 \text{ Н/м}^2$ – тиск насиченої водяної пари при $t_2 = 75^\circ\text{C}$ [9, ст. 548].

Об'ємна витрата повітря на виході з сушарки, виходячи з формули 2.2.15:

$$L_{V_{\text{вых}}} = 2083,651 \cdot 1,03 = 2146,16 \text{ м}^3/\text{год}$$

Витрата тепла на нагрів повітря в калорифері.

Питома витрата тепла в калорифері, виходячи з формули 2.2.16:

$$q_k = 103,1 \cdot (108,5 - 3,7) = 10804,88 \text{ кДж/кг_вл.}$$

Витрата тепла, виходячи з формули 2.2.17:

$$Q_k = 10804,88 \cdot 20,21 = 218366,6 \text{ кДж/год}$$

Прихід тепла, посилаючись на формулу 2.2.22:

1. З повітрям, виходячи з формули 2.2.18:

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$Q_1 = 103,1 \cdot 6,72 = 692,8 \text{ кДж/кг_вл.}$$

2. З вологістю матеріалу, з формули 2.2.19:

$$Q_2 = 4,19 \cdot 20 = 83,8 \text{ кДж/кг_вл.}$$

3. З матеріалом, з формули 2.2.20:

$$Q_3 = \frac{400 \cdot 0,103 \cdot 20}{20,21} = 40,77 \text{ кДж/кг_вл.}$$

4. Від теплоносія в калорифері:

$$Q_4 = q_k = 10804,88 \text{ кДж/кг_вл.}$$

$$\sum Q_{\text{пр}} = 692,8 + 83,8 + 40,77 + 10804,88 = 11622,25 \text{ кДж/кг_вл.}$$

Витрата тепла, посилаючись на формулу 2.2.25:

1. З повітрям, з формули 2.2.23:

$$Q_1 = 103,1 \cdot 108,5 = 11186,35 \text{ кДж/кг_вл.}$$

2. З матеріалом, з формули 2.1.24:

$$Q_2 = \frac{400 \cdot 0,103 \cdot 40}{20,21} = 81,54 \text{ кДж/кг_вл.}$$

3. Втрати в навколишнє середовище:

$$Q_3 = q_{\text{п}} = 22,6 \text{ кДж/кг_вл.}$$

$$\sum Q_{\text{в}} = 11186,35 + 81,54 + 22,6 = 11290,49 \text{ кДж/кг_вл.}$$

Тепловий баланс сушарки, виходячи з формули 2.2.26:

$$\Delta Q = \left| \frac{11622,25 - 11290,49}{11622,25} \right| \cdot 100\% = 2,85\% < 5\%$$

Таким чином, розбіжність балансу знаходиться в допустимих межах [9, ст. 448].

Оскільки взимку необхідна кількість повітря більша, ніж влітку, то подальші розрахунки будуть вестись для зимніх умов.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

2.3 КОНСТРУКТИВНІ РОЗРАХУНКИ

Формули для розрахунку взяті з джерела [8].

Основні розміри вибираються відповідно до об'єму сушильного простору:

$$V = V_{\Pi} + V_C \quad (2.3.1)$$

де V_{Π} – об'єм, який необхідний для прогріву вологого матеріалу до температури, при якій починається інтенсивність випаровування вологи (тобто до температури мокрого термометра);

V_C – об'єм, який необхідний для проведення процесу сушіння.

Об'єм, необхідний для прогріву матеріалу знаходиться за модифікованим рівнянням теплопередачі [6, ст. 165]:

$$\theta_{\Pi} = K_V \cdot V_{\Pi} \cdot \Delta t_{cp}; \quad (2.3.2)$$

де θ_{Π} - витрата тепла на прогрів матеріалу;

K_V - об'ємний коефіцієнт теплопередачі, $\text{кДж}/\text{м}^3 \cdot \text{К}$;

Δt_{cp} - середня різниця температур в зоні підігріву матеріалу, $^{\circ}\text{C}$.

Витрата тепла на прогрів матеріалу:

$$\theta_{\Pi} = G_K \cdot c_M \cdot (t_{M1} - \theta_1) + W \cdot c_B \cdot (t_{M1} - \theta_1) \quad (2.3.3)$$

$$\theta_{\Pi} = \frac{400}{3600} \cdot 103 \cdot (40 - 20) + \frac{20,21}{3600} \cdot 4190 \cdot (40 - 20) = 699,33 \text{ Дж/год}$$

де $t_{M1} = 40^{\circ}\text{C}$ – температура мокрого термометра, яка визначається по діаграмі Рамзіна.

c_M – теплоємність матеріалу при θ_1 , $\text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{гр}$;

θ_1 – початкова температура матеріалу, $^{\circ}\text{C}$;

G_K – продуктивність по готовому продукту, $\text{кг}/\text{год}$;

W – кількість випарюваної вологи, $\text{кг}/\text{год}$.

Швидкість газів в барабані рекомендується для полідисперсних матеріалів з частинками розміром від 0,3 до 2 мм і насипною щільністю $\rho_H = 1300 \text{ кг}/\text{м}^3$ і більше, приймати швидкість в інтервалі 2 – 5 м/с. Приймаємо $\omega = 3 \text{ м}/\text{с}$.

Середня густина газів в барабані:

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$\rho_{cp} = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + t_{cp}} \quad (2.3.4)$$

де $t_{cp} = \frac{110+75}{2} = 92,5^{\circ}\text{C}$ – середня температура повітря в барабані;

M – молярна маса повітря, г/моль.

$$\rho_{cp} = \frac{29}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 92,5} = 0,967 \text{ кг/м}^3$$

Частота обертання барабана зазвичай не перевищує 5-8 об/хв. Приймаємо $n = 5$ об/хв. Ступінь заповнення барабана залежить від конструкції перевалочних пристроїв. Приймаємо розподільчу конструкцію перевалочних пристроїв, тоді ступінь заповнення барабана $\beta = 20,6\%$.

Об'ємний коефіцієнт теплопередачі:

$$K_V = 16 \cdot (\omega \cdot \rho_{cp})^{0,9} \cdot n^{0,7} \cdot \beta^{0,54} \quad (2.3.5)$$

де ω – швидкість обертання барабану, м/с;

ρ_{cp} – середня густина газів, ρ_{cp} ;

n – частота обертів барабану, об/хв;

β – ступінь заповнення барабану.

$$K_V = 16 \cdot (3 \cdot 0,967)^{0,9} \cdot 5^{0,7} \cdot 20,6^{0,54} = 659,44 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$$

$$K_V = 659,44 \cdot 3,6 = 2373,98 \text{ Дж/м}^3 \cdot \text{К}$$

Визначення температури сушильного агента, до якої він охолоджується, нагріваючи матеріал до t_{M1}

З рівняння теплового балансу:

$$\theta_{\Pi} = (L \cdot c_{\Gamma} + L \cdot x_1 \cdot c_{\Pi}) \cdot (t_1 - t_x) = [L \cdot (c_{\Gamma} + x_1 c_{\Pi})] \cdot (t_1 - t_x); \quad (2.3.6)$$

де $c_{\Gamma} = 1,01$ кДж/кг · К – питома теплоємність повітря;

$c_{\Pi} = 1,97$ кДж/кг · К – питома теплоємність водяної пари;

t_x – температура сушильного агента, до якої він охолоджується;

L – масова витрата повітря, кг/год;

x_1 – вологовміст повітря на вході в сушарку, кг/кг;

t_1 – температура повітря на вході в сушарку, $^{\circ}\text{C}$.

Знаходимо значення t_x :

$$699,33 = [2083,651 \cdot (1,01 + 0,0027 \cdot 1,97)] \cdot (110 - t_x)$$

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_x = 109,7^\circ\text{C}$$

Середня різниця температур в зоні підігріву матеріалу:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{(t_1 - \theta_1) + (t_x - t_{M1})}{2} \quad (2.3.7)$$

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{(110 - 20) + (109,7 - 40)}{2} = 79,85^\circ\text{C}$$

Об'єм зони підігріву (виходячи з формули 2.3.2):

$$V_{\text{п}} = \frac{\theta_{\text{п}}}{K_V \cdot \Delta t_{\text{cp}}} \quad (2.3.8)$$

$$V_{\text{п}} = \frac{699,33}{2373,98 \cdot 79,85} = 0,004 \text{ м}^3$$

Об'єм, необхідний для проведення процесу сушіння з модифікованого рівняння масопередачі:

$$W = K'_V \cdot V_c \cdot \Delta x'_{\text{cp}} \quad (2.3.9)$$

де W - кількість води, яка випаровується при сушінні, кг/с;

K'_V - об'ємний коефіцієнт масопередачі, с^{-1} ;

$\Delta x'_{\text{cp}}$ - рушійна сила масопередачі, (середня різниця абсолютних вологостей повітря в зоні сушки), $\text{кг}_{\text{вл}}/\text{м}^3$.

Вважаємо, що в процесі сушіння видаляється поверхнева вологість, тобто процес протікає в першому періоді сушіння (характерно для кристалічних матеріалів). У цьому випадку $K_V = \beta_V$.

Середній парціальний тиск водяної пари в повітрі:

$$P_{\text{Пср}} = \frac{P_{\text{П1}} + P_{\text{П2}}}{2} \quad (2.3.10)$$

де $P_{\text{П1}} = \varphi_1 \cdot B = 0,004 \cdot 99308,5 = 397,234 \text{ Н/м}^2$ - парціальний тиск пари на вході в сушарку при $t \geq 100^\circ\text{C}$;

$P_{\text{П2}} = \varphi_2 \cdot P_{\text{нас}} = 0,05 \cdot 38553,3 = 1927,66 \text{ Н/м}^2$ - парціальний тиск на виході з сушарки.

$$P_{\text{Пср}} = \frac{397,234 + 1927,66}{2} = 1162,447 \text{ Н/м}^2$$

Коефіцієнт масопередачі:

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$\beta_V = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot (\omega \cdot \rho_{cp})^{0,9} \cdot n^{0,7} \cdot \beta^{0,54} \cdot \frac{B}{c_r \cdot \rho_{cp} \cdot (B - P_{Пcp})} \quad (2.3.11)$$

де ω – швидкість обертання барабану, м/с;

ρ_{cp} – середня густина газів, ρ_{cp} ;

n – частота обертів барабану, об/хв;

β – ступінь заповнення барабану;

$c_r = 1,01$ кДж/кг · К – питома теплоємність повітря;

B – атмосферний тиск, Н/м²;

$P_{Пcp}$ – середній парціальний тиск водяної пари в повітрі, Н/м².

$$\beta_V = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot (6 \cdot 0,967)^{0,9} \cdot 5^{0,7} \cdot 20,6^{0,54} \cdot \frac{99308,5}{1,01 \cdot 0,967 \cdot (99308,5 - 1162,447)}$$

$$= 1,29 \text{ 1/с}$$

$$K'_V = \beta_V = 1,29 \text{ 1/с}$$

Тиск насиченої пари над вологим матеріалом на початку і в кінці процесу сушіння (згідно до температур мокрого термометра):

$$t_{M1} = 40^\circ\text{C}; \quad P_{нас1} = 55,32 \cdot 133,3 = 7374,156 \text{ Н/м}^2;$$

$$t_{M2} = 39^\circ\text{C}; \quad P_{нас2} = 52,44 \cdot 133,3 = 6990,25 \text{ Н/м}^2$$

де $t_{M2} = 39^\circ\text{C}$ – температура мокрого термометра на виході із зони сушіння [6, ст. 165].

Рушійна сила масопередачі:

$$\Delta x_{cp} = \frac{\Delta x_6 - \Delta x_M}{\ln \frac{\Delta x_6}{\Delta x_M}} = \frac{\Delta P_6 - \Delta P_M}{\ln \frac{\Delta P_6}{\Delta P_M}} \cdot \frac{M_{П} \cdot T_0}{22,4 \cdot B \cdot (T_0 + t_{cp})} \quad (2.3.12)$$

де:

$$\Delta P_6 = P_{нас1} - P_{П1} \quad (2.3.13)$$

$$\Delta P_6 = 7374,156 - 397,234 = 6976,922 \text{ Н/м}^2$$

$$\Delta P_M = P_{нас2} - P_{П2} \quad (2.3.14)$$

$$\Delta P_M = 6990,25 - 1927,66 = 5062,59 \text{ Н/м}^2$$

$$\Delta x_{cp} = \frac{6976,922 - 5062,59}{\ln \frac{6976,922}{5062,59}} \cdot \frac{29 \cdot 273}{22,4 \cdot 99308,5 \cdot (273 + 92,5)} = 0,058 \text{ кг/м}^3$$

Об'єм, необхідний для проведення процесу сушіння:

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк. 25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_c = \frac{W}{K'_V \cdot \Delta x'_{cp}} \quad (2.3.15)$$

де W - кількість вологи, яка випаровується при сушінні, кг/с;

K'_V - об'ємний коефіцієнт масопередачі, c^{-1} ;

$\Delta x'_{cp}$ - рушійна сила масопередачі, кг_вл/м³.

$$V_c = \frac{20,21}{1,29 \cdot 0,058} = 0,075 \text{ м}^3$$

Загальний об'єм сушильного барабана:

$$V = 0,004 + 0,075 = 0,079 \text{ м}^3$$

Приймаємо діаметр барабана $D_6 = 1$ м, а його довжину $L_6 = 6$ м. Тоді, об'єм барабану:

$$V_6 = \frac{L_6 \cdot \pi \cdot D^2}{4} \quad (2.3.16)$$

де L_6 – довжина барабана, м.

D - внутрішній діаметр барабана, м.

$$L_1 = \frac{6 \cdot 3,14 \cdot 1^2}{4} = 4,71 \text{ м}^3$$

Дійсна робоча швидкість в барабані:

$$\omega_d = \frac{L_{V_{BX}}}{0,785 \cdot D_6^2} \quad (2.3.17)$$

$$\omega_d = \frac{2319,1}{3600 \cdot 0,785 \cdot 1^2} = 0,82 \text{ м/с}$$

Перевірка робочої швидкості в барабані по унесенню найменших частинок:

В'язкість сушильного агенту при $t_{cp} = 92,5^\circ\text{C}$.

$$\mu_v = \mu_0 \cdot \frac{273 + c}{T + c} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (2.3.18)$$

де μ_0 – початкова в'язкість повітря, Па · с;

$c = 184$ – критерій Сатерленда;

T – температура, К.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$\mu_B = 17,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 164}{365,5 + 164} \cdot \left(\frac{365,5}{273}\right)^{\frac{3}{2}} = 22,12 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Критерій Архімеда для найменших частинок:

$$Ar = \frac{d_{min}^3 \cdot \rho_G \cdot \rho_T \cdot g}{\mu_B^2} \quad (2.3.19)$$

де d_{min} – мінімальний діаметр часток, м;

ρ_G – густина газу, кг/м³;

ρ_T – щільність матеріалу, кг/м³;

μ_B – в'язкість сушильного агенту, Па · с.

$$Ar = \frac{(0,5 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 0,967 \cdot 1300 \cdot 9,81}{(22,12 \cdot 10^{-6})^2} = 3150,5$$

Критерій Рейнольдса, відповідний швидкості вітанія:

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0,575 \cdot \sqrt{Ar}} \quad (2.3.20)$$

де Ar – критерій Архімеда.

$$Re = \frac{3150,5}{18 + 0,575 \cdot \sqrt{3150,5}} = 62,67$$

Швидкість унесення найменших частинок:

$$\omega_{ун} = \frac{Re \cdot \mu_B}{d_{min} \cdot \rho_{cp}} \quad (2.3.21)$$

$$\omega_{ун} = \frac{62,67 \cdot 21,75 \cdot 10^{-6}}{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,987} = 2,82 \text{ м/с}$$

Робоча швидкість в барабані менше швидкості виносу, а отже, барабанну сушарку підібрано вірно.

Визначимо середній час перебування матеріалу в сушарці:

$$\tau = \frac{G_M}{G_K + \frac{W}{2}} \quad (2.3.22)$$

де G_M – кількість матеріалу, що знаходиться в сушарці, кг;

G_K – продуктивність по готовому продукту, кг/с;

W – кількість випарюваної вологи, кг/с.

Кількість матеріалу, що знаходиться в сушарці:

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$G_M = V_G \cdot \beta \cdot \rho_M \quad (2.3.23)$$

де V_G - об'єм барабана, м³;

ρ_T – щільність матеріалу, кг/м³ ;

β – ступінь заповнення барабану.

$$G_M = 4,71 \cdot 0,206 \cdot 1300 = 1261,34 \text{ кг}$$

$$\tau = \frac{1261,34}{\frac{400}{3600} + \frac{20,21}{\frac{3600}{2}}} = 11072,3 \text{ с} \sim 184,5 \text{ хв}$$

Кут нахилу барабана:

$$\alpha' = \left(\frac{30 \cdot L_G}{d \cdot \pi \cdot \tau} + 0,007 \cdot \omega_d \right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (2.3.24)$$

$$\alpha' = \left(\frac{30 \cdot 6}{2 \cdot 3,14 \cdot 11072,3} + 0,007 \cdot 0,82 \right) \cdot \frac{180}{3,14} = 0,48^\circ < [\alpha'] = 0,5$$

Приймаємо кут нахилу, рівним 0,5°.

Уточнюємо число обертів барабану:

$$n = \frac{L}{\tau \cdot \text{tg } \alpha \cdot D} \quad (2.3.25)$$

де α - кут нахилу барабана, °;

τ - середній час перебування матеріалу в сушарці, хв;

D, L – діаметр та довжина сушарки, м;

$$n = \frac{6000}{184,5 \cdot \text{tg } 0,5 \cdot 1000} = 3,73 \text{ об/хв}$$

Потужність, яка необхідна для обертання барабану:

$$N = 0,078 \cdot D^2 \cdot L \cdot \rho_T \cdot \sigma \cdot n \quad (2.3.26)$$

де D, L – діаметр та довжина сушарки, м;

ρ_T – щільність матеріалу, кг/м³ ;

$\sigma = 0,053$ - коефіцієнт, що залежить від виду насадки;

n - частота обертання барабана, об/с.

$$N = 0,078 \cdot 1^2 \cdot 6 \cdot 1300 \cdot 0,053 \cdot \frac{3,73}{60} = 2 \text{ кВт}$$

За рекомендаціями стосовно розмірів барабану приймаємо потужність двигуна $N = 3,8$ кВт [6, табл. 10.1].

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

2.4 ВИБІР ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

При розрахунку сушарок треба вибрати вентилятор для подачі сушильного агенту і пилеуловлюючого пристрою. В даному випадку виконаємо розрахунок пилеуловлюючого пристрою. Для очищення сушильного агенту від пилу можна застосувати пилеосаджувальні циклони, електрофільтри, газові фільтри і гідравлічні пилоосаджувачі. Найбільше застосування отримали циклони, оскільки вони вловлюють тверді частинки з розмірами 100-3 мкм і мають хорошу ступінь очищення (85-45%).

Формули для розрахунку взяті з джерела [6].

2.4.1 Циклон

Вихідні дані для розрахунку:

продуктивність по сушильному агенту

$$V = \frac{L}{\rho_{\text{п}}} \quad (2.4.1)$$

де L – загальний об'єм повітря, кг/с;

$\rho_{\text{п}}$ – густина повітря, кг/м³.

$$Q_{\text{г}} = \frac{2083,651}{\frac{3600}{0,967}} = 0,598 \text{ м}^3/\text{с}$$

найменший діаметр вловлюємих частинок: $d_{\text{min}} = 0,01$ мм;

щільність твердих частинок $\rho_{\text{ТВ}} = 1300$ кг/м³;

початкова запиленість повітря $c_{\text{вх}} = 530 \cdot 10^{-3}$ кг/м³;

ККД фільтру $\eta = 0,85$;

швидкість газової суміші:

при вході в циклон: $\omega_{\text{вх}} = 20$ м/с;

у циклоні: $\omega_{\text{ц}} = 12$ м/с;

у вихідній трубі: $\omega_{\text{вих}} = 8$ м/с.

Орієнтовне значення діаметра циклону:

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\Gamma}}{\pi \cdot \omega_{\text{ВХ}}}} \quad (2.4.2)$$

де Q_{Γ} - продуктивність по сушильному агенту, м³/с;

$\omega_{\text{ВХ}}$ – швидкість при вході в циклон, м/с.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,598}{3,14 \cdot 20}} = 0,195 \text{ м}$$

Фактор розподілення в апараті:

$$\Phi_p = \frac{2 \cdot \omega_{\text{Ц}}^2}{g \cdot D_{\text{Ц}}} \quad (2.4.3)$$

де $\omega_{\text{Ц}}$ – швидкість у циклоні, м/с;

$D_{\text{Ц}}$ – діаметр циклону, м.

$$\Phi_p = \frac{2 \cdot 12^2}{9,81 \cdot 0,195} = 150,55$$

Теоретична швидкість в циклоні:

$$\omega_{\text{ос}} = \frac{d_{\text{min}}^2 \cdot (\rho_{\text{ТВ}} - \rho_{\text{П}}) \cdot g \cdot \Phi_p}{18 \cdot \mu_{\text{П}} \cdot \rho_{\text{П}}} \quad (2.4.4)$$

де d_{min} – найменший діаметр вловлюємих частинок, м;

$\rho_{\text{ТВ}}$ - щільність твердих частинок, кг/м³;

$\rho_{\text{П}}$ – густина повітря, кг/м³;

Φ_p – фактор розподілення;

$\mu_{\text{П}}$ – в'язкість повітря, Па · с.

$$\omega_{\text{ос}} = \frac{(10^{-5})^2 \cdot (1300 - 0,967) \cdot 9,81 \cdot 150,55}{18 \cdot 0,02175 \cdot 10^{-3} \cdot 0,967} = 0,507 \text{ м/с}$$

Зовнішній діаметр вихлопної труби:

$$d_{\text{Вих}} = 1,2 \cdot \sqrt{\frac{Q_{\Gamma}}{\omega_{\text{Вих}}}} \quad (2.4.5)$$

де Q – продуктивність по сушильному агенту, м³/с;

ω_{Γ} - дійсна швидкість в циклоні, м/с.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$d_{\text{вих}} = 1,2 \cdot \sqrt{\frac{0,598}{8}} = 0,328 \text{ м}$$

Уточнюємо діаметр циклону:

$$D_{\text{ц}} = \frac{d_{\text{вих}}}{1 - 10 \cdot \frac{\omega_{\text{ос}}}{\omega_{\text{ц}}}} \quad (2.4.6)$$

де $d_{\text{вих}}$ - зовнішній діаметр вихлопної труби, м;

$\omega_{\text{ос}}$ - теоретична швидкість в циклоні, м/с;

$\omega_{\text{ц}}$ - швидкість у циклоні, м/с.

$$D_{\text{ц}} = \frac{0,328}{1 - 10 \cdot \frac{0,507}{12}} = 0,568 \text{ м}$$

Площа перерізу вхідного патрубка:

$$f_{\text{пер}} = \frac{Q_{\text{Г}}}{\omega_{\text{ВХ}}} \quad (2.4.9)$$

де $Q_{\text{Г}}$ - продуктивність по сушильному агенту, м³/с;

$\omega_{\text{ВХ}}$ - швидкість при вході в циклон, м/с.

$$f_{\text{пер}} = \frac{0,598}{20} = 0,0299 \text{ м}^2$$

При ширині вхідного патрубка $b = 100$ мм, розрахуємо висоту патрубку прямокутної форми:

$$h = \frac{f}{b} = \frac{0,0299}{0,1} = 0,299 \text{ м}$$

Визначаємо гідравлічний опір циклону:

$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{\omega_{\text{ВХ}}^2 \cdot \rho_{\text{п}}}{2} \quad (2.4.10)$$

де $\zeta = 7$ - коефіцієнт місцевого опору циклону;

$\omega_{\text{ВХ}}$ - швидкість при вході в циклон, м/с;

$\rho_{\text{п}}$ - щільність повітря, кг/м³.

$$\Delta P = 7 \cdot \frac{20^2 \cdot 0,967}{2} = 1353,8 \text{ Па}$$

Кількість пилу, вловленого в апараті:

$$q = \eta \cdot c_{\text{ВХ}} \cdot Q_{\text{Г}} \quad (2.4.11)$$

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

де $\eta = 0,85$ – ККД циклону;

$c_{\text{вх}}$ - початкова запиленість повітря, м³/кг ;

Q_{Γ} - продуктивність по сушильному агенту, м³/с.

$$q = 0,85 \cdot 530 \cdot 10^{-3} \cdot 0,598 = 0,269 \text{ кг/с}$$

Вихідна запиленість газу:

$$c_{\text{вих}} = c_{\text{вх}} \cdot (1 - \eta) \quad (2.4.12)$$

де $c_{\text{вх}}$ - початкова запиленість повітря, м³/кг ;

η - ККД циклону.

$$c_{\text{вих}} = 530 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 0,85) = 0,0795 \text{ кг/м}^3$$

2.4.2 Вентилятор

Потужність, споживана вентилятором:

$$N = \frac{V \cdot \Delta P}{1000 \cdot \eta} \quad (2.4.13)$$

де V – подача вентилятора, м³/с;

ΔP – повний опір сушильної установки, Па;

η – ККД установки.

$$V = \frac{L}{\rho} \quad (2.4.14)$$

де L – загальний об'єм повітря, кг/с;

$\rho_{\text{п}}$ – густина повітря, кг/м³.

$$V = \frac{2083,651}{\frac{3600}{0,967}} = 0,598 \text{ м}^3/\text{с}$$

Опір установки:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{мс}} + \Delta P_{\text{суш}} + \Delta P_{\text{ц}} + \Delta P_{\text{ск}} \quad (2.4.15)$$

де $\Delta P_{\text{тр}}$ - опір тертя повітропроводів, Па:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \quad (2.4.16)$$

$\Delta P_{\text{мс}}$ - місцеві опори, Па:

$$\Delta P_{\text{мс}} = \sum \zeta \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \quad (2.4.17)$$

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$\Delta P_{\text{суш}}$ – опір барабанної сушарки, Па;

$\Delta P_{\text{ц}}$ – опір циклону, Па;

$\Delta P_{\text{ск}}$ – швидкісний напір, Па.

У відповідності зі схемою сушильної установки приймаємо такі вихідні дані для розрахунку:

загальна довжина повітропроводу $l = 10$ м;

кількість засувок $n_3 = 2$ шт;

кількість відводів під кутом 90° $n_{\text{від}} = 2$ шт;

швидкість газів в трубопроводах $\omega_1 = 20$ м/с.

З рівняння витрати знаходимо діаметр повітропроводу між апаратами:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega_1}} \quad (2.4.18)$$

де V – подача вентилятора, м³/с;

ω_1 - швидкість газів в трубопроводах, м/с.

$$d = \sqrt{\frac{0,598}{0,785 \cdot 20}} = 0,195 \text{ м}$$

Уточнюємо швидкість руху повітряної суміші:

$$\omega = \frac{V}{0,785 \cdot d^2} \quad (2.4.19)$$

де V – подача вентилятора, м³/с;

d – діаметр трубопроводу, м.

$$\omega = \frac{0,598}{0,785 \cdot (0,195 - 0,04)^2} = 31,7 \text{ м/с}$$

Швидкісний напір:

$$\Delta P_{\text{ск}} = \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \quad (2.4.20)$$

де ω – швидкість руху повітряної суміші, м/с;

$\rho = 1,204$ – густина повітря при вході в калорифер, кг/м³.

$$\Delta P_{\text{ск}} = \frac{31,7^2 \cdot 1,204}{2} = 604,9 \text{ Па}$$

Величина критерія Re:

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu} \quad (2.4.21)$$

де ω – швидкість руху повітряної суміші, м/с;

$\rho = 1,204$ – густина повітря при вході в калорифер, кг/м³;

d - діаметр трубопроводу, м;

$\mu = 217,5 \cdot 10^{-6}$ Па · с – в'язкість повітря.

$$Re = \frac{31,5 \cdot 0,195 \cdot 1,204}{217,5 \cdot 10^{-6}} = 34002,6 > 10000$$

Значення коефіцієнта тертя:

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (2.4.22)$$

$$\lambda = \frac{0,316}{34002,6^{0,25}} = 0,0233$$

Для відводів під кутом 90° і засувок знаходимо, що $\zeta_1 = \zeta_2 = 0,15$, отже:

$$\Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{мс}} = \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \cdot \left(\lambda \cdot \frac{l}{D} + \sum \zeta \right) \quad (2.4.23)$$

$$\Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{мс}} = \frac{31,7^2 \cdot 1,204}{2} \cdot \left(0,0165 \cdot \frac{10}{0,195} + 2 \cdot 0,15 \right) = 693,36 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{ц}} = 1353,8 \text{ Па}$$

Повний опір сушильної установки:

$$\Delta P = 1353,8 + 693,36 = 2047,16 \text{ Па}$$

При ККД вентилятора $\eta = 0,65$ необхідна потужність:

$$N = \frac{0,598 \cdot 2047,16}{1000 \cdot 0,65} = 1,89 \text{ кВт}$$

Приймаємо вентилятор В-Ц14-46-5К-02, для якого:

продуктивність – 3,67 м³/с,

напір – 2360 Па;

ККД – 0,71.

Цей вентилятор живить двигун марки АО2-61-4 з потужністю 13 кВт та з ККД 0,88 [8, ст. 15].

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

3. РОЗРАХУНОК АПАРАТУ НА МІЦНІСТЬ І ГЕРМЕТИЧНІСТЬ

3.1 ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

З огляду на те, що висушуваний продукт не відноситься до хімічно активних речовин, для конструкції барабанної сушарки і її елементів застосовуємо матеріал - сталь 20. 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 табл. 3.1.1 [10].

Таблиця 3.1.1 - Хімічний склад і механічні властивості сталі 20.

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	As, %	S, %	P, %	E·10 ⁵ 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

Бандажі виготовляються зі сталі 40 або 45Л, як правило, прямокутної форми в поперечному перерізі. Упорні і опорні ролики зазвичай відливають з чавуну СЧ 18 - 36 або СЧ 21 - 40 тому, що нерівноміцність роликів і бандажа призводить до більш прискореного зносу роликів, які простіше і дешевше виготовити, ніж бандажі.

Вінець або вінцеву шестерню зазвичай виготовляють зі сталі 35Л. Ця шестерня складається з двох полувінців, що з'єднуються між собою конічними болтами.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

3.2 ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ СТІНКИ БАРАБАНА

Формули для розрахунків взяті з джерела [11].

При розрахунку сушарного барабана необхідно визначити товщину стінки і прогин барабана. Барабан розглядається як балка, вільно лежить на двох опорах. Вага барабана, насадки, бандажів, що завантажуються і ізоляції являє собою рівномірно розподілене навантаження на довжині барабана, вага вінцевої шестерні - зосереджену силу.

Товщину стінки барабана вибирають по каталогу або попередньо розрахувавши за емпіричною формулою:

$$\delta = (0,007 \dots 0,011) \cdot D_{\text{б}} \quad (3.2.1)$$

де $D_{\text{б}}$ – діаметр барабану, м.

$$\delta = (0,007 \dots 0,011) \cdot 1,0 = 0,007 \dots 0,011 \text{ м}$$

приймаємо $\delta = 10 \text{ мм}$.

Маса матеріалу в сушарному барабані:

$$G_{\text{м}} = 0,785 \cdot D^2 \cdot L_{\text{б}} \cdot \beta \cdot \rho_{\text{м}} \quad (3.2.2)$$

де $D_{\text{б}}$ – діаметр барабану, м;

$L_{\text{б}}$ – довжина барабану, м;

β – коефіцієнт заповнення барабану;

$\rho_{\text{м}}$ – густина матеріалу, кг/м^3 .

$$G_{\text{м}} = 0,785 \cdot 1^2 \cdot 6 \cdot 0,207 \cdot 1300 = 1267,5 \text{ кг}$$

Маса барабану:

$$G_{\text{бар}} = \pi \cdot D^2 \cdot \delta \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot L_{\text{б}} \quad (3.2.3)$$

де $D_{\text{б}}$ – діаметр барабану, м;

$L_{\text{б}}$ – довжина барабану, м;

δ – товщина стінки, м;

$\rho_{\text{м}}$ – щільність сталі, кг/м^3 .

$$G_{\text{бар}} = 3,14 \cdot 1^2 \cdot 0,01 \cdot 7850 \cdot 6 = 1478,9 \text{ кг}$$

Сумарне навантаження:

$$P = g \cdot (G_{\text{бар}} + G_{\text{м}}) \quad (3.2.4)$$

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$P = 9,81 \cdot (1267,5 + 1478,9) = 26942,184 \text{ Н} \approx 0,027 \text{ МН}$$

Питоме навантаження на довжині барабана:

$$q = \frac{P}{L_6} \quad (3.2.5)$$

де P – сумарне навантаження, Н;

L_6 - довжина барабану, м.

$$q = \frac{0,027}{6} = 0,0045 \text{ МН/м}$$

Відстань між опорами:

$$l_0 = 0,586 \cdot L_6 = 0,586 \cdot 6 = 3,516 \text{ м}$$

Згинальний момент від рівномірно розподіленого навантаження:

$$M_1 = \frac{q \cdot l_0^2}{8} \quad (3.2.6)$$

де q - питоме навантаження на довжині барабана, МН/м;

l_0 - відстань між опорами, м.

$$M_1 = \frac{0,0045 \cdot 3,516^2}{8} = 0,007 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Для діаметру барабана $D = 1$ м вага вінцевої шестерні:

$$P_{\text{вінц}} = 8000 \text{ Н}$$

Згинальний момент від зосередженого навантаження вінцевої шестерні:

$$M_2 = \frac{P_{\text{вінц}} \cdot l_0}{4} \quad (3.2.7)$$

де $P_{\text{вінц}}$ - вага вінцевої шестерні, Н;

l_0 - відстань між опорами, м.

$$M_2 = \frac{8000 \cdot 3,516}{4} = 7032 \text{ Н} \cdot \text{м} = 0,007 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Сумарний згинальний момент:

$$\sum M_{\text{и}} = M_1 + M_2 = 0,007 + 0,007 = 0,014 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Крутний момент на барабані:

$$M_{\text{кр}} = \frac{N}{2 \cdot \pi \cdot n} \cdot 10^{-3} \quad (3.2.8)$$

де N – потужність двигуна сушарки, Вт;

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

n – число обертів, об/с.

$$M_{кр} = \frac{3,8 \cdot 10^3 \cdot 60}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,73} \cdot 10^{-6} = 0,01 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Розрахунковий (наведений) момент:

$$M_p = 0,35 \cdot \sum M_{и} + 0,65 \cdot \sqrt{\sum M_{и}^2 + M_{кр}^2} \quad (3.2.9)$$

де $M_{кр}$ - крутний момент на барабані, МН · м;

$M_{и}$ - сумарний згинальний момент, МН · м.

$$M_p = 0,35 \cdot 0,014 + 0,65 \cdot \sqrt{0,014^2 + 0,01^2} = 0,016 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Момент опору перетину кільцевої стінки барабана:

$$W = 0,785 \cdot D_6^2 \cdot \delta \quad (3.2.10)$$

де D_6 – діаметр барабану, м;

δ – товщина стінки, м.

$$W = 0,785 \cdot 1^2 \cdot 0,01 = 0,00785 \text{ м}^3$$

Напруга в стінці барабана:

$$\sigma_{и} = \frac{M_p}{W} \quad (3.2.11)$$

де M_p - розрахунковий (наведений) момент, МН · м;

W - момент опору перетину кільцевої стінки барабана, м³.

$$\sigma_{и} = \frac{0,016}{0,00785} = 2,04 \text{ МН/м}^2 < [\sigma_{и}] = 5 \div 10 \text{ МН/м}^2$$

Кільцевий момент інерції стінки барабана:

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D + \delta)^3 \cdot \delta \quad (3.2.12)$$

де D_6 – діаметр барабану, м;

δ – товщина стінки, м.

$$I = \frac{3,14}{8} \cdot (1 + 0,01)^3 \cdot 0,01 = 0,014 \text{ м}^4$$

Для вуглецевої сталі модуль пружності: $E = 1,9 \cdot 10^5 \text{ МН/м}^2$.

Прогин барабану від рівномірно розподіленого навантаження:

$$f_1 = \frac{5 \cdot q \cdot l_0^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (3.2.13)$$

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

де q - питоме навантаження на довжині барабана, МН/м;

I - кільцевий момент інерції стінки барабана, м⁴;

E – модуль пружності, МН/м²;

l_0 - відстань між опорами, м.

$$f_1 = \frac{5 \cdot 0,0045 \cdot 3,516^4}{384 \cdot 1,9 \cdot 10^5 \cdot 0,014} = 0,034 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Прогин під дією сили ваги вінцевої шестерні:

$$f_2 = \frac{P_{\text{вінц}} \cdot l_0^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (3.2.14)$$

де $P_{\text{вінц}}$ - вага вінцевої шестерні, Н;

I - кільцевий момент інерції стінки барабана, м⁴;

E – модуль пружності, МН/м²;

l_0 - відстань між опорами, м.

$$f_2 = \frac{8000 \cdot 10^{-6} \cdot 3,516^3}{48 \cdot 1,9 \cdot 10^5 \cdot 0,014} = 0,027 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Загальний прогин:

$$\sum f = 0,034 \cdot 10^{-4} + 0,027 \cdot 10^{-4} = 0,061 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Допустимий прогин:

$$\sum f < [f] = 0,0003 \cdot l_0 \quad (3.2.15)$$

$$0,061 \cdot 10^{-4} \text{ м} < [f] = 0,0003 \cdot 3,516 = 10,548 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

тобто умова жорсткості барабана виконується.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ОПОРНОГО БАНДАЖА СУШАРКИ

Формули для розрахунків взяті з джерела [11].

Бандажі служать для передачі тиску від ваги барабана і завантаженого в нього матеріалу на опорні ролики. Бандажі представляють собою кільця прямокутного або коробчастого перетину. Для барабанів з $D > 1,0$ м найчастіше застосовують вільне кріплення бандажів, які надягають на чавунні або сталеві черевики. Башмаки повернені наполегливими головками в різні боки для попередження осьового зсуву бандажа.

Реакцію опорного ролика визначаємо за формулою:

$$R_p = \frac{(P + P_{\text{вінц}}) \cdot \cos \alpha}{2 \cdot z \cdot \cos \frac{\varphi}{2}} \quad (3.3.1)$$

де P – вага барабану, Н;

$P_{\text{вінц}}$ – вага шестерні, Н;

α – кут нахилу барабану, °;

z – число бандажів, приймаємо 2;

$\varphi = 60^\circ$ – кут між опорними роликами.

$$R_p = \frac{(26942,184 + 8000) \cdot \cos 0,5^\circ}{2 \cdot 2 \cdot \cos \frac{60^\circ}{2}} = 10086,56 \text{ Н} = 0,01 \text{ МН}$$

Діаметр опорного ролика:

$$d_p = \frac{D}{3 \dots 4} = \frac{1000}{3 \dots 4} = 250 \dots 333 \text{ мм}$$

приймаємо $d_p = 300$ мм.

Приймаємо число черевиків (парне число): $n_6 = 8$.

Матеріал черевика і роликів - Сталь 45 Л, модуль пружності якої $E_1 = E_2 = 2 \cdot 10^5$ МПа, допустиме напруження на вигин $[\sigma_{\text{в}}] = 50$ МПа, допустиме контактне напруження $[\sigma_{\text{к}}] = 500$ МПа [8, ст. 256].

Кут між черевиками:

$$j = \frac{2 \cdot \pi}{n_6} \quad (3.3.2)$$

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$j = \frac{2 \cdot 3,14}{8} = 45^\circ$$

Число башмаків в одному квадранті:

$$n_{б1} = \frac{n_б - 2}{4} \quad (3.3.3)$$

де $n_б$ - число черевиків, шт.

$$n_{б1} = \frac{8 - 2}{4} = 1,5$$

приймаємо $n_{б1} = 2$

Сила, що діє на найнижчий черевик:

$$Q_0 = \frac{4 \cdot R_p}{n_б} \quad (3.3.4)$$

де R_p - реакція опорного ролика, кН;

$n_б$ - число черевиків, шт.

$$Q_0 = \frac{4 \cdot 10,09}{8} = 5,045 \text{ кН}$$

Сили, що діють на черевики за формулами [4]:

$$Q_1 = Q_0 \cdot \cos j = 5,045 \cdot \cos 45^\circ = 3,57 \text{ кН}$$

$$Q_2 = Q_0 \cdot \cos j = 5,045 \cdot \cos 90^\circ = 0 \text{ кН}$$

Розрахункові кути для визначення пар сил [4]:

$$\theta_0 = 180^\circ \quad \theta_1 = 135^\circ \quad \theta_2 = 90^\circ \quad \beta = 150^\circ$$

Середній радіус барабана:

$$D_{ср.б} = 1,2 \cdot D_з \quad (3.3.5)$$

де $D_з$ – зовнішній діаметр барабану, м.

$$D_{ср.б} = 1,2 \cdot (1 + 2 \cdot 0,01) = 1,224 \text{ м}$$

Тоді:

$$R_{ср} = \frac{D_{ср.б}}{2} \quad (3.3.6)$$

де $D_{ср.б}$ – середній діаметр барабану, м.

$$R_{ср} = \frac{1,224}{2} = 612 \text{ мм} = 0,612 \text{ м}$$

Згинальний момент в місцях докладання зусиль за формулою [4]:

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$M_{o0} = -\frac{Q_0 \cdot R_{cp}}{2 \cdot \pi} \cdot \left(1 + \frac{1}{\cos \beta} - (\pi - \beta) \cdot \operatorname{tg} \beta\right) \quad (3.3.7)$$

де Q_0 - сила, що діє на найнижчий черевик, кН;

R_{cp} - середина барабану, м;

β – розрахунковий контент, °.

$$M_{o0} = -\frac{5,045 \cdot 0,612}{2 \cdot 3,14} \cdot \left(1 + \frac{1}{\cos 150} - (3,14 - 2,61) \cdot \operatorname{tg} 150^\circ\right) = -0,42 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{o1} = -\frac{Q_1 \cdot R_{cp}}{2 \cdot \pi} \cdot \left(1 + \frac{\cos \theta_1}{\cos \beta} - (\pi - \theta_1) \cdot \sin \theta_1 + (\pi - \beta) \cdot \cos \theta_1\right) \quad (3.3.8)$$

$$M_{o1} = -\frac{5,045 \cdot 0,612}{2 \cdot 3,14}$$

$$\cdot \left(1 + \frac{\cos 135^\circ}{\cos 150^\circ} - (3,14 - 2,355) \cdot \sin 135^\circ + (3,14 - 2,61) \cdot \cos 135^\circ\right)$$

$$= -0,436 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Сумарний вигинаючий момент в ключовому перетині:

$$\sum M_o = M_{o0} + M_{o1} = -0,42 - 0,436 = -0,856 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Ширина бандажа за формулою [4] при $D_{з.б.} > D_{ср.б.}$ ($D_{з.б.} = 1500$ мм):

$$b = 0,59^2 \cdot \frac{R_p \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot 2 \cdot (D_{н.б.} + d_p)}{[\sigma_k]^2 \cdot (E_1 + E_2) \cdot D_{н.б.} \cdot d_p} \quad (3.3.9)$$

$$b = 0,59^2 \cdot \frac{0,01 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot (1 + 0,3)}{500^2 \cdot (2 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^5) \cdot 1,0 \cdot 0,3} = 0,017 \text{ м} = 17 \text{ мм}$$

приймаємо $b = 100$ мм.

Висота перерізу бандажа:

$$h_6 = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{max}}{b \cdot [\sigma_{и}]}} \quad (3.3.10)$$

де $M_{max} = [M_{o1}]$ – максимальний згинальний момент, Н · м;

b – ширина бандажа, м;

$[\sigma_{и}]$ - допустиме напруження на вигин, МПа.

$$h_6 = \sqrt{\frac{6 \cdot 0,436 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 50 \cdot 10^6}} = 0,023 \text{ м} = 23 \text{ мм}$$

приймаємо $h_6 = 30$ мм.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

3.4 РОЗРАХУНОК УПОРНОГО РОЛИКА

Формули для розрахунків взяті з джерела [11].

Для реалізації кочення упорного ролика по скошеній бічній поверхні бандажа без прослизання вершина конічної поверхні ролика повинна знаходитися на осі барабана. При утримуванні барабана від сповзання на завзятий ролик діє складова сила тяжіння барабана:

$$A = (P + P_{\text{вінц}}) \cdot \sin \alpha \quad (3.4.1)$$

де P – вага барабану, Н;

$P_{\text{вінц}}$ – вага шестерні, Н;

α – кут нахилу барабану, °.

$$A = (328178,9 + 8000) \cdot \sin 0,5^\circ = 2933,68 \text{ Н} \approx 2,94 \text{ кН}$$

Середній діаметр бандажа:

$$D_{\text{ср.б}} = D_{\text{з.б.}} - h_{\text{б}} \quad (3.4.2)$$

де $D_{\text{з.б.}}$ – зовнішній діаметр бандажа, мм;

$h_{\text{б}}$ – висота перерізу бандажа, мм.

$$D_{\text{ср.б}} = 1500 - 50 = 1450 \text{ мм}$$

Кут γ при вершині конуса упорного ролика:

$$\frac{\gamma}{2} = \arctg \frac{D_{\text{ур}}}{D_{\text{ср.б}}} \quad (3.4.3)$$

де $D_{\text{ур}} = 300$ мм - середній діаметр упорного ролика прийнятий по нормалям.

$$\frac{\gamma}{2} = \arctg \frac{300}{1450} = 11,69^\circ$$

Сила T , нормальна до бічної поверхні ролика:

$$T = \frac{A}{\cos \frac{\gamma}{2}} \quad (3.4.4)$$

де A – складова сила тяжіння барабана, кН;

$\frac{\gamma}{2}$ - при вершині конуса упорного ролика, °.

$$T = \frac{2,94}{\cos 11,69^\circ} = 3 \text{ кН}$$

Контактні напруги матеріалу упорного ролика:

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$\sigma_k = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{T \cdot E}{D_{\text{уп}} \cdot \frac{D_{\text{ср.б}}}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}} \quad (3.4.5)$$

де T - нормальна до бічної поверхні ролика, кН;

E – модуль пружності для сталі 45Л;

$D_{\text{уп}}$ - середній діаметр упорного ролика прийнятий по нормаллям;

$D_{\text{ср.б}}$ - середній діаметр бандажа, м;

$\frac{\gamma}{2}$ - при вершині конуса упорного ролика, °.

$$\sigma_k = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^5}{0,3 \cdot \frac{1,45}{2} \cdot \sin 11,69}} = 48,77 \text{ МПа}$$

при допустимому значенні $[\sigma_k] = 500 \text{ МПа}$ для Сталі 45Л. Отже, умова контактної міцності $\sigma_k < [\sigma_k]$ виконується.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

4. МОНТАЖ И РЕМОНТ АПАРАТУ

4.1. МОНТАЖ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ

Цей розділ базується на джерелі [12].

Монтаж барабанної сушарки зазвичай виконують відповідно до проекту виконання робіт. Але при будь-яких методах монтажу рекомендується наступна послідовність виконання робіт:

- установка і вивірка опорної і опорно-упорної конструкцій;
- насадка бандажів на секції корпусу сушильного барабана;
- установка першої та другої секцій корпусу на опорні ролики їх стикування і зварювання;
- установка і центрування вінцевої шестерні;
- установка моторно-редукторної групи і центрування вінцевої шестерні з вінцевим колесом;
- установка секторного і стрічкового ущільнень;
- підготовка сушильного барабана до обкатки, обкатка вхолосту і під навантаженням.

Опорну і опорно-упорну конструкції встановлюють на фундамент так, щоб поперечні і поздовжні ризики опорної рами збігалися з ризиками планок, забитих в тіло фундаменту. Вивірку їх відносно поздовжньої і поперечної осей корпусу барабана в плані виробляють за допомогою струни, натягнутої по поздовжньою віссю, і схилів. Вивірку по ухилу і горизонталі виконують за допомогою рівня, а по висоті - теодолітом. Положення опорних конструкцій при їх вивірці регулюють віджимними гвинтами до тих пір, поки виміри не покажуть, що конструкції встановлені з необхідною точністю. Встановлені опорні конструкції вивіряють до і після створення фундаментів рам.

Для насадки бандажів на секції корпусу сушильного барабана секції укладають на спеціальні підставки. Місця установки бандажів і упорних косинок розмічають згідно з кресленням.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Спочатку приварюють чотири косинки до насадки бандажів на корпус, а інші чотири - після насадки бандажів. Перед насадкою бандажа перевіряють зазор між бандажем і підбандажної обичайкою шляхом заміру внутрішнього діаметра бандажа і зовнішнього діаметра підбандажної обичайки. Одержаний зазор заповнюють плитами і прокладками згідно з кресленням заводу-виготовлювача. Бандаж за допомогою крана надягають на кінець підбандажної секції.

Укладання підбандажної підкладки і установку між ними дерев'яних розпірок роблять, в першу чергу, в нижній частині бандажа. Після укладання підкладок внизу корпус опускають і укладають підкладку у верхній частині бандажа. Бандаж тимчасово закріплюють на корпусі за допомогою бічних упорних косинок, а підкладні листи і підкладки прихоплюють електрозварюванням. Заміри температурних зазорів між бандажем і підкладками обов'язково заносять в акт.

Для укладання секцій корпусу зі встановленими на них бандажами спочатку встановлюють за допомогою автокрана тимчасову металеву опору в місці стику монтованих секцій і електролебідку, необхідну для повороту корпусу в процесі перевірки прямолінійності, зварювання монтажного стику і центрування вінцевої шестерні. Зазор між торцями секцій під зварювання забезпечується пластинками-фіксаторами відповідної товщини.

Прямолінійність корпусу перевіряють двічі: до зварювання монтажного стику і після зварювання. Для перевірки прямолінійності корпусу натягують струну на відстані не більше 500 мм від бічної поверхні бандажів паралельно осі корпусу. Відстані між бандажами і схилами, прикріпленими до струни, повинні бути рівними.

При перевірці правильності монтажу корпусу виміри виробляють чотири рази, повертаючи кожен раз корпус на 90° , для чого перед поворотом один з бандажів розділяють на чотири рівні частини, позначаючи 0, 90° , 180° і 270° . Результати вимірів заносять в спеціальний акт. Після отримання позитивних результатів перевірки прямолінійності корпусу можна приступати до зварювання монтажного стику.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Монтажний стик корпусу зварюють автоматичним зварюванням. Після закінчення зварювання монтажного стику приварюють підкладні листи бандажів до корпусу.

Для установки на корпус кілець жорсткості попередньо розмічають положення кілець і наполегливих куточків. Кільця жорсткості (з двох половин) встановлюють і стягують на корпусі монтажними шпильками, упорні куточки приварюють до корпусу, потім зварюють стики кілець жорсткості.

Після закінчення зварювання на гарячому кінці барабана встановлюють бронеплити.

Роботи з монтажу приводу включають: установку вінцевого колеса з підвінцевими листами і опорними стійками, установку вінцевої шестерні, редуктора і електродвигуна, змонтованих заводом-виробником на опорній рамі.

Вінцеве колесо встановлюють в такій послідовності. Спочатку збирають підвінцеві листи (ресори) з опорними стійками на постійних болтах. На корпусі сушильного барабана, згідно з проектом, відмічаються місця установки вінцевого колеса. У місцях прилягання стійок до корпусу зварні шви зачищають шліфувальною машинкою. Для установки і центрування шестерні виготовляють спеціальне пристосування, яке встановлюють на корпусі в чотирьох діаметрально протилежних точках.

За допомогою крана спочатку встановлюють нижню половину вінцевого колеса по розміченій осі корпусу. Половину колеса притискають до корпусу впритул і укладають на шпальну викладку. Потім встановлюють верхню половину колеса і з'єднують з нижньою постійними шпильками.

При центруванні колеса виміри виробляють через кожні 90° повороту корпусу. Після закінчення центрування встановлюють і приварюють опорні стійки до корпусу. Підготовлені набори підкладок укладають між колесом і підвінцевими листами.

Моторно-редукторну групу встановлюють на фундамент повністю зібраної на рамі, тому монтаж її полягає в відцентрування вінцевої шестерні з вінцем. Центрування виконують за допомогою двох однакових по товщині сталевих пластинок.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Положення вінцевої шестерні регулюють за допомогою віджимних гвинтів. Заміри проводять через кожні 90° повороту корпусу з вінцевим колесом. Після закінчення центрування раму приводу відливають бетонною сумішшю.

Результати вторинної перевірки центрування і зачеплення, виконаної після відливу, фіксують в акті, Одночасно перевіряють центрування редуктора з вінцевою шестернею і електродвигуна з редуктором, після чого на напівмуфтах, що з'єднують редуктор з електродвигуном, встановлюють електро-гідравлічне гальмо.

Завершальною монтажної операцією є установка ущільнень відповідно до робочих креслень. Секторні ущільнення регулюють за допомогою пружинних пристроїв. Ковзаючі поверхні змащують графітним мастилом.

Збірку і установку ущільнення роблять на холодному кінці сушильного барабана. Корпус ущільнення кріплять болтами до завантажувального пристрою.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

4.2. РЕМОНТ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ

Цей розділ базується на джерелі [13].

Швидкого зносу піддаються вкладиші підшипників роликів опор, ущільнювальні кільця, ролики, бандажі, вінцеве колесо. У місці подачі гарячих газів можливий прогар ділянки корпусу або деформація його внаслідок високих температур.

Поточний ремонт сушарки проводять через 720 годин протягом 6-16 год з трудозатратами 10-40 люд.-год. Середній ремонт проводять через 8640 год протягом 48-120 год при затратах 94-600 люд.-год. Капітальний ремонт проводять один раз в 3 роки (через 25920 год) протягом 96-360 год при затратах 230-1200 люд.-год.

Під час поточного ремонту проводять ревізію мастильної системи; перевіряють герметичність вузлів живлення сушарки і вивантаження готового продукту; оглядають газову топку (або калорифер); підтягують кріплення вузлів і деталей; оглядають привід сушарки.

При середньому ремонті сушарку частково розбирають, при цьому виконують роботи по ремонту або часткової заміни насадки, зміні роликів, заміні підшипників, кілець ущільнювачів. Проводять середній ремонт приводу: повертають або замінюють вінцеву шестерню, міняють масло в редукторі і, якщо потрібно, - окремі зношені деталі. Ремонтують футеровку барабана, регулюють обертання барабана.

Під час капітального ремонту повністю розбирають сушарку, замінюють ділянки обичайки, змінюють насадку, ремонтують або міняють бандажі, повертають або змінюють вінцеве колесо з вінцевою шестерню, ремонтують камеру спалювання (або калорифер), та футеровку. Барабан сушарки перевіряють на герметичність, центрують. Проводять капітальний ремонт приводу.

Бандажі. Термін їх служби досягає 15-20 років. Під час капітального ремонту деформовані бандажі проточують за допомогою переносного супорта. Якщо необхідна заміна бандажів, барабан піднімають, розрізають бандаж і

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

видаляють по частинах. Потім встановлюють новий в нагрітому стані або збирають його з двох - трьох частин з наступним зварюванням.

Опорні ролики. Поверхнева твердість роликів трохи нижче, ніж бандажів. Вони посаджені на вісь гарячої або пресової посадкою. Вкладиші підшипників роликів ремонтують при середньому ремонті, ролики періодично проточують по зовнішній поверхні, або, якщо їх діаметр зменшується до 80% від номінального, замінюють новими (в комплекті з валом).

Вінцева шестерня. Число зубів шестерень становить від 18 до 25 при модулі 24-30 мм. Шестерні змінюють при капітальному ремонті, а в окремих випадках і при середньому. Відновлення їх недоцільно, однак продовжити термін їх служби можна поворотом на 180°.

Вінцеве колесо. Вінець готують цільним або таким, що складається з двох половин, маса його досягає 4-6 т, термін служби 15-20 років. У міру зношування вінцеве колесо повертають на кут 180°. В окремих випадках роблять наплавку зубів за шаблоном на зібраному колесі. Наплавлений зуб повинен бути встановленим в горизонтальне положення, що досягається поворотом самого барабана. Фрезерування зубів після наплавлення можна проводити за допомогою переносного пристосування.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 ТОКСИЧНІСТЬ ГОТОВОГО ПРОДУКТУ

Цей розділ базується на джерелі [14].

Гідрохінон – токсична речовина, яка здатна то самозаймання. За класифікацією NFPA 704 має показники:

1. вогнебезпека – 1 (слід нагріти перед займанням, температура спалаху вище 93°C);

2. небезпека для здоров'я – 2 (інтенсивне або тривале, але не хронічний вплив може призвести до тимчасової втрати працездатності або можливим залишковим пошкодженням);

3. нестабільність – 1 (зазвичай стабільна речовина, але може стати нестійкою при підвищених температурі і тиску).

ГДК для аерозолі становить 2 мг/м³.

Може викликати ураження очей - кон'юнктивіт, і шкіри - дерматит. Потрапляння в організм веде до утворення метгемоглобіну, який у великій кількості викликає ціаноз. Симптоми можуть з'явитися через 2-4 години. Хімічні, фізичні та токсикологічні властивості ретельно вивчалися.

Рекомендовані засоби пожежогасіння: вода, піна, вуглекислий газ, сухий порошок.

Опис заходів першої допомоги:

1. при вдиханні – надати доступ до свіжого повітря та викликати лікаря.
2. при попаданні на шкіру - негайно зняти увесь забруднений одяг, промити шкіру водою/прийняти душ; отримати консультацію у лікаря.
3. при контакті з очима - промити великою кількістю води, та негайно викликати офтальмолога; зняти контактні лінзи (якщо є).
4. при попаданні в шлунок - негайно змусити потерпілого випити води (щонайменше дві склянки) та викликати лікаря.

Засоби індивідуального захисту:

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

1. Захист очей/обличчя. Використовувати обладнання для захисту очей, пройшло випробування щодо відповідності або EN 166 (ЄС). Припасовані захисні окуляри.

2. Захист шкіри. Матеріал - нітрильна гума, мінімальна товщина шару - 0,11 мм. Час порушення цілісності - 480 хв.

3. Захист дихальних шляхів. Рекомендований тип фільтра: Фільтр А- (P2)
Підприємець повинен гарантувати, що техобслуговування, очищення та перевірка пристроїв респіраторної захисту виконуються відповідно до інструкцій виробника.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

5.2 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ В СУШАРНОМУ ЦЕХУ

Цей розділ базується на джерелі [15].

У сушарному цеху адміністрація повинна дотримуватися таких вимог техніки безпеки і протипожежної техніки.

До роботи з обслуговування сушильних апаратів необхідно допускати осіб, які знають їх будову, правила технічної експлуатації та способи безпечного виконання робочих операцій. Коридори управління, лабораторія, топкові приміщення газових камер обладнують вентиляцією, що забезпечує підтримку температури не вище 25°C. Трубопроводи для підведення пари з зовнішньою температурою вище 60°C теплоізолюють, фланці з'єднань трубопроводів і калориферів захищають екранами.

Всі рухомі частини обладнання сушильних установок закривають огороженнями.

Сушильні апарати обладнують системою дистанційного контролю і управління процесом сушіння (або системою автоматичного регулювання). Організовується періодичне навчання персоналу правилам охорони праці і техніки безпеки. У цеху повинні бути обладнані санітарний пост і стенди з наочними посібниками з техніки безпеки.

Чергові сушарники, які заходять в кімнату з апаратом під час його роботи, забезпечуються спеціальними захисними костюмами.

При експлуатації барабанної сушарки необхідно виконувати такі протипожежні вимоги:

- регулярно прибирати всі допоміжні приміщення та сушильні камери, не допускати скупчення відходів і сміття;
- своєчасно змащувати підшипники у вентиляторів і електродвигунів щоб уникнути їх перегріву;
- не допускати застосування відкритого вогню (свічок, газових ліхтарів і паяльних ламп) і куріння в цеху;
- зварювальні роботи виконувати тільки з дозволу представників пожежної охорони.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

ВИСНОВКИ

В рамках бакалаврської роботи спроектована барабанна сушарка для виробництва гідрохінону продуктивністю по готовому продукту 400 кг/год.

Розглянуто теоретичні основи процесу сушіння та описано конструкцію барабанної сушарки. Описана технологія виробництва гідрохінону.

При розрахунку апарату враховані властивості використовуваного матеріалу для вибору режиму технологічного процесу. Виконано технологічні та конструктивні розрахунки, якими визначено показники теплообмінних і масообмінних процесів, а також основні конструктивні розміри апарату.

Розрахунком визначені основні розміри сушарки:

- внутрішній діаметр барабану, $D = 1000$ мм;
- довжина барабану, $L = 6000$ мм.
- товщина стінки барабану, $S = 10$ мм

Вибрано допоміжне обладнання у вигляді циклону та вентилятору, що забезпечує проведення технологічного процесу.

Здійснено вибір конструктивних матеріалів та проведені розрахунки на міцність за визначенням розмірів складових частин апарату для підтвердження його працездатності.

Розглянуто процеси монтажу та ремонту апарату.

Розглянуті питання охорони праці на виробництві гідрохінону.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Плановский А. Н., Рамм В. М., Каган С. З. Процессы и аппараты химической технологии. Москва, Химия, 1968, 848 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. – 754 с.
3. Прянишников Н. Д. Практикум по органической химии. — М.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1956. — 244 с.
4. ГОСТ 19627-74 Гидрохинон (парадиоксибензол). Технические условия
5. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – М.: Машиностроение, 1970. – 752с.
6. Соколов В. Н. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи. Ленинград, Машиностроение, 1982, 384 с.
7. Лебедев Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. 3-е изд., перераб. -М.: Химия, 1981 г. -608 с, ил.
8. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. Москва, Химия, 1983, 272 с.
9. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Ленинград, Химия, 1987, 576 с.
10. Марка стали 20 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://metallicheskiy-portal.ru/marki_metallov/stk/20.
11. Чечель П. С. Процессы и аппараты химической технологии. Киев, Высшая школа, 1974, 276 с.
12. Вольберг, Н. Е., Ряполов А. Ф. Монтаж химического оборудования общего назначения [Текст] / Н. Е. Вольберг, А. Ф. Ряполов. - Москва : Стройиздат, 1971, 254 с.
13. Боженков Н.В., Семенов К.Д. Ремонт и монтаж оборудования заводов переработки пластмасс и резины - М.: Химия, 1974. - 248 с.
14. Гидрохинон. Паспорт безопасности [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-3586-RU->

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

RU.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wzMjMzNTV8
YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oNDkvaDhmL
zg5Njc5NjAyMzE5NjYucGRmfDYxMzJiN2E4NGZkMzhiNGJiMmNlNWZhYTkw
MzZlNWZmN2FjOWQxMmU0YjM3MjNjY2OGMxYjk5YTkwZjA2NDc

15. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СУШКИ [Электронный ресурс] – Режим доступа до
ресурсу:

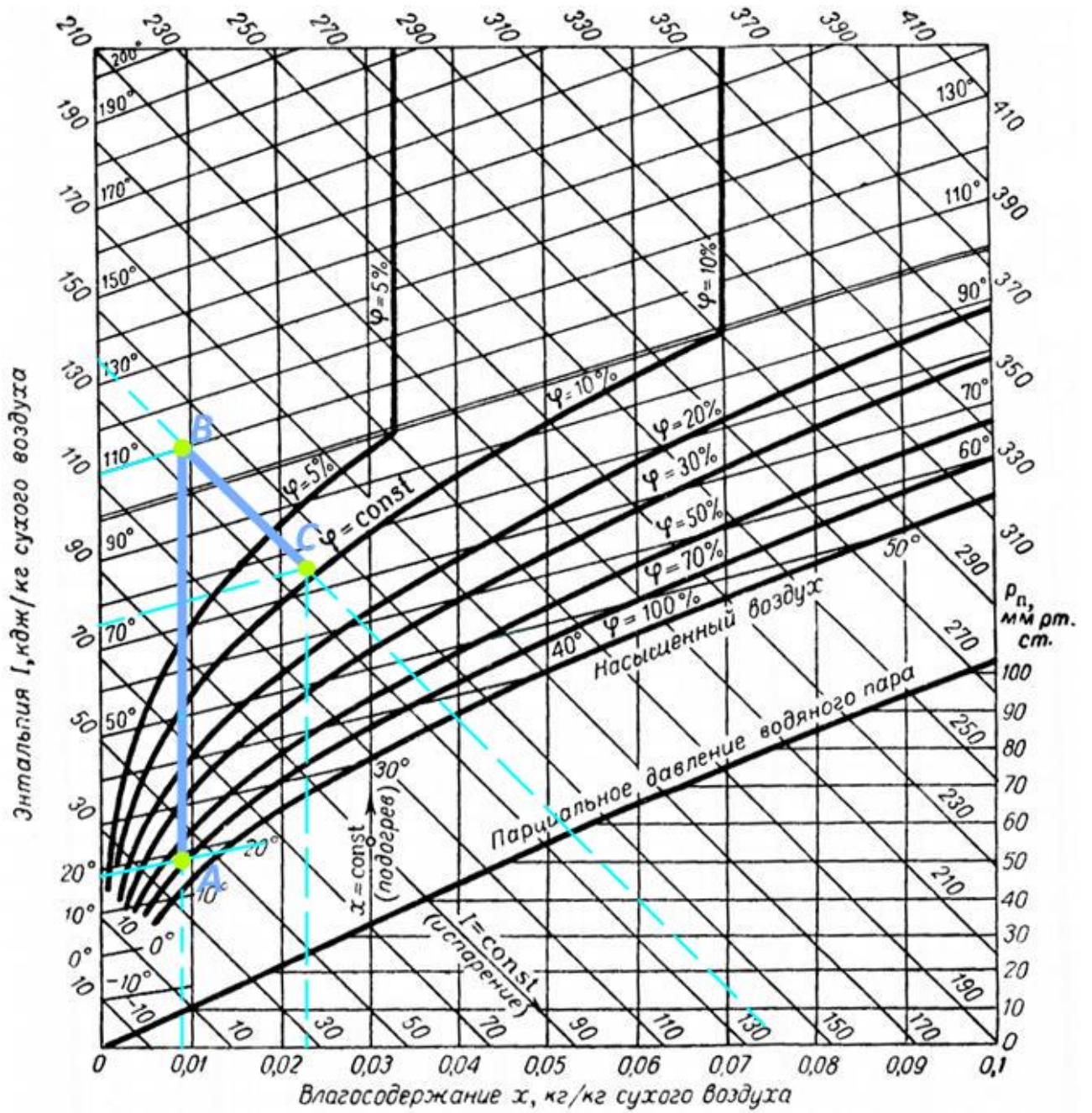
https://studref.com/327274/agropromyshlennost/pravila_tehniki_bezopasnosti_ekspluatatsii_oborudovaniya_sushki_drevesiny.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

ДОДАТКИ

Додаток А

I-x діаграма вологого повітря

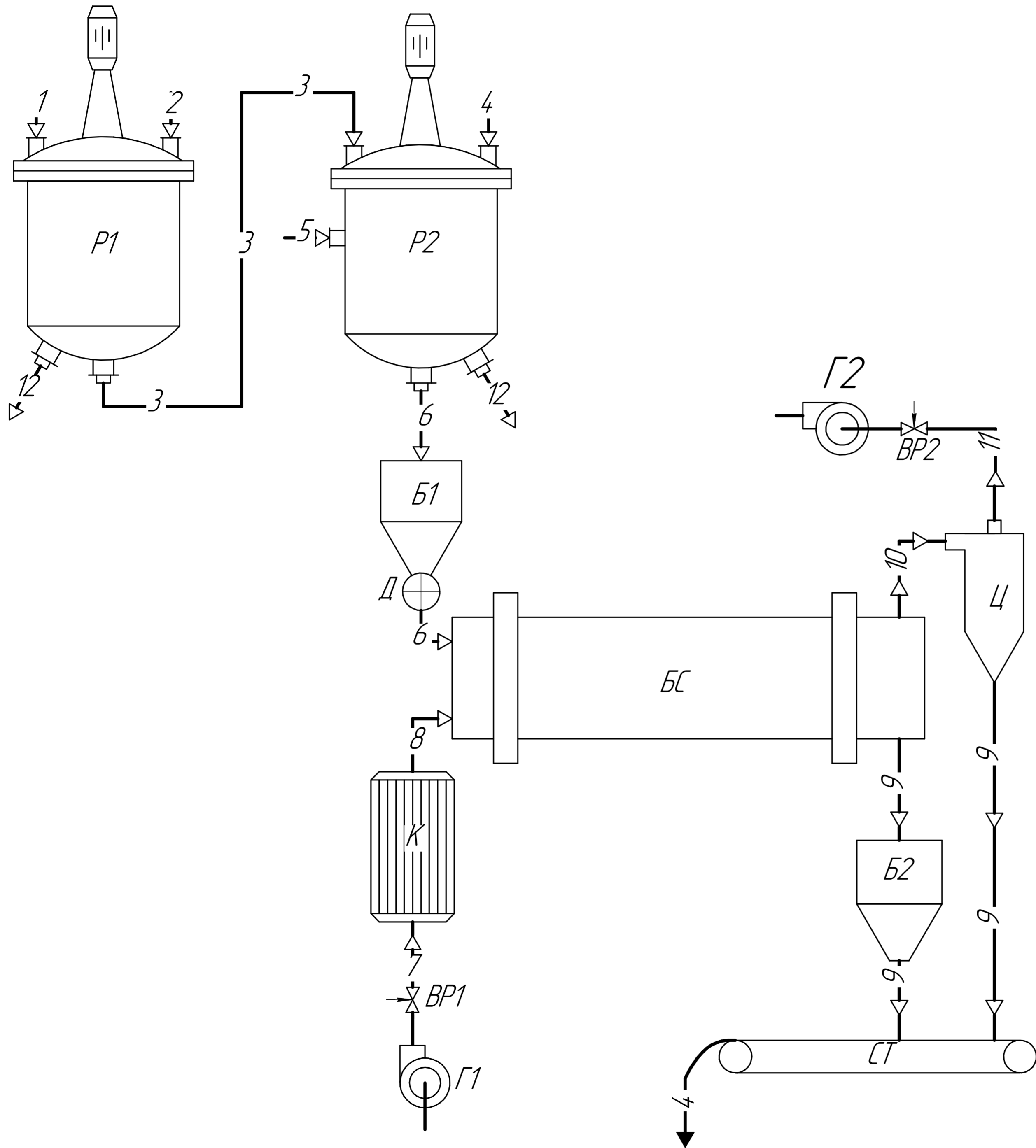


Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ

Арк.

57



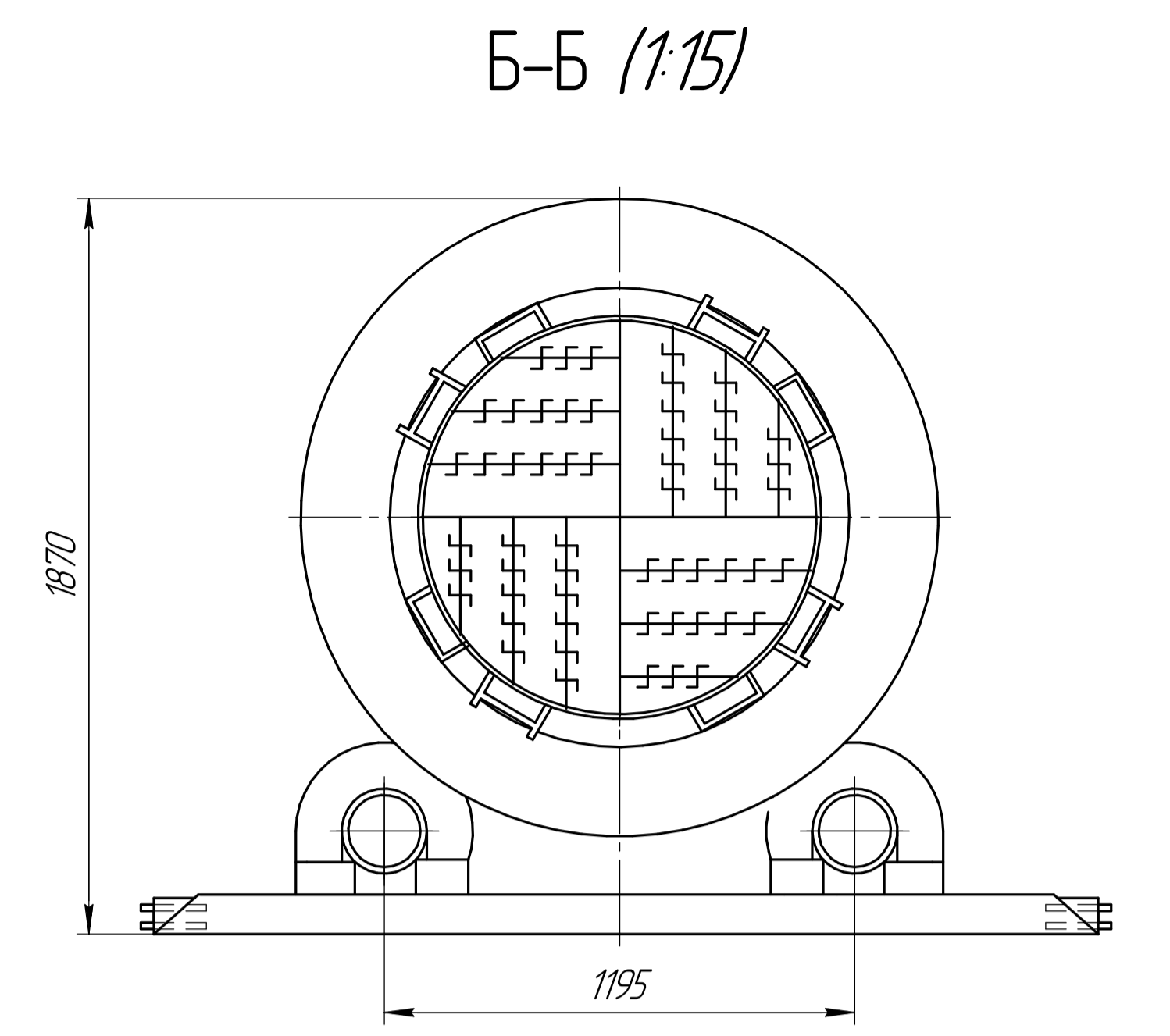
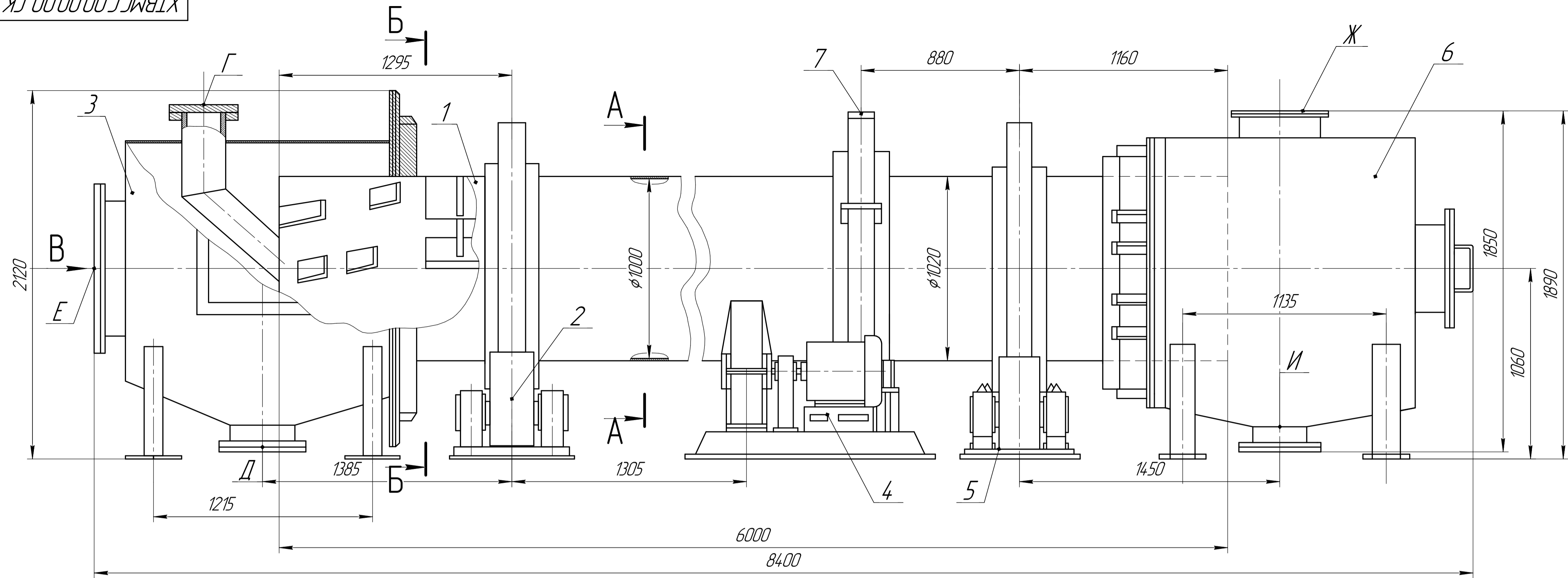
Умовне позначення	Назва середовища
-1-	Сірчаноокислий анілін
-2-	Двоокис марганцю
-3-	Проміжний продукт
-4-	Вода с порошкоподібним залізом
-5-	Гідросульфід натрію
-6-	Вологий продукт
-7-	Холодний тепловий агент
-8-	Гарячий тепловий агент
-9-	Готовий висушений продукт
-10-	Відпрацьований агент сушіння з частинками матеріалу
-11-	Очищений від пилу відпрацьований агент сушіння
-12-	Відходи

Позн.	Назва	Кіл.	Примітки
P1	Реактор отримання проміжного продукту	1	
P2	Реактор отримання гідрокінону	1	
BC	Барабанна сушарка	1	
K	Калорифер	1	
B1	Бункер вологого матеріалу	1	
B2	Бункер висушеного матеріалу	1	
Ц	Циклон	1	
Д	Дозатор	1	
CT	Стрічковий транспортер	1	
Г1-Г2	Газодувки	2	
BP1-BP2	Вентиль регулюючий	2	

ХТВМС.С.00.00.00 СЗ

Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Технологія виробництва гідрокінону Загальна схема			Лист	Маса	Масштаб
Разраб.	Череповський			4	-	-			
Проб.	Закусило			Лист	Листов	1			
Т.контр.				ШІСумДУ гр. ХМ-71ш					
Н.контр.				Копіровал					
Утв.				Формат А2					

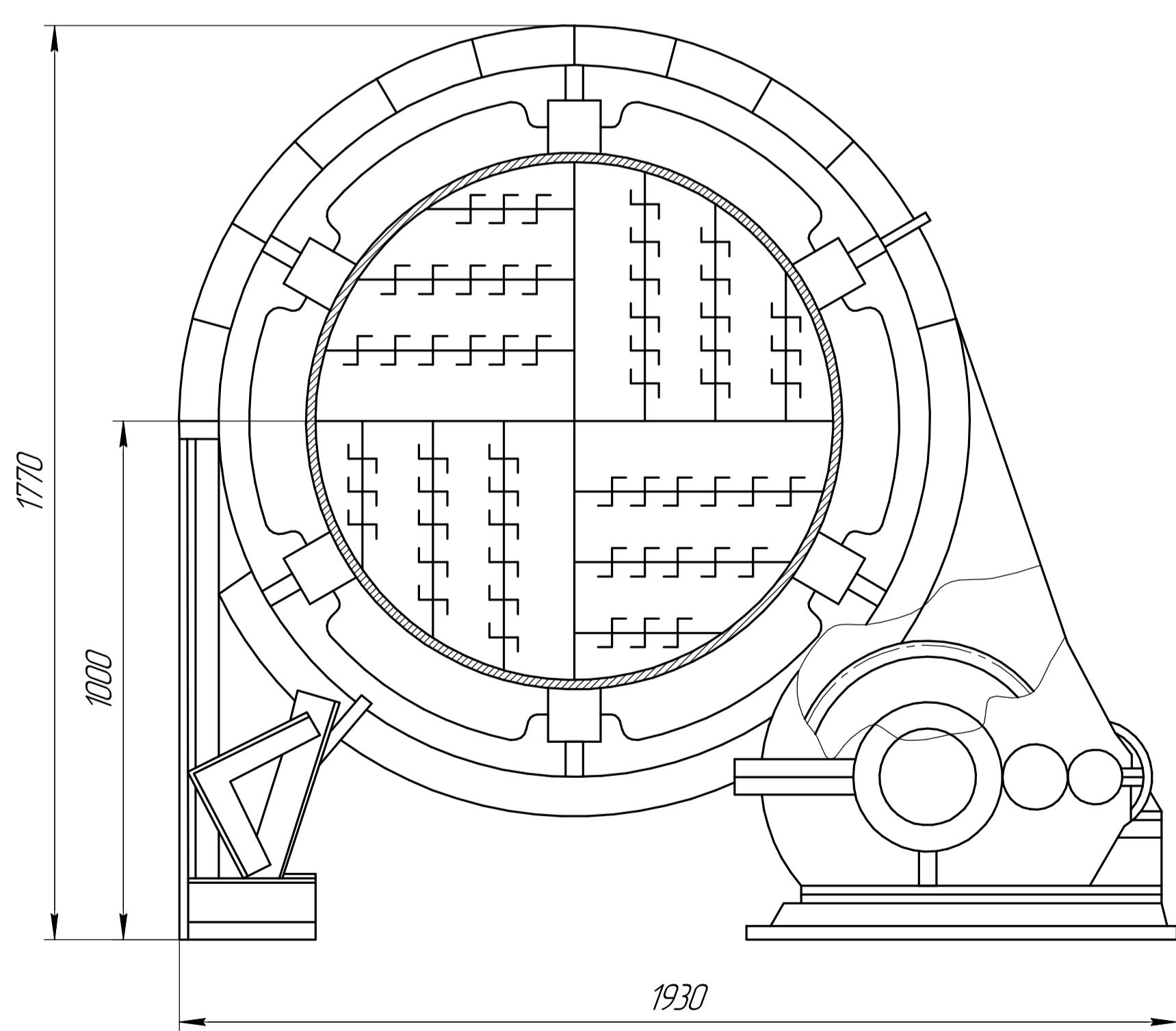
Перв. примен.
Спроб. №
Подп. и дата
Изм. № дробл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Изм. № подл.



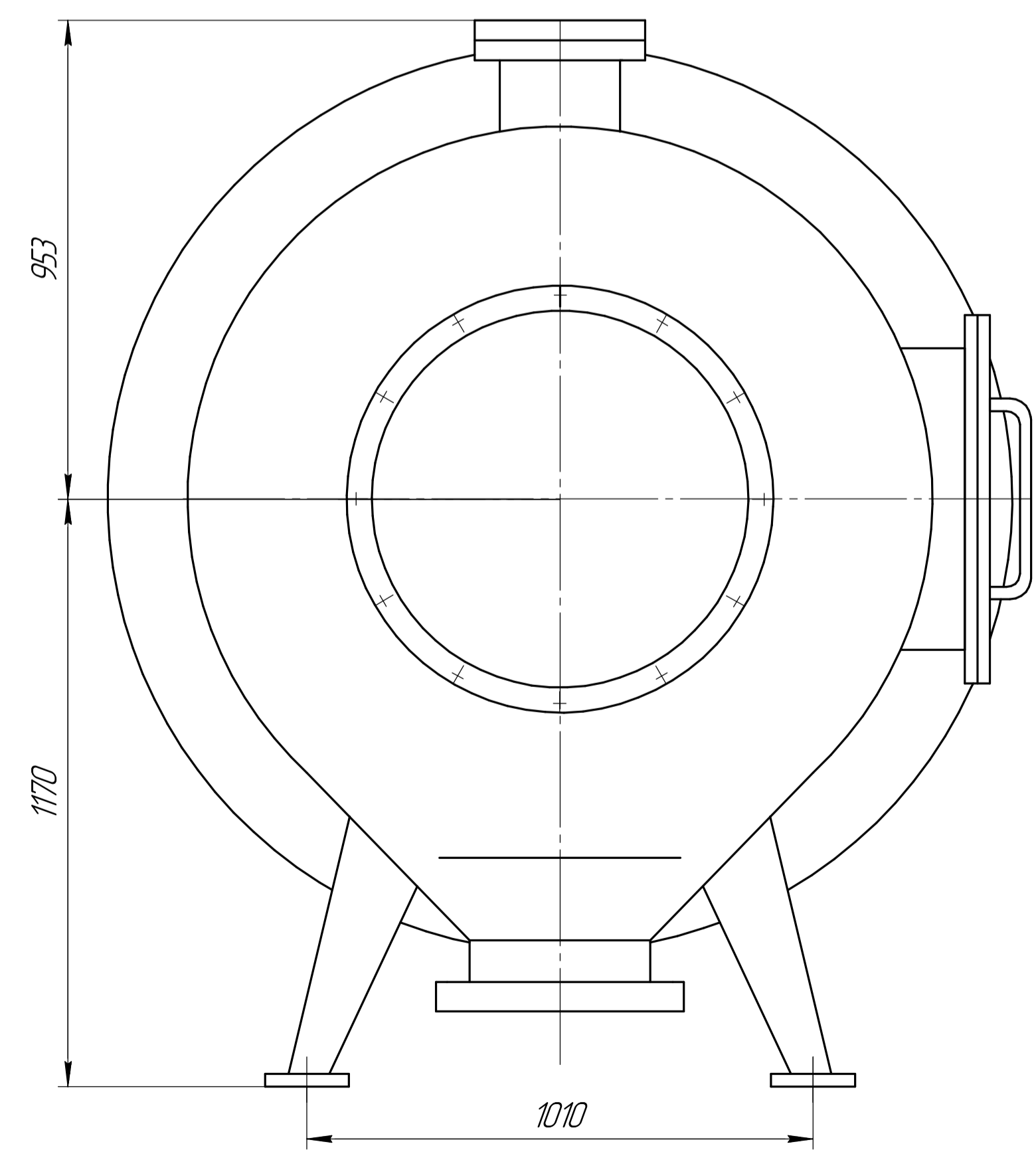
Таблиця штуцерів

Позн.	Назва	Кіл.	Умовний прохід D _н , мм
Г	Вхід матеріалу	1	180
Д	Вихід матеріалу	1	360x360
Е	Вхід теплоносія	1	750
Ж	Вихід теплоносія	1	450
И	Додатковий штуцер для виведення матеріалу	1	400x400

А-А (1:10)



Вид В (1:10)



Технічна характеристика

- | | |
|------------------------------|---|
| 1. Матеріал для сушіння | гідрохінон |
| 2. Продуктивність, кг/год | 400 |
| 3. Вологість матеріалу, % | W _н =5
W _к =0,2 |
| 4. Температура матеріалу, °C | t _п =20
t _к =40
температура агенти
t _н =110 |
| 5. Тепловий носій | повітря |

- Апарат виготовити згідно ДСТУ 3-17-191-2000 "Посудини та апарати сталеві. Загальні технічні умови" та ДНАОП 0.00-107-94 "Правила установки та безпечної експлуатації посудин, працюючих під тиском"
- Зварювальні шви повинні відповідати вимогам ОСТ 26.01-82-77 "Зварка у хімічному машинобудуванні"
- Апарат необхідно встановити під кутом 0,5°.

ХТВМС.С.00.00.00 СК				Лист	Маса	Масштаб
Взм. Лист	№ док.м.	Подп.	Дата	у	14,78	1:15
Разрад	Череповський			Лист		Листів 1
Проб.	Закусило			ШС/м/Д/У		
Т.контр.				гр. ХМ-71ш		
Н.контр.				Формат А1		
Утв.				Копіравал		

Лист № 1
Лист № 2
Лист № 3
Лист № 4
Лист № 5
Лист № 6
Лист № 7
Лист № 8
Лист № 9
Лист № 10
Лист № 11
Лист № 12
Лист № 13
Лист № 14
Лист № 15
Лист № 16
Лист № 17
Лист № 18
Лист № 19
Лист № 20
Лист № 21
Лист № 22
Лист № 23
Лист № 24
Лист № 25
Лист № 26
Лист № 27
Лист № 28
Лист № 29
Лист № 30
Лист № 31
Лист № 32
Лист № 33
Лист № 34
Лист № 35
Лист № 36
Лист № 37
Лист № 38
Лист № 39
Лист № 40
Лист № 41
Лист № 42
Лист № 43
Лист № 44
Лист № 45
Лист № 46
Лист № 47
Лист № 48
Лист № 49
Лист № 50