

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

Кафедра хімічної технології високомолекулярних сполук

Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"

Тема роботи: Виробництво димного пороху. Розробити сушарку-гранулятор киплячого шару для сушіння димного пороху продуктивністю 100 кг/годину на готовий порох.

Виконав:

студент групи ХМ-61ш-
7

 Закарлюка В. О.
прізвище та ініціали

Залікова книжка

№ 17080022

Захищений з оцінкою:

Керівник:

Закусило Р. В.

підпис

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра «Хімічна технологія високомолекулярних сполук»
Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи бакалавра

Студенту Закарлюка Владиславу Олександровичу.
Курс 4 Група ХМ-61ш-7 Семестр 8

1. Тема роботи: Виробництво димного пороху. Розробити сушарку-гранулятор киплячого шару для сушіння димного пороху продуктивністю 100 кг/годину на готовий порох.

2. Вихідні дані: Потужність сушарки-гранулятора – 100 кг/годину на готовий порох.

3. Перелік необхідного графічного матеріалу (аркуші А1):

<u>Технологічна схема</u>	<u>1,0 арк.</u>
<u>Складальне креслення апарату</u>	<u>1,0 арк.</u>
<u>Складальні одиниці</u>	<u>2,0 арк.</u>

4. Необхідна література:

1. Лыков М.В., Леончик Б.И. Распылительные сушилки. – М.: Машиностроение, 1966. – 331 с.

2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 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 2020 р.

7. Термін для здачі захисту 04 червня 2020 р.

Керівник Закусило Р. В.

ПІБ

підпис

ЗМІСТ

НАЗВА ЗАГОЛОВКУ	СТ.
РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	5
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	6
1.1 Опис технологічної схеми процесу	6
1.2 Теоретичні основи процесу	10
1.3 Опис об'єкта розробки і вибір конструкційних матеріалів	14
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ І АПАРАТУ	15
2.1 Матеріальний і тепловий баланси процесу	15
2.2 Технологічні розрахунки	25
2.3 Конструктивні розрахунки	29
2.4 Гідрравлічний опір сушарки	36
2.5 Вибір допоміжного обладнання	38
3. РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ АПАРАТУ	43
3.1 Визначення товщини стінки апарату	43
3.2 Фланцеві з'єднання	47
3.3 Розрахунок опор апарату	49
4. МОНТАЖ И РЕМОНТ АПАРАТУ	52
4.1 Монтаж апарату	52
4.2 Ремонт апарату	54
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	56
5.1 Характеристика продуктів по ступеню небезпеки, токсичності	56
5.2 Характеристика будівлі за ступенем вибухопожежонебезпечності	57
5.3 Правила по ТБ, заходи захисту від статичної електрики	58
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	61
ДОДАТОК А - ПРОЦЕС СУШІННЯ НА ДІАГРАМІ РАМЗІНА	62

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Кваліфікаційна робота бакалавра. Пояснювальна записка	Лит.	Арк.	Аркушів			
Розрабив	Закарлюка							3	62		
Перевірив	Закусило					ШІСумДУ гр. ХМ-61ш-7					
Реценз.											
Н. Контр.											
Затверд.											

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 62 с., 8 рис., 5 табл., 1 додаток, 7 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема установки, складальне креслення апарата, складальні креслення вузлів – усього 4 аркуші формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Виробництво димного порошу. Розробити сушарку-гранулятор димного порошу продуктивністю 100 кг/годину.

Наведено теоретичні основи та особливості процесу грануляції у виробництві димного порошу, виконані розрахунки матеріального і теплового балансів процесу, виконані технологічні розрахунки апарата, визначені його розміри, гідравлічний опір, обґрунтований вибір матеріалу для виготовлення апарата, розраховане і вибране допоміжне обладнання.

На ПЕОМ розрахована висота киплячого шару та мінімальний отвір сітки газорозподільної решітки.

Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи спроектованого апарата.

Ключові слова: АПАРАТ, ДИМНИЙ ПОРОХ, КИПЛЯЧИЙ ШАР, ГРАНУЛЯТОР, МОНТАЖ, РЕМОНТ, ПОЖЕЖОБЕЗПЕЧНІСТЬ.

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

ВСТУП

Димний порох є сумішшю сірки, вугілля і селітри. Димний порох використовується як запальник в зарядах, мисливський порох тощо.

Традиційно димний порох виготовляють за періодичною технологією. Процес складається переважно з ручних операцій, що проводяться через небезпеку в окремих приміщеннях.

Недоліками існуючої періодичної технології є, перш за все, небезпека операцій, що проводяться в присутності людей. Небезпека операцій вимагає розташування апаратів в окремих будівлях, переважно обвалованих. Норма завантаження приміщень через небезпеку невелика, тому виробництво вимагає дуже багато міжфазних перевезень на спеціально обладнаному транспорті. Втрачається час на вантажно-розвантажувальні операції.

Останні дослідження пропонують безперервну технологію виготовлення димного пороху в псевдозрідженому шарі з водною суспензією. Частина операцій проводиться у водному розчині, тому вони цілком безпечні. Кінцеві операції все одно небезпечні, але проводяться в дистанційному режимі. Ця технологія більш безпечна, проста, компонується в 1-2 будівлях, та вимагає менше часу на технологічний цикл.

Даний дипломний проект пропонує виробництво димного пороху за суспензійною технологією, що зробити процес більш безпечним і компактно скомпонувати виробництво. У ході дипломного проекту розраховується основний апарат – гранулятор киплячого шару.

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

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПРОЦЕСУ

Технологічна схема процесу приведена на рис. 1.1.

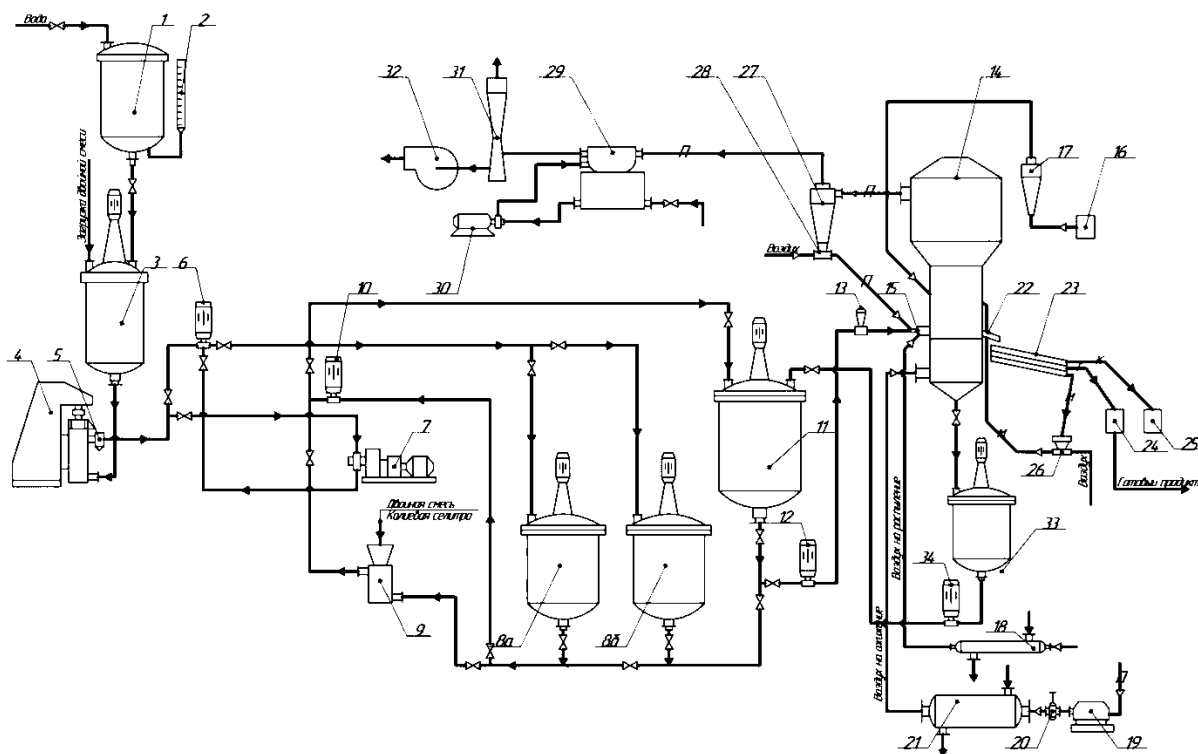


Рис. 1.1 – Технологічна схема виробництва димного порошу

1.1 Приготування суспензії подвійної суміші у воді

Приготування сірчано-вугільної суспензії здійснюється на безперервнодіючій установці. В реактор 3 з мірника 1а подається необхідна кількість води, вмикається мішалка реактора і завантажується подвійна суміш. Проводиться приготування суспензії подвійної суміші, по закінченні якого суспензія насосом 6 подається на бісерний млин 4. Режим приготування суспензії подвійної суміші у воді приведений у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Режим приготування суспензії подвійної суміші у воді

Найменування	Норма
Кількість води, л, не більш	80±5
Кількість подвійної суміші, кг (20%), не більш	20,0±0,5
Час приготування суспензії, год., не менш	0,5

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ

Арк.

6

1.2 Подрібнення подвійної суміші

Подрібнення подвійної суміші проводиться для досягнення однорідності і потрібної питомої поверхні компонентів (сірки і вугілля).

З бісерного млина 4 суспензія насосом 6 перекачується в реактор 8а або подається в реактор 8б.

У разі необхідності контролю однорідності суміші, або подрібнення частинок до більш дрібної фракції, після бісерного млина 4 подвійна суміш подається на додатковий кавітаційний млин 7.

Подрібнення подвійної суміші проводиться за режимом, приведеним в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Режим подрібнення подвійної суміші

Найменування показника	Норма
Кількість бісеру, кг	5,0±0,5
Діаметр бісеру, мм	2-5
Подача суспензії, л/год.	80-100
Питома поверхня подвійної суміші, см ² /г, не менш	8,5·10 ³

1.3 Приготування суспензії подвійної суміші в розчині селітри

Для забезпечення безперервної роботи установки гранулювання встановлені два реактори, (8а, 8б) що працюють по чергово. В реакторі 8 суспензія нагрівається до потрібної температури, після чого проводиться завантаження калієвої селітри. Селітра завантажується в реактор вручну. Селітра розчиняється у воді і проводиться приготування суспензії подвійної суміші в водяному розчині калієвої селітри, після чого суспензія насосом 9 подається в витратний реактор 11.

Режим приготування суспензії подвійної суміші в розчині селітри приведений в таблиці 1.3.

Витратний реактор 11 через насос 12 під'єднаний до циркуляційного контуру, по якому суспензія подається у відділення грануляції.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Таблиця 1.3 – Режим приготування робочої суспензії

Найменування показника	Норма
Температура суспензії, °С	80±5
Завантаження селітри в змішувач, кг	23,8±1
Час перемішування, год., не менш	0,5
Склад суспензії:	
Концентрація, %	50±5
По компонентам: селітра	73±1
сірка	11±1
вугілля	16±1
Завантаження підготовчого реактора суспензією подвійної суміші, л	40

1.4 Сушіння суспензії в апараті з псевдорозрідженим шаром (грануляція)

Первинний шар порошу завантажується в гранулятор 14 за допомогою пневмонасоса 17.

Після прогрівання первинного робочого шару порошу відкривається клапан витратного реактора, вмикають насос подачі суспензії в форсунку гранулятора 15.

З циркуляційного контуру суспензія через дозатор 14 подається на форсунку 15, в якій диспергується (вприскується) підігрітим стиснутим повітрям в середину шару з псевдозріджених порохових гранул. Порохові гранули в грануляторі 14 підтримуються в псевдозрідженому стані теплим повітрям, що подається вентилятором високого тиску 19. повітря підігрівається у теплообміннику 21.

Шляхом багаторазового зрошення гранул суспензією і подальшим сушінням здійснюється безперервний ріст гранул в грануляторі.

Порох з гранулятора по течії через віброживильник потрапляє в повітряно-прохідний класифікатор 23, де відділяється товарна фракція від дрібноти. Дрібна фракція по лінії пневмотранспорту повертається в гранулятор для подальшого нарощування шару.

Режим виготовлення гранульованого порошу приведений в таблиці 1.4.

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

Таблиця 1.4 – Режим процесу грануляції

Найменування показника	Норма
Маса первинного шару, кг	
Поліетилен	4-5
Порох	10-12
Температура повітря на форсунці, °С	75-110
Витрати повітря на форсунку, м ³ /год.	40-45
Температура повітря на псевдозрідження, °С	95-110
Витрати суспензії, л/год.	15-40
Температура суспензії, °С	75-85
Температура шару пороху, °С	45-60
Тиск повітря на ежекторі циклону, кгс/см ²	0,5-3,0
Витрати повітря на класифікатор, м ³ /год.	30-70

Товарна фракція подається в розподільний пристрій 36 і зсипається в мішки. Після заповнення мішків порохом проводиться короткочасна зупинка процесу грануляції і заміна мішків з порохом на порожні. Мішки з порохом перевозять в приміщення зберігання пороху.

Повітря, що виходить з гранулятора, обезпилюється в циклоні 27 і ежектором 28 повертається в гранулятор. Заключне обезпилювання повітря проводиться в мокрому фільтрі 29.

Очищене від пилу повітря хвостовим вентилятором 32 через ежектор 31 викидається в атмосферу.

Некондиційний порох розчиняється у воді в реакторі 33 і подається насосом 34 в розхідний реактор для корегування отриманої суспензії.

1.5 Змішування та пакування партій пороху

Змішування партій пороху здійснюється в барабані. Готовий порох пакується в герметичну тару.

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

1.2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ

1.2.1 Фізична суть процесів, що відбуваються в грануляторі.

Сушарки із псевдорозрідженим (киплячим) шаром є найбільш прогресивними серед установок для сушіння дрібнодисперсних і сипучих матеріалів. Процес у псевдорозрідженому шарі дозволяє значно збільшити поверхню контакту між частками матеріалу і сушильним агентом, інтенсифікувати випаровування вологи з матеріалу і скоротити до декількох хвилин тривалість сушіння. Найбільш поширеними є однокамерні сушарки безперервної дії.

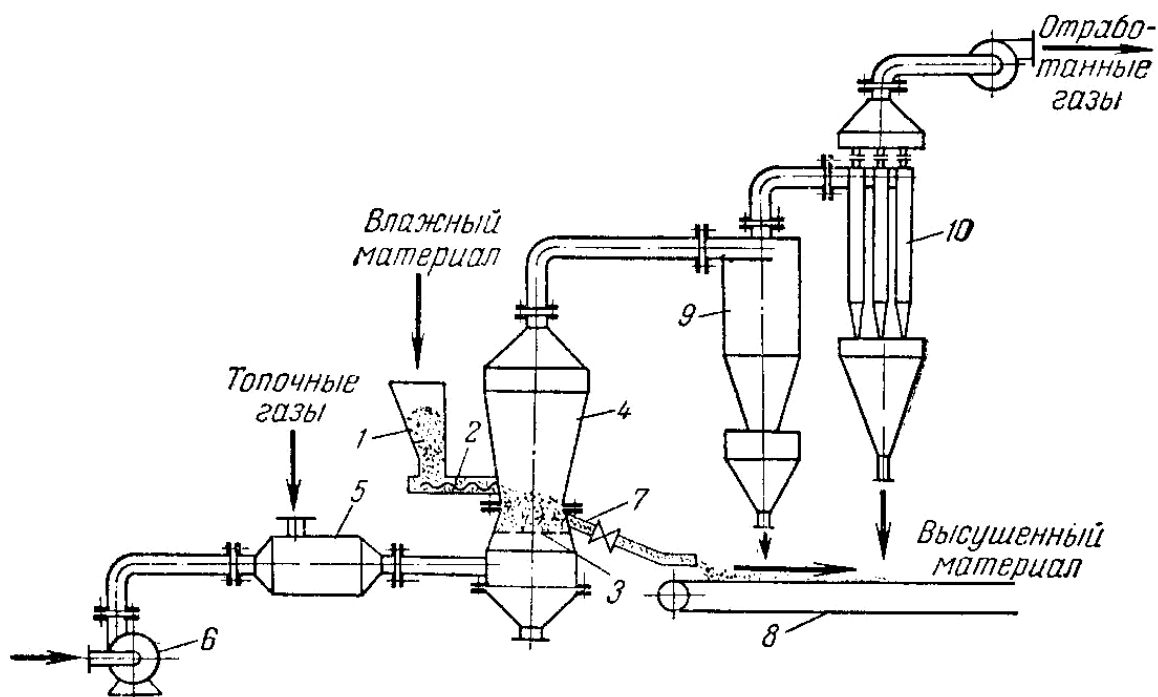


Рис. 1.2.1 - Однокамерна сушильна установка із псевдорозрідженим шаром:
1 - бункер; 2 - живильник; 3 - газорозподільна решітка; 4 - камера сушарки; 5 - камера змішувача; 6 - вентилятор; 7 - штуцер для вивантаження висушеного матеріалу; 8 - транспортер; 9 - циклон; 10 - батарейний пиловловлювач.

Висушуваний матеріал подається з бункера 1 живильником 2 в шар матеріалу, «киплячого» на газорозподільній решітці в камері сушіння 3. Сушильний агент - гаряче повітря або топкові газы, розбавлені повітрям, який подається в змішувальну камеру 5 вентилятором 6, - проходить із заданою швидкістю через отвори решітки і видаляється через верхній патрубок

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

сушильної камери. Далі відпрацьовані гази очищаються від унесеного пилю в циклоні 9 і батарейному пиловловлювачі 10, після чого викидаються в атмосферу.

Сушильна камера має розширений догори перетин, при цьому швидкість газу внизу камери повинна перевищувати швидкість осадження найбільших часток, а вгорі - бути менше швидкості осадження найдрібніших частинок.

При підвищенні швидкості руху сушильного агента динамічний тиск потоку газу зростає, наближаючись за значенням до тиску шару матеріалу. Частинки матеріалу при цьому починають переміщатися в межах шару. Обсяг, займаний матеріалом, збільшується, а шар стає псевдозрідженим.

При подальшому збільшенні швидкості сушильного агента спочатку окремі, найбільш легкі, частки матеріалу починають злітати над поверхнею шару, потім настає «кипіння» всього шару. Частинки матеріалу практично втрачають контакт один з одним і вільно переміщаються під тиском потоку газу в межах шару.

Продовжуючи збільшувати швидкість газу, матеріал досягає критичної швидкості (швидкості витання), при якій весь матеріал знаходиться в псевдорозрідженому стані, утримуючись в об'ємі установки силами динамічного тиску потоку газу. При цьому частинки матеріалу, що втратили вологу, стають легше, захоплюються потоком газу і несуться, причому відстань транспортування залежить від розмірів частинки.

Спалюючи паливо в топці, і змішуючи димові гази з повітрям, отримують сушильний агент, що подається вентилятором під ґрати з матеріалом. Гази, проходячи через решітку і шар матеріалу, захоплюють висушені дрібні фракції і транспортують їх в пилеосадітельні камери і циклони, в яких фракції, знепилюючих, а гази охолодженими викидаються в атмосферу. Матеріал з завантажувального бункера подають в сушарку, переміщують по решітці і вивантажують на шнековий транспортер. Таким же чином вивантажують матеріал з пилеосадітельних камер і циклонів.

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

1.2.2 Види і характеристика сушарок киплячого шару

Апарати з псевдозрідженим шаром зернистого матеріалу набули широкого поширення в хімічній та інших галузях промисловості. Вони відрізняються великою різноманітністю, як по конструкції, так і по гідродинамічним і тепловим режимам роботи. Їх можна класифікувати наступним чином:

- за кількістю зон (однокамерні і багатоканерні);
- за характером руху матеріалу (зі спрямованим і ненаправленим рухом від місця завантаження матеріалу до місця його вивантаження);
- по використанню теплоносія (одноразове і багаторазове);
- по конфігурації сушильної камери (круглі, прямокутні і т. д.).

Переваги сушарок з киплячим шаром:

- інтенсивне сушіння;
- можливість сушіння при високих температурах, які можуть перевищувати допустимі для даного матеріалу, внаслідок короткочасності його зіткнення з сушильним агентом;
- високий ступінь використання тепла сушильного агента;
- можливість автоматичного регулювання параметрів процесу.

Недоліки таких сушарок:

- непридатність для сушіння матеріалів, що погано піддаються псевдозрідженому стану (наприклад з високою вологістю, з великими розмірами частинок);
- високий гідравлічний опір;
- стирання і значне винесення твердих частинок.

Найбільш поширені однокамерні сушарки безперервної дії, але в сушарках цього типу з циліндричним корпусом спостерігається значна нерівномірність сушіння, обумовлена тим, що при інтенсивному перемішуванні в шарі час перебування окремих частинок істотно відрізняється від його середнього значення. Тому застосовуються сушарки з розширюється догори перетином, наприклад конічним. Швидкість газу внизу камери повинна перевищувати швидкість осадження найбільших часток, а вгорі бути менше швидкості осадження найдрібніших частинок. При такій формі камери досягається більш

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

організована циркуляція твердих частинок, які піднімаються в центрі і опускаються (у вигляді менш розрідженій фази) у периферії апарату. Завдяки зниженню швидкості газів у міру їх підйому поліпшується розподіл часток по крупності і зменшується винесення пилу. Це, в свою чергу, підвищує рівномірність нагріву (більш дрібні частинки, що піднімаються вище, знаходяться в області більш низьких температур) і дозволяє зменшити висоту камери.

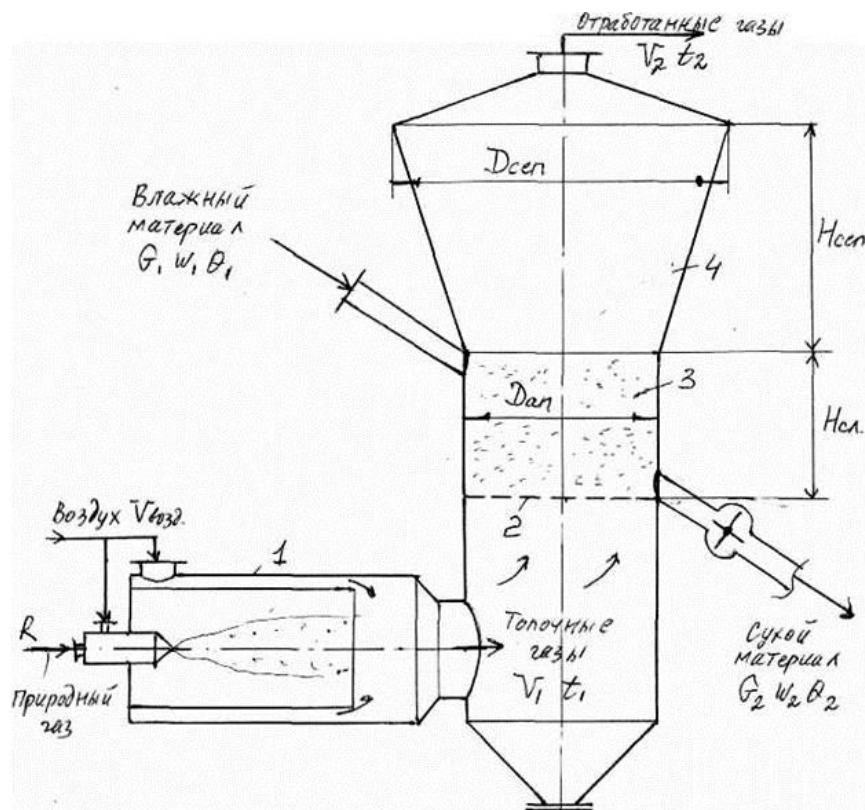


Рис. 1.2.2 - Схема апарату киплячого шару.

1 - топка, 2 - решітка, 3 - киплячий шар, 4 - сепаратор.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1.3 ОПИС ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ І ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В апараті відбувається процес сушіння суспензії, яка розпорошується по апарату через форсунку. При цьому суспензія має умовно кисле середовище (подвійна суміш + калієва селітра), тобто значно прискорює корозійні процеси. Також, температура повітря на вході в апарат 110°C, що теж дозволяє використовувати високолеговану сталь. Варто також відмітити, що даний апарат є часто замінним

Ґрунтуючись на наведених вище факторах, приймаємо корозійностійку сталь аустенітного класу Вст3Гпс5 ГОСТ 5632-80. Сталь характеризується гарною корозійною стійкістю в середовищі, рекомендується для застосування в температурному інтервалі -40°C до +425°C.

Сталь технологічна, добре зварюється, добре деформується в холодному і гарячому стані, добре обробляється всіма видами різання, характеризується задовільними лінійними властивостями.

Хімічний склад і механічні властивості представлені в таблиці 1.3.1

Таблиця 1.3.1 - Хімічний склад і механічні властивості сталі ВСт3Гпс5

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Mo, %	S, %	P, %	E·10 ⁵ МПа	σ МПа	σ _B МПа	δ %
0,14- 0,22	0,8- 1,1	0,15	до 0,3	до 0,3	0,3	2-3	до 0,05	0,04	2,1	225	410	26

Матеріал зовнішньої оснастки, арматури, кріпильних елементів і т. д., що не мають контакту з переробляється середовищем, приймаємо конструкційну сталь 20 ГОСТ 380-71. Вибір на користь цієї сталі заснований на її порівняно низькій вартості, хорошій оброблюваності і досить високими фізико-механічними властивостями.

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

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ І АПАРАТУ

Задаємося такими початковими умовами:

Продуктивність сушарки киплячого шару - 100 кг/год за висушеним матеріалом. Вологість початкова 25%, кінцева - 0,7%. Діаметр частинок: мінімальний - 1,5 мм, максимальний - 2,5 мм. Температура повітря на вході 110°C, на виході - 70°C. Початкова температура матеріалу 18°C, кінцева 60°C.

2.1 МАТЕРІАЛЬНИЙ І ТЕПЛОВИЙ БАЛАНСИ ПРОЦЕСУ

Кількість вологи, яка випаровується при сушінні:

$$W = G_k \cdot \frac{w_H - w_K}{100 - w_H} \quad (2.1.1)$$

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

w_H – початкова вологість матеріалу, %;

w_K – кінцева вологість матеріалу, %.

$$W = 100 \cdot \frac{25 - 0,7}{100 - 25} = 32,4 \text{ кг/ч}$$

Розрахунок для літніх умов

Параметри повітря на вході в калорифер [2]:

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

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

$$x_0 = 0,622 \cdot \frac{\varphi_0 P_{\text{нас}}}{B - \varphi_0 P_{\text{нас}}} \quad (2.1.2)$$

де $B = 745 \text{ мм. рт. ст.} \cdot 133,3 = 99308,5$ – атмосферний тиск, Н/м²;

φ_0 - відносна вологість повітря;

$P_{\text{нас}} = 16,48 \text{ мм. рт. ст.} \cdot 133,3 = 2196,8$ – тиск насиченої водяної пари, Н/м².

$$x_0 = 0,622 \cdot \frac{0,69 \cdot 2196,8}{99368,5 - 0,69 \cdot 2196,8} = 0,0097 \text{ кг/кг}_{\text{с. в.}}$$

Ентальпія повітря на вході в калорифер:

$$I_0 = (1,01 + 1,97x_0) \cdot t_0 + 2493x_0 \quad (2.1.3)$$

де t_0 – температура повітря, °C;

x_0 – початкове вологовміст повітря.

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

$$I_0 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0097) \cdot 19,3 + 2493 \cdot 0,0097 = 44 \text{ кДж/кг}_\text{с. в.}$$

Параметри повітря на вході в сушарку (після калорифера):

$$I_1 = (1,01 + 1,97x_1) \cdot t_1 + 2493x_1 \quad (2.1.4)$$

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

$x_1 = x_0 = 0,0097$ кг/кг_{с. в.} – вологовміст повітря на вході в сушарку.

$$I_1 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0097) \cdot 110 + 2493 \cdot 0,0097 = 137,38 \text{ кДж/кг}_\text{с. в.}$$

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

$$\varphi_1 = \frac{x_1}{0,622 + x_1} \quad (2.1.5)$$

$$\varphi_1 = \frac{0,0097}{0,622 + 0,0097} = 0,015 \text{ (1,5\%).}$$

Розрахунок поправки до реальної сушарки.

Задаємося температурою повітря на виході із сушарки $t_k = 70^\circ\text{C}$.

Питома кількість тепла, яка вводиться в сушарку з висушуваним матеріалом:

$$q_M = \frac{\theta_M}{W} = \frac{G_K c_M (\theta_K - \theta_H)}{W} \quad (2.1.6)$$

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

$c_M = 0,775$ кДж/кг · гр – питома теплоємність висушеного матеріалу;

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

θ_H – початкова температура матеріалу, °C;

W – кількість випареної води, кг/год.

$$q_M = \frac{100 \cdot 0,775 \cdot (60 - 18)}{32,4} = 100,3 \text{ кДж/кг}_\text{вл.}$$

Поправка до реальної сушарки:

$$\Delta = c_B \theta_1 - (q_M + q_{\text{п}}) \quad (2.1.7)$$

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

θ_1 – початкова температура матеріалу, °C;

q_M – питома кількість тепла, яка вводиться в сушарку, кДж/кг_{вл.};

$q_{\text{п}}$ – питома кількість втрат тепла (10% от q_M [2]), кДж/кг_{вл.}

$$\Delta = 4,19 \cdot 18 - (100,5 + 10,3) = -35,38 \text{ кДж/кг}_\text{вл.}$$

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

Параметри повітря на виході з сушарки.

Враховуючи що:

$$\Delta = \frac{I_2 - I_1}{x_2 - x_1} \quad (2.1.8)$$

і висловивши:

$$I_2 = (1,01 + 1,97x_2) \cdot t_2 + 2493x_2 \quad (2.1.9)$$

Записуємо:

$$35,38 = \frac{(1,01 + 1,97x_2) \cdot 70 + 2493x_2 - 137,38}{x_2 - 0,0097}$$

Вирішуючи це рівняння, отримуємо:

$$x_2 = 0,0256 \text{ кг/кг}_\text{с. в.}$$

Відносна вологість на виході з сушарки:

$$\varphi_2 = \frac{x_2 \cdot B}{(0,622 + x_2) \cdot P_{\text{нас}}} \quad (2.1.10)$$

де x_2 – вологовміст повітря на виході з сушарки;

B – атмосферний тиск, Н/м²;

$P_{\text{нас}} = 233,7 \text{ мм. рт. ст.} \cdot 133,3 = 31152,21 \text{ Н/м}^2$ – тиск насиченої водяної пари [2] при $t_2 = 70^\circ\text{C}$.

$$\varphi_2 = \frac{0,0256 \cdot 99308,5}{(0,622 + 0,0256) \cdot 31152,21} = 0,126 \text{ (12,6\%)}$$

Ентальпія повітря на виході з сушарки виходячи з формули (2.9):

$$I_2 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0256) \cdot 70 + 2493 \cdot 0,0256 = 138 \text{ кДж/кг}_\text{с. в.}$$

Витрата повітря в сушарці.

Питома витрата повітря:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_1} \quad (2.1.11)$$

$$l = \frac{1}{0,0256 - 0,0097} = 62,9 \text{ кг}_\text{с. в.}/\text{кг}_\text{вл.}$$

Масова витрата повітря:

$$L = l \cdot W \quad (2.1.12)$$

де l – удельный расход воздуха, кг_{с. п.}/кг_{вл.};

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

W – кількість випаруваної вологи, кг/год.

$$L = 62,9 \cdot 32,4 = 2037,96 \text{ кг/год}$$

Об'ємна витрата повітря на вході в сушарку.

Питомий об'єм вологого повітря на вході в сушарку:

$$V_{\text{вх}} = \frac{R_B T}{B - \varphi_1 \cdot P_{\text{нас}}} \quad (2.1.13)$$

де $R_e = 287$ кДж/кг · 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 $t_1 = 110^\circ\text{C}$ [2].

$$V_{\text{вх}} = \frac{287 \cdot (110 + 273)}{99308,5 - 0,015 \cdot 143324,1} = 1,13 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Об'ємна витрата повітря на вході в сушарку:

$$L_{V_{\text{вх}}} = L \cdot v_{\text{вх}} \quad (2.1.14)$$

$$L_{V_{\text{вх}}} = 2037,96 \cdot 1,13 = 2302,9 \text{ м}^3/\text{год}$$

Об'ємна витрата повітря на виході з сушарки.

Питома витрата вологого повітря на виході з сушарки:

$$V_{\text{вих}} = \frac{R_B T}{B - \varphi_2 \cdot P_{\text{нас}}} \quad (2.1.15)$$

де $R_e = 287$ кДж/кг · гр – газова стала для повітря;

T – абсолютна температура повітря, К;

B – атмосферний тиск, Н/м²;

φ_2 - відносна вологість повітря;

$P_{\text{нас}} = 0,3177 \text{ кгс/см}^2 \cdot 9,81 \cdot 10^4 = 31166,4 \text{ Н/м}^2$ – тиск насиченої водяної пари при $t_2 = 70^\circ\text{C}$ [2].

$$V_{\text{вих}} = \frac{287 \cdot (70 + 273)}{99308,5 - 0,126 \cdot 31166,4} = 1,03 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Об'ємна витрата повітря на виході з сушарки:

$$L_{V_{\text{вих}}} = L \cdot v_{\text{вих}} \quad (2.1.16)$$

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

$$L_{V_{\text{ВЫХ}}} = 2037,96 \cdot 1,03 = 2099 \text{ м}^3/\text{год}$$

Витрата тепла на нагрів повітря в калорифері.

Питома витрата тепла в калорифері:

$$q_k = l \cdot (I_1 - I_0) \quad (2.1.17)$$

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

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

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

$$q_k = 62,9 \cdot (137,38 - 44) = 5873,6 \text{ кДж/кг_вл.}$$

Витрата тепла:

$$Q_k = q_k \cdot W \quad (2.1.18)$$

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

W – кількість випаруваної вологи, кг/год.

$$Q_k = 5873,6 \cdot 32,4 = 190304,7 \text{ кДж/ч}$$

2.1.2 Тепловий баланс

Прихід тепла:

1. З повітрям:

$$Q_1 = l \cdot I_0 \quad (2.1.19)$$

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

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

$$Q_1 = 62,9 \cdot 44 = 2767,6 \text{ кДж/кг_вл.}$$

2. З вологістю матеріалу:

$$Q_2 = c_b \cdot \theta_1 \quad (2.1.20)$$

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

θ_1 – початкова температура матеріалу, °С.

$$Q_2 = 4,19 \cdot 18 = 75,42 \text{ кДж/кг_вл.}$$

3. З матеріалом:

$$Q_3 = \frac{G_k \cdot c_m \cdot \theta_1}{W} \quad (2.1.21)$$

де $c_m = 0,775$ кДж/кг · гр – теплоємність матеріалу при θ_1 [2];

θ_1 – початкова температура матеріалу, °С;

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

G_k – продуктивність по готовому продукту, кг/год;

W – кількість випаруваної вологи, кг/год.

$$Q_3 = \frac{100 \cdot 0,775 \cdot 18}{32,4} = 43 \text{ кДж/кг_вл.}$$

4. Від теплоносія в калорифері:

$$Q_4 = q_k = 5873,6 \text{ кДж/кг_вл.}$$

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (2.1.22)$$

$$\sum Q_{пр} = 2767,6 + 75,42 + 43 + 5873,6 = 8759,62 \text{ кДж/кг_вл.}$$

Витрата тепла:

1. З повітрям:

$$Q_1 = l \cdot I_2 \quad (2.1.23)$$

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

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

$$Q_1 = 62,9 \cdot 137,8 = 8667,62 \text{ кДж/кг_вл.}$$

2. З матеріалом:

$$Q_2 = \frac{G_k \cdot c_m \cdot \theta_2}{W} \quad (2.1.24)$$

де $c_m = 0,775$ кДж/кг · гр – теплоємність матеріалу при θ_1 [2];

θ_2 – кінцева температура матеріалу, °С;

G_k – продуктивність по готовому продукту, кг/год;

W – кількість випаруваної вологи, кг/год.

$$Q_2 = \frac{100 \cdot 0,775 \cdot 60}{32,4} = 143,5 \text{ кДж/кг_вл.}$$

3. Втрати в навколишнє середовище:

$$Q_3 = q_{п} = 10,3 \text{ кДж/кг_вл.}$$

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2.1.25)$$

$$\sum Q_p = 8667,62 + 143,5 + 10,3 = 8821,42 \text{ кДж/кг_вл.}$$

Тепловий баланс сушарки:

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

$$\Delta Q = \frac{\sum Q_p - \sum Q_{пр}}{\sum Q_p} \leq 5\% \quad (2.1.26)$$

$$\Delta Q = \frac{8821,42 - 8759,62}{8821,42} = 0,007 (0,7\%)$$

Таким чином, розбіжність балансу знаходиться в допустимих межах [2].

2.1.3 Розрахунок для зимових умов

Параметри повітря на вході в калорифер [2]:

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

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

Вологовміст повітря, виходячи з формули 2.1.2:

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

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

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

Ентальпія повітря на вході в калорифер, виходячи з формули 2.1.3:

$$I_0 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0021) \cdot (-3) + 2493 \cdot 0,0027 = 3,7 \text{ кДж/кг_с. п.}$$

Параметри повітря на вході в сушарку (після калорифера), виходячи з формули 2.1.4:

$$I_1 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0027) \cdot 110 + 2493 \cdot 0,0027 = 118,4 \text{ кДж/кг_с. п.}$$

Відносна вологість повітря на вході в сушарку (при $t > 100^\circ\text{C}$), виходячи з формули 2.1.5:

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

Розрахунок поправки до реальної сушарці.

Задаємося температурою повітря на виході із сушарки $t_k = 70^\circ\text{C}$.

Питома кількість тепла, яке вводиться в сушилку з висушують матеріалом, виходячи з формули 2.1.6:

$$q_M = \frac{100 \cdot 0,775 \cdot (60 - 18)}{32,4} = 100,3 \text{ кДж/кг_вл,}$$

Поправка до реальної сушарки, виходячи з формули 2.1.7:

$$\Delta = 4,19 \cdot 18 - (100,5 + 10,3) = -35,38 \text{ кДж/кг_вл}$$

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

де $q_{п}$ – питома кількість втрат тепла (10% от $q_{м}$ [2]), кДж/кг_вл.

Параметри повітря на виході з сушарки, виходячи з формул 2.1.8 і 2.1.9.

$$35,38 = \frac{(1,01 + 1,97x_2) \cdot 70 + 2493x_2 - 118,4}{x_2 - 0,0027}$$

Вирішуючи це рівняння, отримуємо:

$$x_2 = 0,0183 \text{ кг/кг_с. в.}$$

Відносна вологість на виході з сушарки, виходячи з формули 2.1.10:

$$\varphi_2 = \frac{0,0183 \cdot 99308,5}{(0,622 + 0,0183) \cdot 31152,21} = 0,091 \text{ (9,1\%)}$$

де $P_{нас} = 233,7 \text{ мм. рт. ст.} \cdot 133,3 = 31152,21 \text{ Н/м}^2$ – тиск насиченої водяної пари [2] при $t_2 = 70^\circ\text{C}$.

Ентальпія повітря на виході з сушарки виходячи з формули (2.1.9):

$$I_2 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0183) \cdot 70 + 2493 \cdot 0,0183 = 118,9 \text{ кДж/кг_с. в.}$$

Витрата повітря в сушарці.

Питома витрата повітря, виходячи з формули 2.1.11:

$$l = \frac{1}{0,0183 - 0,0027} = 64,1 \text{ кг_с. п./кг_вл.}$$

Масова витрата повітря, виходячи з формули 2.1.12:

$$L = 64,1 \cdot 32,4 = 2076,84 \text{ кг/ч}$$

Об'ємна витрата повітря на вході в сушарку.

Питома обсяг вологого повітря на вході в сушарку, виходячи з формули 2.1.13:

$$V_{вх} = \frac{287 \cdot (110 + 273)}{99308,5 - 0,004 \cdot 143324,1} = 1,13 \text{ м}^3/\text{кг}$$

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

Об'ємна витрата повітря на вході в сушарку, виходячи з формули 2.1.14:

$$L_{V_{вх}} = 2076,84 \cdot 1,13 = 2346,83 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Об'ємна витрата повітря на виході з сушарки.

Питома витрата вологого повітря на виході з сушарки, виходячи з формул 2.1.15:

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

$$V_{\text{вых}} = \frac{287 \cdot (70 + 273)}{99308,5 - 0,091 \cdot 31166,4} = 1,02 \text{ м}^3/\text{кг}$$

де $P_{\text{нас}} = 0,3177 \text{ кгс/см}^2 \cdot 9,81 \cdot 10^4 = 31166,4 \text{ Н/м}^2$ – тиск насиченої водяної пари при $t_2 = 70^\circ\text{C}$ [2].

Об'ємна витрата повітря на виході з сушарки, виходячи з формули 2.1.16:

$$L_{V_{\text{вых}}} = 2076,84 \cdot 1,02 = 2118,38 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Витрата тепла на нагрів повітря в калорифері.

Питома витрата тепла в калорифері, виходячи з формули 2.1.17:

$$q_k = 64,1 \cdot (118,4 - 3,7) = 7352,3 \text{ кДж/кг}_{\text{вл.}}$$

Витрата тепла, виходячи з формули 2.1.18:

$$Q_k = 7352,3 \cdot 32,4 = 238213,55 \text{ кДж/ч}$$

2.1.4 Тепловий баланс

Прихід тепла, посиляючись на формулу 2.1.22:

1. З повітрям, виходячи з формули 2.1.19:

$$Q_1 = 64,1 \cdot 3,7 = 237,17 \text{ кДж/кг}_{\text{вл.}}$$

2. З вологістю матеріалу, виходячи з формули 2.1.20:

$$Q_2 = 4,19 \cdot 18 = 75,42 \text{ кДж/кг}_{\text{вл.}}$$

3. З матеріалом, виходячи з формули 2.1.21:

$$Q_3 = \frac{100 \cdot 0,775 \cdot 18}{32,4} = 43 \text{ кДж/кг}_{\text{вл.}}$$

4. Від теплоносія в калорифері:

$$Q_4 = q_k = 7352,3 \text{ кДж/кг}_{\text{вл.}}$$

$$\sum Q_{\text{пр}} = 237,17 + 75,42 + 43 + 7352,3 = 7707,89 \text{ кДж/кг}_{\text{вл.}}$$

Витрата тепла, посиляючись на формулу 2.1.24:

1. З повітрям, виходячи з формули 2.1.23:

$$Q_1 = 64,1 \cdot 118,9 = 7621,49 \text{ кДж/кг}_{\text{вл.}}$$

2. З матеріалом, виходячи з формули 2.1.24:

$$Q_2 = \frac{100 \cdot 0,775 \cdot 60}{32,4} = 143,5 \text{ кДж/кг}_{\text{вл.}}$$

3. Втрати в навколишнє середовище:

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

$$Q_3 = q_{\text{п}} = 10,3 \text{ кДж/кг_вл.}$$

$$\sum Q_{\text{в}} = 7621,49 + 143,5 + 10,3 = 7775,29 \text{ кДж/кг_вл.}$$

Тепловий баланс сушарки, виходячи з формули 2.1.26:

$$\Delta Q = \frac{7775,29 - 7707,89}{7775,29} = 0,0086 (0,86\%)$$

Таким чином, розбіжність балансу знаходиться в допустимих межах [2].

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

2.2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Попередньо розрахуємо критичну швидкість псевдозрідження для частинок середнього розміру, користуючись графіком $Ly = f(Ar)$ для температури в слое, которую можно считать равной температуре уходящего воздуха, т. е. 70°C .

Фізичні параметри сушильного агенту: щільність [2]:

$$\rho_{\text{в}} = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_2} \quad (2.2.1)$$

де ρ_0 – густина сушильного газу при стандартних умовах, $\text{кг}/\text{м}^3$;

t_2 – температура сушильного агенту на виході з сушарки, $^{\circ}\text{C}$.

$$\rho_{\text{в}} = 1,2 \cdot \frac{273}{273 + 70} = 0,955 \text{ кг}/\text{м}^3,$$

динамічна в'язкість [1]:

$$\mu_{\text{в}} = 18,1 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Еквівалентний діаметр частинок матеріалу:

$$d_{\text{ср}} = \frac{1}{\sum_i^n \frac{m_i}{d_i}} \quad (2.2.2)$$

У нашому випадку:

$$d_{\text{ср}} = \frac{(1,5 + 2,5) \cdot 10^{-3}}{2} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Величина критерію Архімеда:

$$Ar = \frac{d_{\text{ср}}^3 \cdot \rho_{\text{м}} \cdot g \cdot \rho_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}}^2} \quad (2.2.3)$$

де $d_{\text{ср}}$ – еквівалентний діаметр частинок матеріалу, м;

$\rho_{\text{м}} = 1900 \text{ кг}/\text{м}^3$ – щільність димного порошу;

$\rho_{\text{в}}$ – щільність сушильного агенту, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\mu_{\text{в}}$ – динамічна в'язкість сушильного агенту, $\text{Па} \cdot \text{с}$.

$$Ar = \frac{(2 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 1900 \cdot 9,81 \cdot 0,955}{(18,1 \cdot 10^{-6})^2} = 434670$$

Критичне значення критерію Лященко:

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

$$Ly_{кр} = 1,65$$

Критична швидкість повітря:

$$\omega_{кр} = \sqrt[3]{\frac{Ly_{кр} \cdot \mu_B \cdot g \cdot \rho_M}{\rho_B^2}} \quad (2.2.4)$$

де $Ly_{кр}$ – критичне значення критерію Лященко;

ρ_M – щільність димного пороху, кг/м³;

ρ_B – густина сушильного агенту, кг/м³;

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

$$\omega_{кр} = \sqrt[3]{\frac{1,65 \cdot 18,1 \cdot 10^{-6} \cdot 9,81 \cdot 1900}{0,955^2}} = 0,61 \text{ м/с}$$

Робоча значення критерію Ly вибираємо при порізності киплячого шару $\varepsilon = 0,8$, т. К. Для процесів сушіння, що йдуть в першому періоді, інтенсивність процесу тим вище, чим більше швидкість газів.

При $\varepsilon = 0,8$ знаходимо $Ly = 600$ [2]. Тоді число псевдозрідження:

$$K_\omega = \sqrt[3]{\frac{Ly}{Ly_{кр}}} \quad (2.2.5)$$

$$K_\omega = \sqrt[3]{\frac{600}{1,5}} = 7,37$$

Робоча швидкість газів:

$$\omega = K_\omega \cdot \omega_{кр} \quad (2.2.6)$$

де K_ω – число псевдозрідження;

$\omega_{кр}$ – критична швидкість повітря, м/с.

$$\omega = 7,37 \cdot 0,61 = 4,45 \text{ м/с}$$

Швидкість газів безпосередньо біля ґрат більше через більш високої температури. Ця швидкість дорівнює:

$$\omega_{реш} = \omega \cdot \frac{273 + t_1}{273 + t_2} \quad (2.2.7)$$

де ω – робоча швидкість газів, м/с;

t_1 – температура газів на вході в сушарку, °С;

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

t_2 – температура газів на виході з сушарки, °С.

$$\omega_{\text{реш}} = 4,45 \cdot \frac{273 + 110}{273 + 70} = 4,97 \text{ м/с}$$

Якщо площу живого перетину решітки прийняти рівною 10% від всієї її площі, то швидкість газу в отворах:

$$\omega_{\text{отв}} = 10 \cdot 4,97 = 49,7 \text{ м/с}$$

Зробимо перевірку достатності цієї швидкості для псевдозрідження частинок максимального розміру ($d_{\text{max}} = 2,5$ мм).

Якщо прийняти число псевдозрідження для великих часток невеликим, лише достатнім для їх переміщення (наприклад, $K'_\omega = 5$), то критична швидкість псевдозрідження для цих частинок складе:

$$\omega'_{\text{кр}} = \frac{\omega_{\text{отв}}}{K'_\omega} \quad (2.2.8)$$

$$\omega'_{\text{кр}} = \frac{49,7}{5} = 9,94 \text{ м/с}$$

Тоді:

$$Ly'_{\text{кр}} = \frac{(\omega'_{\text{кр}})^3 \cdot \rho_\Gamma^2}{\mu_\text{в} \cdot g \cdot \rho_\text{м}} \quad (2.2.9)$$

де $\omega'_{\text{кр}}$ - критична швидкість псевдозрідження;

ρ_Γ – густина сушильного агенту, кг/м³:

$$\rho_\Gamma = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_1} \quad (2.2.10)$$

де ρ_0 – густина сушильного газу при стандартних умовах, кг/м³;

t_1 - температура сушильного агенту на вході в сушарку, °С.

$$\rho_\Gamma = 1,2 \cdot \frac{273}{273 + 110} = 0,855 \text{ кг/м}^3$$

$\mu_\text{в}$ – динамічна в'язкість сушильного агенту, Па · с;

$\rho_\text{м}$ – щільність димного порошу, кг/м³.

$$Ly'_{\text{кр}} = \frac{9,94^3 \cdot 0,855^2}{18,1 \cdot 10^{-6} \cdot 9,81 \cdot 1900} = 2128$$

Значенню $Ly'_{\text{кр}} = 870$ відповідає $Ar = 4 \cdot 10^6$. Тоді діаметр збільшених частинок:

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

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{Ar \cdot \mu_B^2}{\rho_M \cdot g \cdot \rho_G^2}} \quad (2.2.11)$$

де Ar – число Архімеда;

μ_B – динамічна в'язкість сушильного агенту, Па · с;

ρ_G – густина сушильного агенту, кг/м³;

ρ_M – щільність димного порошу, кг/м³.

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 10^6 \cdot (18,1 \cdot 10^{-6})^2}{1900 \cdot 9,81 \cdot 0,855^2}} = 0,004 \text{ м}$$

Таким чином, у отворів решітки в стані переміщатися навіть дуже великі частки димного порошу діаметром 4 мм.

Попередньо приймаємо розподільну решітку з двох рівнів (знизу-вгору):

а) Сітка ПЧР4-4,0-20X13 ГОСТ 3306-88;

б) Сітка ПЧР6-2,6-20X13 ГОСТ 3306-88.

При цьому сітка ПЧР6-2,6-20X13 ГОСТ 3306-88 додатково ущільнена тканиною, щоб уникнути провалу дрібних частинок.

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

2.3 КОНСТРУКТИВНІ РОЗРАХУНКИ

Діаметр апарату:

$$D_{\text{ап}} = \sqrt{\frac{4 \cdot L_{\text{вх}}}{\pi \cdot \omega}}, \quad (2.3.1)$$

де $L_{\text{вх}}$ – об'ємна витрата повітря на вході, приймаємо найбільшу, виходячи з погодних умов, $\text{м}^3/\text{с}$;

ω – робоча швидкість, $\text{м}/\text{с}$.

$$D_{\text{ап}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2346,83}{3,14 \cdot 4,45 \cdot 3600}} = 0,43 \text{ м}$$

Приймаємо найближчий стандартний діаметр апарату:

$$D_{\text{ап}} = 0,5 \text{ м}$$

Число отворів в розподільній решітці:

$$n = \frac{4SF_c}{\pi d_0^2} = \left(\frac{D_{\text{ап}}}{d_0}\right)^2 \cdot F_c \quad (2.3.2)$$

де $F_c = 0,1$ - площа живого перетину решітки;

d_0 – діаметр отворів в решітці, м ;

$D_{\text{ап}}$ – діаметр апарату, м .

$$n_1 = \left(\frac{0,5}{0,004}\right)^2 \cdot 0,1 \approx 1563 \text{ шт}$$

$$n_2 = \left(\frac{0,5}{0,0026}\right)^2 \cdot 0,1 \approx 3699 \text{ шт}$$

Отвори розміщені по кутах рівносторонніх трикутників.

Поперечний крок:

$$t_{\text{пп}} = 0,95d_0 \cdot F_c^{-0,5} \quad (2.3.3)$$

де $F_c = 0,1$ - площа живого перетину решітки;

d_0 – діаметр отворів в решітці, м .

$$t_{\text{пп1}} = 0,95 \cdot 0,004 \cdot 0,1^{-0,5} = 0,012 \text{ м}$$

$$t_{\text{пп2}} = 0,95 \cdot 0,0026 \cdot 0,1^{-0,5} = 0,0078 \text{ м}$$

Повздовжній крок:

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

$$t_{\text{пр}} = 0,866 \cdot t_{\text{пп}} \quad (2.3.4)$$

де $t_{\text{пп}}$ – поперечний крок, м.

$$t_{\text{пр1}} = 0,866 \cdot 0,012 = 0,0104 \text{ м}$$

$$t_{\text{пр2}} = 0,866 \cdot 0,0078 = 0,0068 \text{ м}$$

Висота псевдозрідженого шару визначається з умови забезпечення гідродинамічної стійкості роботи шару.

Повинно виконуватися умова:

$$H_{\Gamma} > H_{\text{к}} \quad (2.3.4)$$

де H_{Γ} – висота, яка забезпечує гідродинамічну стійкість шару;

$H_{\text{к}}$ – висота, отримана з кінетичних закономірностей сушіння.

Висота зони гідродинамічної стабілізації шару [3] :

$$H_{\text{ст}} = 20 \cdot d_0 \quad (2.3.5)$$

де d_0 – діаметр отворів в решітці, м.

$$H_{\text{ст1}} = 20 \cdot 0,004 = 0,08 \text{ м}$$

$$H_{\text{ст2}} = 20 \cdot 0,0026 = 0,052 \text{ м}$$

Висота, яка забезпечує гідродинамічну стійкість шару [3]:

$$H_{\Gamma} = 4H_{\text{ст}} \quad (2.3.5)$$

де $H_{\text{ст}}$ - висота зони гідродинамічної стабілізації шару, м.

$$H_{\Gamma1} = 4 \cdot 0,08 = 0,32 \text{ м}$$

$$H_{\Gamma2} = 4 \cdot 0,052 = 0,208 \text{ м}$$

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{ср}} \cdot \rho_{\Gamma}}{\mu_{\text{в}}} \quad (2.3.6)$$

де ω – робоча швидкість газів, м/с ;

$d_{\text{ср}}$ – еквівалентний діаметр частинок, м;

ρ_{Γ} - густина сушильного агенту, кг/м³ ;

$\mu_{\text{в}}$ – динамічна в'язкість сушильного агенту, Па · с.

$$Re = \frac{4,45 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,855}{18,1 \cdot 10^{-6}} = 420$$

Критерій Архімеда визначено вище: $Ar = 434670$.

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

Тоді порізність псевдозрідженого шару при відомому значенні робочої швидкості сушильного газу складе:

$$\varepsilon = \left(\frac{18 \cdot Re + 0,36 \cdot Re^2}{Ar} \right)^{0,21} \quad (2.3.7)$$

де Re – критерій Рейнольдса;

Ar – критерій Архімеда.

$$\varepsilon = \left(\frac{18 \cdot 420 + 0,36 \cdot 420^2}{434670} \right)^{0,21} = 0,683$$

Коефіцієнт дифузії водяної пари при середній температурі в сушарці:

$$D = D_{20} \cdot \left(\frac{T_0 + t_{cp}}{T_0} \right)^{1,5} \quad (2.3.8)$$

де t_{cp} – середня температура повітря в сушарці:

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (2.3.9)$$

де t_1 – температура повітря на вході в сушарку, °С;

t_2 – температура повітря на виході з сушарки, °С.

$$t_{cp} = \frac{110 + 70}{2} = 90^\circ\text{C};$$

$D_{20} = 21,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}^2$ – коефіцієнт дифузії для повітря при 20°С.

$$D = 21,9 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{273 + 90}{273} \right)^{1,5} = 3,36 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}^2$$

Дифузійний критерій Прандтля:

$$Pr_y = \frac{\mu_{cp}}{\rho_{cp} \cdot D} \quad (2.3.10)$$

де D - коефіцієнт дифузії водяної пари;

μ_{cp} - середня в'язкість сушильних газів:

$$\mu_{cp} = \mu_0 \cdot \frac{273 + c}{T + c} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{1,5} \quad (2.3.11)$$

де T – середня температура повітря в сушарці, К;

μ_0 – нормальна динамічна в'язкість повітря, Па · с.

$$\mu_{cp} = 17,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 124}{363 + 124} \cdot \left(\frac{363}{273} \right)^{1,5} = 21,62 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

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

ρ_{cp} – середня густина повітря в сушарці:

$$\rho_{cp} = \frac{M_{\text{воз}}}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + t_{cp}} \quad (2.3.12)$$

де t_{cp} – середня температура повітря в сушарці;

$M_{\text{воз}}$ – молярна маса повітря.

$$\rho_{cp} = \frac{29}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 90} = 0,974 \text{ кг/м}^3$$

$$Pr_y = \frac{21,62 \cdot 10^{-6}}{0,974 \cdot 3,36 \cdot 10^{-5}} = 0,66$$

Дифузійний критерій Нуссельта:

$$Nu_y = 2 + 0,51 * Re^{0,52} * Pr_y^{0,33} \quad (2.3.13)$$

де Pr_y - дифузний критерій Прандтля;

Re – критерій Рейнольдса.

$$Nu_y = 2 + 0,51 \cdot 420^{0,52} \cdot 0,66^{0,33} = 12,28$$

Коефіцієнт масовіддачі:

$$\beta_y = \frac{Nu_y * D}{d_{cp}} \quad (2.3.14)$$

де Nu_y – критерій Нуссельта;

D - коефіцієнт дифузії водяної пари;

d_{cp} – еквівалентний діаметр частинок, м.

$$\beta_y = \frac{12,28 \cdot 3,36 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 10^{-3}} = 0,206 \text{ м/с}$$

Висота псевдозрідженого шару (кінетична) визначається з рівняння, яке отримано в результаті інтегрування системи рівнянь матеріального балансу і масовіддачі [3]:

$$\frac{x^* - x_2}{x^* - x_0} = \exp \left[- \frac{\beta_y}{\omega \cdot \rho_{cp}} \cdot \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{d_{cp}} \cdot H_k \right] \quad (2.3.15)$$

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

Рівновага вміст вологи в сушильному агенті визначаємо по І-Х діаграмі як абсцису точки перетину робочої лінії сушіння з лінією постійної відносної вологості $\varphi = 100\%$ (див. Дод. 1, точка 3).

Величина $x^* = 0,0402$ кг/кг, тоді співвідношення:

$$\frac{x^* - x_2}{x^* - x_0} = \frac{0,0402 - 0,0256}{0,0402 - 0,0097} = 0,479.$$

Висоту псевдозрідженого шару знаходимо за формулою 2.3.15:

$$0,479 = \exp \left[-\frac{0,206}{4,45 \cdot 0,974} \cdot \frac{6 \cdot (1 - 0,683)}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot H_k \right]$$

$$0,479 = \exp[-45,199 \cdot h]$$

$$H_k = 0,178 \text{ м}$$

H_k значно менше H_r , що гарантує завершення процесу сушіння в межах H_r .

Приймаємо висоту псевдозрідженого шару:

$$H_{п.с.} = 0,18 \text{ м}$$

Діаметр сепарації простору приймається конструктивно, виходячи з кута конусності $\alpha_{\pi} = 15^\circ$. Потім порівнюється по швидкості газового потоку в самому перерізі простору, яка повинна бути менше швидкості витання дрібних частинок.

Лінійна швидкість повітря в патрубках 8-25 м/с. Приймаємо $v = 20$ м/с.

Діаметр патрубка вхідного штуцера для повітря:

$$D_{вх} = \sqrt{\frac{4 \cdot L_{вх}}{3,14 \cdot v}} \quad (2.3.16)$$

де $L_{вх}$ - об'ємна витрата повітря на вході, приймаємо найбільшу, виходячи з погодних умов, м³/с.;

v - лінійна швидкість повітря в патрубках, м/с.

$$D_{вх} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2346,83}{3,14 \cdot 20 \cdot 3600}} = 0,2 \text{ м}$$

Оскільки частина цього повітря також потрапляє в апарат через форсунку, приймаємо $D_{вх} = 150$ мм [5].

Діаметр патрубка штуцера для виведення повітря:

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

$$D_{\text{ВЫХ}} = \sqrt{\frac{4 \cdot L_{\text{ВЫХ}}}{3,14 \cdot v}} \quad (2.3.17)$$

де $L_{\text{ВЫХ}}$ - об'ємна витрата повітря на виході, приймаємо найбільшу, виходячи з погодних умов, м³/с.;

v – лінійна швидкість повітря в патрубках, м/с.

$$D_{\text{ВЫХ}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2118,38}{3,14 \cdot 20 \cdot 3600}} = 0,2 \text{ м}$$

Діаметр штуцера для виведення продукту:

$$D_{\text{ВЫХ}}^c = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{ВЫХ}}}{3,14 \cdot v}} \quad (2.3.18)$$

де $G_{\text{ВЫХ}}$ - масова витрата суспензії на виході, м³/с.;

v – лінійна швидкість рідини в патрубках, коливається в межах 4...8 м/с, приймаємо $v = 4$ м/с.

$$D_{\text{ВЫХ}}^c = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{100}{3600}}{3,14 \cdot 4}} = 0,094 \text{ м}$$

Приймаємо $D_{\text{ВЫХ}}^c = 100$ мм.

Висота розподільної камери повинна бути не менше 4 - 6 висот псевдозрідженим шаром:

$$H_p \approx 5 \cdot H_{\text{п.с.}} \quad (2.3.19)$$

$$H_p \approx 5 \cdot 0,18 = 0,9 \text{ м}$$

Мінімальна висота газової камери з умов розкриття струменя:

$$H_{\text{ГК}} = \frac{D_a - D_{\text{ВХ}}}{2 \cdot c} \quad (2.3.20)$$

де D_a – діаметр апарату, м;

$D_{\text{ВХ}}$ - діаметр патрубка вхідного штуцера, м;

$c = 0,22$ – коефіцієнт розкриття струменя.

$$H_{\text{ГК}} = \frac{0,5 - 0,2}{2 \cdot 0,22} = 0,68 \text{ м}$$

Приймаємо $H_{\text{ГК}} = 0,7$ м.

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

Для апаратів великих габаритів частіше застосовується бічний введення газів. Висота бокового введення газів:

$$H_{\Gamma} = H_p + D_{\text{вх}} + H_q \quad (2.3.21)$$

де $H_p = 0,15 \cdot D_a$ – висота від входу штуцера до розподільної решітки:

$$H_p = 0,15 \cdot 0,5 = 0,075 \text{ м}$$

$H_q = 0,1 \cdot D_a$ – висота від днища камери до вхідного штуцера:

$$H_q = 0,1 \cdot D_a = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05 \text{ м}$$

$$H_{\Gamma} = 0,075 + 0,2 + 0,05 = 0,325 \text{ м}$$

Приймаємо $H_{\Gamma} = 0,35 \text{ м}$

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

2.4 ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР СУШАРКИ

Основну частку загального гідравлічного опору сушарки ΔP становить гідравлічний опір псевдозрідженим шаром ΔP_p :

$$\Delta P = \Delta P_{nc} + \Delta P_p \quad (2.4.1)$$

де ΔP_{nc} – гідравлічний опір псевдозрідженого шару, Па;

ΔP_p – гідравлічний опір решітки, Па.

Величину ΔP_{nc} знаходять з рівняння:

$$\Delta P_{nc} = \rho_m \cdot (1 - \varepsilon) \cdot g \cdot H_{nc} \quad (2.4.2)$$

де ρ_m – щільність димного пороху, кг/м³;

ε – порізність псевдозрідженого шару;

H_{nc} - висота псевдозрідженого шару, м.

$$\Delta P_{nc} = 1900 \cdot (1 - 0,683) \cdot 9,81 \cdot 0,18 = 1063,54 \text{ Па}$$

Для задовільного розподілу газового потоку необхідно дотримуватися певне співвідношення між гідравлічними опорами шару і решітки. Мінімально допустимий гідравлічний опір решітки ΔP_{pmin} обчислюємо за формулою (4, с.49):

$$\Delta P_{pmin} = \Delta P_{nc} \cdot \frac{K_\omega^2 \cdot (\varepsilon - \varepsilon_0)}{(K_\omega^2 - 1) \cdot (1 - \varepsilon_0)} \quad (2.4.3)$$

де $\varepsilon_0 = 0,4$ – порізність нерухомого шару для кулястих частинок;

K_ω – число псевдозрідження;

ΔP_{nc} – гідравлічний опір псевдозрідженого шару, Па.

$$\Delta P_{pmin} = 1063,54 \cdot \frac{7,37^2 \cdot (0,683 - 0,4)}{(7,37^2 - 1) \cdot (1 - 0,4)} = 511 \text{ Па}$$

Визначимо гідравлічний опір обраної решітки:

$$\Delta P_p = \xi \cdot \left(\frac{\omega}{F_c}\right)^2 \cdot \frac{\rho_{cp}}{2} \quad (2.4.4)$$

де $\xi = 1,5$ – коефіцієнт місцевого опору;

ω – робоча швидкість газів, м/с;

F_c – площа живого перетину решітки;

ρ_{cp} – середня густина повітря, кг/м³.

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

$$\Delta P_p = 1,5 \cdot \left(\frac{4,45}{0,1}\right)^2 \cdot \frac{0,974}{2} = 1446,57 \text{ Па}$$

Значення $\Delta P_p > \Delta P_{pmin}$, що і є необхідним для оптимальної роботи сушарки.

Повний гідравлічний опір, виходячи з формули 2.4.1:

$$\Delta P = 1063,54 + 1446,57 = 2510,11 \text{ Па}$$

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

2.5 ВИБІР ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

2.5.1 Відцентровий насос

Для подачі суспензії розрахуємо відцентровий насос (поз. 6, 10, 12 і 34 на тех. схемі).

Початкові дані:

- щільність суміші $\rho = 1900 \text{ кг/м}^3$;
- в'язкість $\mu_{\text{ср}} = 21,62 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$
- продуктивність насоса при закачуванні $V = 135 \text{ л/ч} = 3,75 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;
- геометричний напір $H_r = 2 \text{ м}$;
- діаметр трубопроводу $d = 18 \text{ мм}$;
- довжина трубопроводу $L = 2,5 \text{ м}$.

Швидкість рідини:

$$\omega_{\text{ж}} = \frac{V}{0,785 \cdot d^2} \quad (2.5.1.1)$$

де V - продуктивність насоса при закачуванні, $\text{м}^3/\text{с}$;

d - діаметр трубопроводу, м;

$$\omega_{\text{ж}} = \frac{3,75 \cdot 10^{-5}}{0,785 \cdot 0,018^2} = 0,15 \text{ м/с}$$

Швидкісний напір:

$$h_{\text{ск}} = \frac{\omega^2}{2 \cdot g} \quad (2.5.1.2)$$

де ω - швидкість рідини, м/с.

$$h_{\text{ск}} = \frac{0,15^2}{2 \cdot 9,81} = 0,0011 \text{ м}$$

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu_{\text{ср}}} > 10000 \quad (2.5.1.3)$$

де ρ - щільність суміші, кг/м^3 ;

d - діаметр трубопроводу, м;

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

$\mu_{\text{ср}}$ – в'язкість суміші, Па · с.

$$Re = \frac{0,15 \cdot 0,018 \cdot 1900}{21,62 \cdot 10^{-6}} = 237280 > 10000$$

Коефіцієнт опору:

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,15}} \quad (2.5.1.4)$$

де Re - критерій Рейнольдса.

$$\lambda = \frac{0,316}{237280^{0,15}} = 0,05$$

Приймаємо коефіцієнт втрат на місцеві опори:

$$\xi = 5,0$$

Втрата напору на тертя і місцеві опори:

$$h = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot h_{\text{СК}} + \xi \cdot h_{\text{СК}} \quad (2.5.1.5)$$

де λ - коефіцієнт опору;

L - довжина трубопроводу, м;

$h_{\text{СК}}$ – швидкісний напір, м;

ξ - коефіцієнт втрат на місцеві опори.

$$h = 0,05 \cdot \frac{2,5}{0,018} \cdot 0,0011 + 5 \cdot 0,0011 = 0,013 \text{ м}$$

Необхідний напір насоса:

$$H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} + H_{\text{Г}} + h \quad (2.5.1.6)$$

де $\Delta P = 0$ – перепад тиску, МПа;

ρ - щільність суміші, кг/м³ ;

$H_{\text{Г}}$ - геометричний напір, м;

h - втрата напору на тертя і місцеві опори, м.

$$H = \frac{0}{1900 \cdot 9,81} + 2 + 0,013 = 2,013 \text{ м}$$

Необхідна потужність електродвигуна:

$$N = \frac{V \cdot \rho \cdot g \cdot H}{1000 \cdot \eta} \quad (2.5.1.7)$$

де V - продуктивність насоса при закачуванні, м³/с;

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

ρ - щільність суміші, кг/м³ ;

H – потрібний напір насоса, м;

η – ККД двигуна, приймаємо для відцентрового насоса $\eta = 0,6$ [4].

$$N = \frac{3,75 \cdot 10^{-5} \cdot 1900 \cdot 9,81 \cdot 2,013}{1000 \cdot 0,6} = 0,0024 \text{ кВт}$$

Приймаємо насос Х2 / 15 з такими параметрами:

продуктивність $Q = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$;

загальний напір $H = 15 \text{ м}$;

число обертів $n = 50 \text{ рад/с}$;

КПД $\eta_n = 0,4$.

Для такого типу насоса підбираємо двигун АО2-31-2 з потужністю $N_n = 1,1 \text{ кВт}$.

2.5.2 Теплообмінник

Здійснюємо вибір теплообмінника для нагрівання повітря. Нагрівання відбувається від температури 18°C до температури 110°C. Початкові дані:

Об'ємна витрата повітря $L_{V_{\text{ВХ}}} = 2346,83 \text{ м}^3/\text{ч}$.

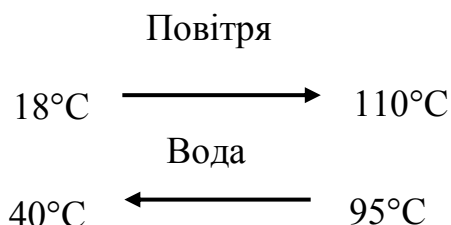
Визначаємо теплову потужність для нагрівання повітря. Масова витрата повітря:

$$G_{\text{В}} = L_{V_{\text{ВХ}}} \cdot \rho_{\text{В}} \quad (2.5.2.1)$$

де $L_{V_{\text{ВХ}}}$ - об'ємна витрата повітря, м³/год;

$\rho_{\text{В}}$ – густина повітря при середній температурі.

Середня різниця температур при таких



параметрах:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \log \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \quad (2.5.2.2)$$

де $\Delta t_{\text{б}} = 110 - 18 = 92^\circ\text{C}$ - найбільша різниця температур;

$\Delta t_{\text{м}} = 95 - 40 = 55^\circ\text{C}$ - найменша різниця температур.

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

$$\Delta t = \frac{92 - 55}{2,3 \log \frac{92}{55}} = 72^{\circ}\text{C} \rightarrow \rho_{\text{в}} = 1,021 \text{ кг/м}^3$$

$$G_{\text{в}} = 2346,83 \cdot 1,021 = 2396,1 \text{ кг/год}$$

Тепловий потік в апараті:

$$Q = G_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_1 - t_0) \quad (2.5.2.3)$$

де $G_{\text{в}}$ - масова витрата повітря, кг/с;

$c_{\text{в}} = 1006 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ – теплоємність повітря при $t_{\text{ср}} = 72^{\circ}\text{C}$;

t_0 – температура повітря на вході в теплообмінник, $^{\circ}\text{C}$;

t_1 - температура повітря на виході з теплообмінника, $^{\circ}\text{C}$.

$$Q = \frac{2396,1}{3600} \cdot 1006 \cdot (110 - 18) = 61601 \text{ Вт} \sim 61,6 \text{ кВт}$$

Необхідна площа фронтального перетину теплообмінника:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} \quad (2.5.2.4)$$

де Q - тепловий потік в апараті, Вт;

Δt – середня різниця температур, $^{\circ}\text{C}$;

K – коефіцієнт теплопередачі.

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + r_1 + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + r_2 + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.5.2.5)$$

де α_1, α_2 – коефіцієнти тепловіддачі теплоносіїв, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$;

r_1, r_2 – термічний опір забруднень на всі боки стінки, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$;

$\delta_{\text{ст}}$ – товщина стінки поверхні, м;

$\lambda_{\text{ст}}$ – коефіцієнт теплопровідності стінки, $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$.

Приймаємо умовно параметр $K = 60 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ [5]. Тоді, площа поверхні теплообміну:

$$F = \frac{61601}{60 \cdot 72} = 14,26 \text{ м}^2$$

Приймаємо теплообмінник типу ТК з такими параметрами:

площа поверхні теплообміну $F_{\text{п}} = 15 \text{ м}^2$;

довжина труб $l = 3 \text{ м}$;

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

число ходів у трубному просторі теплоносія $z = 2$;

діаметр труб $d_n = 25 \times 2$ мм;

діаметр теплообмінника $D = 325$ мм.

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

3. РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ АПАРАТУ

3.1 ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ СТІНКИ АПАРАТУ

Приймаємо такі вихідні дані:

внутрішній діаметр $D = 500$ мм;

середня температура середовища в апараті $t = 90^{\circ}\text{C}$;

тиск в апараті $P = 0,1$ МПа;

матеріал апарату - листовий прокат зі сталі ВСт3Гпс;

швидкість корозії $\Pi = 0,05$ мм/год;

термін експлуатації $\tau = 20$ лет.

Допустима напруга:

в робочому стані:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* \quad (3.1.1)$$

де $\sigma^* = 135$ МПа - для сталі ВСт3Гпс при температурі $t = 90^{\circ}\text{C}$ [6];

$\eta = 1$, так як апарат виготовляється з листового прокату [6].

$$[\sigma] = 1 \cdot 135 = 135 \text{ МПа,}$$

при гідравлічних випробуваннях:

$$[\sigma]_{\text{и}} = \frac{\sigma_{20}}{1,1} \quad (3.1.2)$$

де $\sigma_{20} = 202$ МПа - межа текучості для сталі ВСт3Гпс при $t = 20^{\circ}\text{C}$, МПа.

$$[\sigma]_{\text{и}} = \frac{202}{1,1} = 183,6 \text{ МПа,}$$

Приймаємо коефіцієнт міцності зварних швів обичайки при зварюванні з підкладною пластиною $\varphi = 0,9$ [6].

Збільшення до розрахункової товщині стінки: для компенсації корозії:

$$c = \Pi \cdot \tau + c_3 \quad (3.1.3)$$

де $c_3 = 0$ мм – прибавка для компенсації ерозії (суспензію не можна вважати абразивним матеріалом).

$$c = 0,05 \cdot 20 + 0 = 1 \text{ мм,}$$

Пробний тиск при гідровипробуванні:

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

$$p_{и} = \max \left\{ 1,5 \cdot P \cdot \left(\frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \right); \right. \\ \left. 0,3 \text{ МПа} \right\} \quad (3.1.4)$$

де P – тиск в апараті, МПа;

$[\sigma]_{20}$ - межа текучості для сталі ВСт3Гпс при $t = 20^\circ\text{C}$, МПа;

$[\sigma]$ - допустима напруга в робочому стані, МПа.

$$p_{и} = \max \left\{ 1,5 \cdot 0,1 \cdot \left(\frac{202}{135} \right) = 0,224 \text{ МПа}; \right. \\ \left. 0,3 \text{ МПа} \right\} = 0,3 \text{ МПа}$$

1. Тоді, розрахункова товщина стінки розподільної апарату:

$$s_p = \max \left\{ \frac{pD}{2\varphi[\sigma] - p} \right. \\ \left. \frac{p_{и}D}{2\varphi[\sigma]_{и} - p_{и}} \right\} \quad (3.1.5)$$

$$s_p = \max \left\{ \frac{0,1 \cdot 0,5}{2 \cdot 0,9 \cdot 135 - 0,1} = 0,000205 \text{ м}; \right. \\ \left. \frac{0,3 \cdot 0,5}{2 \cdot 0,9 \cdot 183,6 - 0,3} = 0,000454 \text{ м} \right\} = 0,454 \text{ мм},$$

Товщину стінки приймаємо конструктивно, з огляду на при цьому вимоги до жорсткості корпусу і трудомісткості його виготовлення.

З урахуванням компенсації на корозію і ерозію ($s = s_p + c = 0,454 + 1 = 1,454$ мм), і з огляду на високу плити, приймаємо найближчу товщину $s = 6$ мм.

2. Розрахункову товщину конічного днища (заздалегідь приймаємо кут нахилу $2\alpha = 90^\circ$) визначаємо за формулою:

$$s_p = \max \left\{ \frac{pD}{[(2\varphi[\sigma] - p) \cdot \cos \alpha]} \right. \\ \left. \frac{p_{и}D}{[(2\varphi[\sigma]_{и} - p_{и}) \cdot \cos \alpha]} \right\} \quad (3.1.6)$$

$$s_p = \max \left\{ \frac{0,1 \cdot 0,8}{[(2 \cdot 0,9 \cdot 135 - 0,1) \cdot \cos 45^\circ]} = 0,000465 \text{ м}; \right. \\ \left. \frac{0,3 \cdot 0,8}{[(2 \cdot 0,9 \cdot 183,6 - 0,3) \cdot \cos 45^\circ]} = 0,001 \text{ м} \right\} = 1 \text{ мм}$$

З урахуванням компенсації на корозію і ерозію ($s = s_p + c = 1 + 1 = 2$ мм),

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

і з огляду на високу плити, приймаємо товщину $s = 6$ мм.

3. З огляду на той факт, що після газової камери йде розширення діаметра, приймаємо діаметр $D = 0,8$ м, а кут нахилу $2\alpha = 15^\circ$. Тоді, розрахункова товщина стінки:

$$s_p = \max \left\{ \frac{\frac{pD}{[(2\varphi[\sigma] - p) \cdot \cos \alpha]}}{\frac{p_n D}{[(2\varphi[\sigma]_n - p_n) \cdot \cos \alpha]}} \right\} \quad (3.1.7)$$

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,1 \cdot 0,8}{[(2 \cdot 0,9 \cdot 135 - 0,1) \cdot \cos 15^\circ]} = 0,00034 \text{ м;} \\ \frac{0,3 \cdot 0,8}{[(2 \cdot 0,9 \cdot 183,6 - 0,3) \cdot \cos 15^\circ]} = 0,000773 \text{ м} \end{array} \right\} = 0,773 \text{ мм}$$

З урахуванням компенсації на корозію і ерозію ($s = s_p + c = 0,773 + 1 = 1,773$ мм), і з огляду на високу плити, приймаємо товщину $s = 6$ мм.

4. Розрахункову товщину конічної кришки (заздалегідь приймаємо кут нахилу $2\alpha = 90^\circ$) визначаємо за формулою:

$$s_p = \max \left\{ \frac{\frac{pD}{[(2\varphi[\sigma] - p) \cdot \cos \alpha]}}{\frac{p_n D}{[(2\varphi[\sigma]_n - p_n) \cdot \cos \alpha]}} \right\} \quad (3.1.9)$$

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,1 \cdot 0,8}{[(2 \cdot 0,9 \cdot 135 - 0,1) \cdot \cos 45^\circ]} = 0,000465 \text{ м;} \\ \frac{0,3 \cdot 0,8}{[(2 \cdot 0,9 \cdot 183,6 - 0,3) \cdot \cos 45^\circ]} = 0,001 \text{ м} \end{array} \right\} = 1 \text{ мм}$$

З урахуванням компенсації на корозію і ерозію ($s = s_p + c = 1 + 1 = 2$ мм),

і з огляду на високу плити, приймаємо товщину $s = 6$ мм.

Приймаються наступні стандартні елементи:

Кришка - Днище 90-800-6 ГОСТ 12619-78 (рис. 3.1.1)

Днище - Днище 90-500-6 ГОСТ 12619-78 (рис. 3.1.2)

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

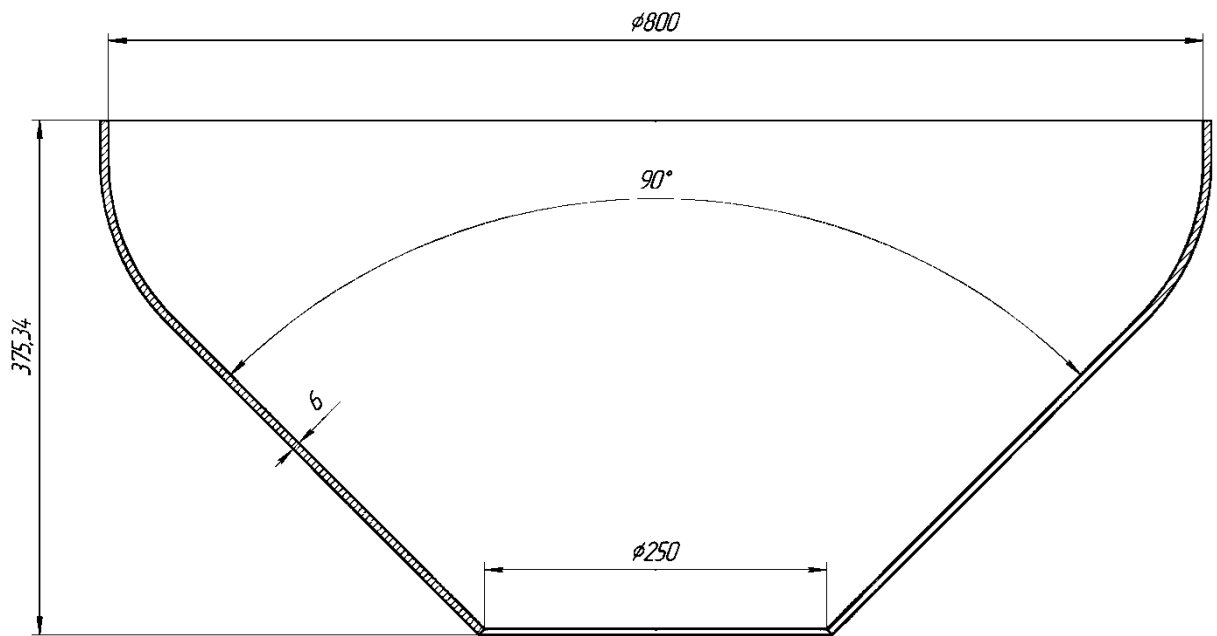


Рис. 3.1.1 – Схематичне зображення конічної кришки з отвором.

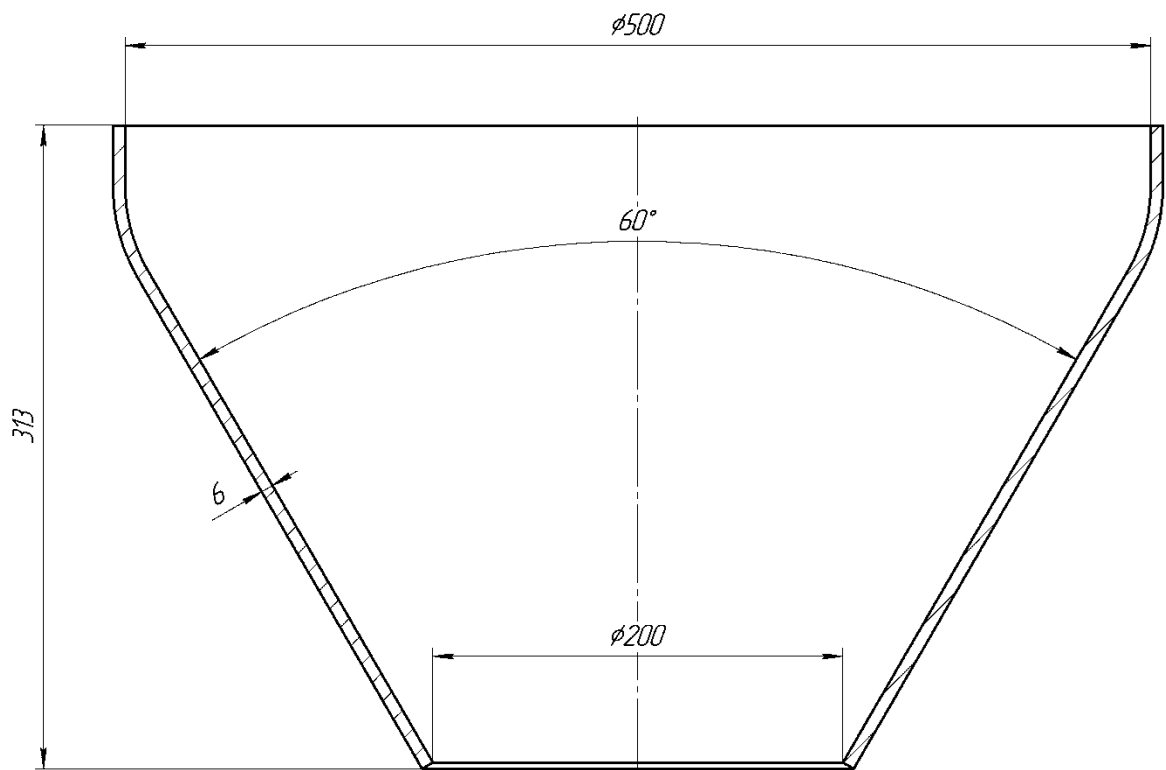


Рис. 3.1.2 – Схематичне зображення конічного днища з отвором.

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

3.2 ФЛАНЦЕВІ З'ЄДНАННЯ

Оскільки тиск в апараті атмосферний, розрахунок фланців виконувати не потрібно [6]. Тоді, приймаємо Фланець 1-500-0,3-0-20 ГОСТ 28759.2-90 (див. Рис.

3.2.1) для з'єднання днища з розподільною камерою з такими параметрами:

товщина стінки втулки $S = 8$ мм;

діаметр центрів отворів $D_{\text{ср}} = 580$ мм;

зовнішній діаметр $D_{\text{н}} = 620$ мм;

діаметр виступу $D_{\text{выст}} = 552$ мм;

діаметр впадини $D_{\text{впад}} = 536$ мм;

число отворів $n = 20$ шт;

діаметр отвору $M24$.

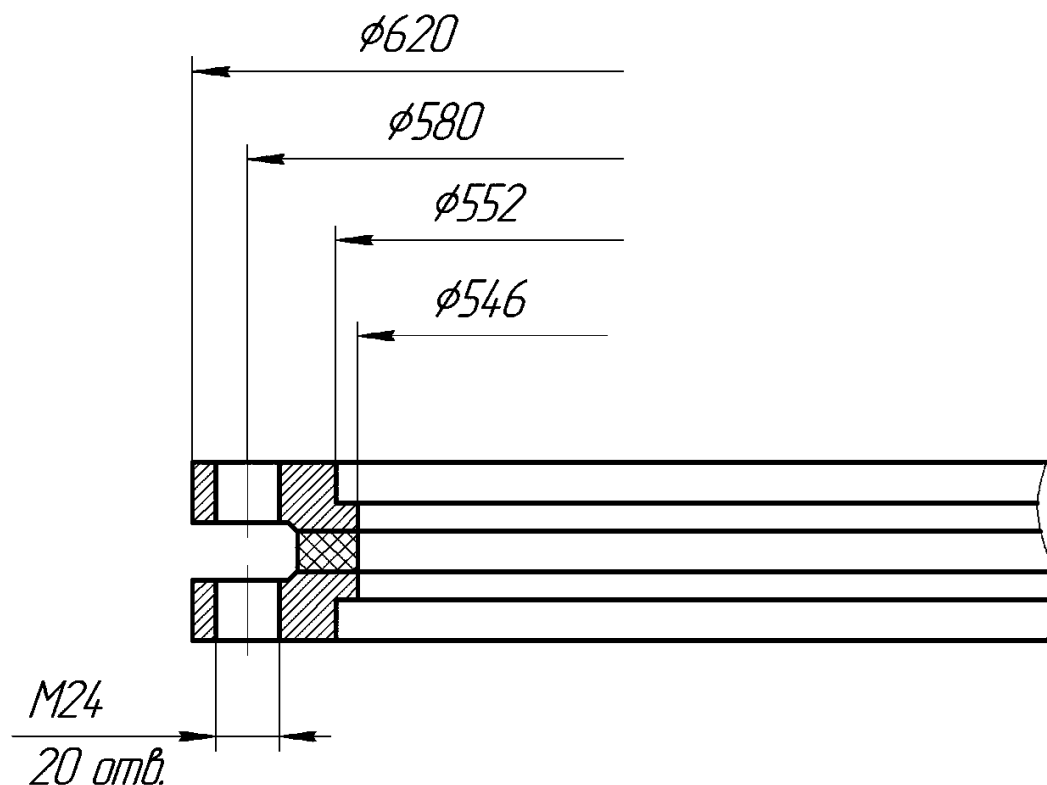


Рис. 3.2.1 - Схематичне зображення фланця

Для з'єднання кришки корпусу і корпусу апарату, приймаємо Фланець 1-800-0,3-0-20 ГОСТ 28759.2-90 (див. Рис. 3.2.2) з такими параметрами:

товщина стінки втулки $S = 8$ мм;

діаметр центрів отворів $D_{\text{ср}} = 880$ мм;

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

зовнішній діаметр $D_H = 920$ мм;
діаметр виступу $D_{\text{вист}} = 816$ мм;
діаметр впадини $D_{\text{впад}} = 800$ мм;
число отворів $n = 28$ шт;
діаметр отвору $M24$.

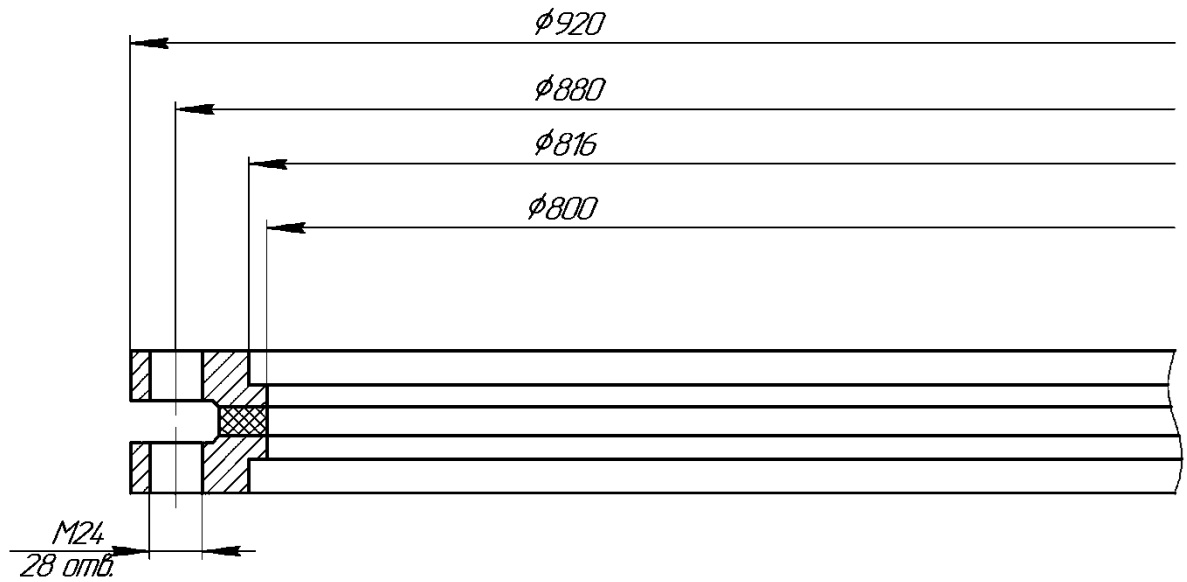


Рис. 3.2.2 – Схематичне зображення фланця

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

3.3 РОЗРАХУНОК ОПОР АПАРАТУ

Вертикальні апарати зазвичай встановлюють на стійках, якщо їх розміщують всередині приміщення, або на підвісних лапах, коли апарат розміщують між перекриттями в приміщенні або на спеціальних сталевих конструкціях.

Беремо тип опори - підвісні лапи.

Всі опори для сталевих зварних апаратів стандартизовані. Число опор визначається розрахунком.

Розрахуємо масу апарату:

$$M_a = (M_o + M_{дн} + M_{кр} + M_c + M_d) * 1,05 \quad (3.3.1)$$

де M_o - маса обичайки розподільної камери апарату, кг;

$M_{дн}$ - маса днища апарату, кг;

$M_{кр}$ - маса кришки апарату, кг;

M_c - маса сепараційної частини, кг.

Приймаємо масу допоміжного обладнання (завантажувальний і розвантажувальний пристрої, фланці, штуцери, газорозподільна решітка) 30% від маси основних частин апарату [4].

Маса обичайки розподільної камери:

$$M_o = \pi \cdot (D_a + s) \cdot s \cdot L_{об} \cdot \rho \quad (3.3.2)$$

де D_a – діаметр апарату, м;

s – товщина стінки апарату, м;

$L_{об}$ – довжина обичайки, м:

$$L_{об} = 0,6 \text{ м}$$

ρ – щільність матеріалу, кг/м³.

$$M_o^a = 3,14 \cdot (0,5 + 0,006) \cdot 0,006 \cdot 0,6 \cdot 7850 = 45 \text{ кг}$$

Маса днища апарату (виходячи з ГОСТ 12620-78):

$$M_{дн} = 23,1 \text{ кг}$$

Маса кришки апарату (виходячи з ГОСТ 12620-78):

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

$$M_{кр} = 47,9 \text{ кг}$$

Маса сепараційної частини:

$$M_c = H \cdot \pi \cdot (R_1^2 + R_1 \cdot R_2 + R_2^2) \cdot \rho \cdot s \quad (3.3.3)$$

де s – товщина стінки апарату, м;

ρ – щільність матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$;

H – висота конуса, приймаємо $H = 0,85$ м;

R_1 – менший радіус конуса, м;

R_2 – більший радіус конуса, м.

$$M_c = \frac{1}{3} \cdot 0,85 \cdot 3,14 \cdot (0,5^2 + 0,5 \cdot 0,8 + 0,8^2) \cdot 7850 \cdot 0,006 = 53,5 \text{ кг}$$

Тоді, маса порожнього апарату:

$$M_a = 45 + 23,1 + 47,9 + 53,5 = 169,5 \text{ кг}$$

$$M_d = M_a \cdot 0,3 \quad (3.3.4)$$

$$M_d = 169,5 \cdot 0,3 = 50,85 \text{ кг}$$

$$M_a = 169,5 + 50,85 = 220,35 \text{ кг}$$

Приймаємо остаточно масу апарату $M_a = 225$ кг.

Тоді сила тяжіння апарату, яка передається опорам, дорівнює:

$$P = M_{ап} \cdot g$$

$$P = 225 \cdot 9,81 = 2207,25 \text{ Н}$$

Навантаження на одну опору визначимо за формулою:

$$Q = \frac{\lambda_1 \cdot P}{Z} + \frac{\lambda_2 \cdot M}{D + 2 \cdot e} \quad (3.3.5)$$

де:

$$e = 0,5 \cdot (b + f_{max} + s_0 + s_H),$$

f_{max}, b – коефіцієнти, вибираємо по табл. 14.1 [7];

$s_0 = s - c - c_1$ – товщина стінки апарату в кінці терміну служби;

λ_1, λ_2 – коефіцієнти, що залежать від числа опор;

Z – число опор;

P – сила тяжіння апарату;

M – перекидаючий момент;

D – внутрішній діаметр апарату.

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

Приймаємо перекидаючий момент рівним нулю. тоді:

$$Q = \frac{1 \cdot 2207,25}{4} = 551 \text{ Н} \approx 0,56 \text{ кН}$$

Вибираємо стандартний тип лапи з накладним листом (рис. 3.3.1).

Опора 1-1600 ОСТ 26-01-153-82 з параметрами:

$Q = 1,6 \text{ кН}$; $a = 45 \text{ мм}$; $a_1 = 75 \text{ мм}$; $b = 60 \text{ мм}$; $C = 15 \text{ мм}$; $C_1 = 45 \text{ мм}$;
 $h = 90 \text{ мм}$; $S_1 = 8 \text{ мм}$; $K = 10 \text{ мм}$; $K_1 = 15 \text{ мм}$; $d = 12 \text{ мм}$; $d_6 - \text{M12}$.

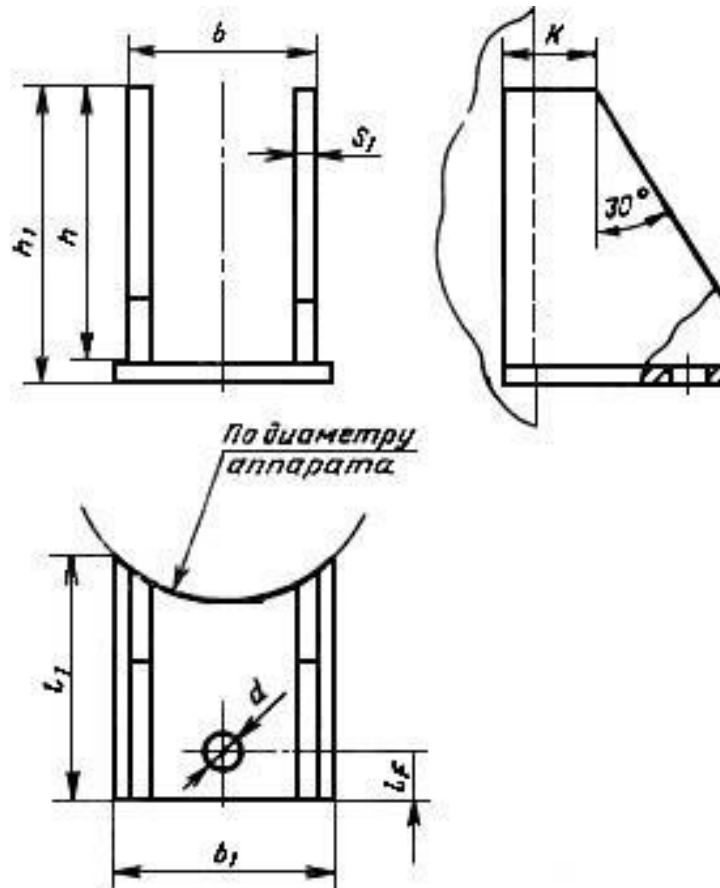


Рис. 3.3.1 – Схематичне зображення опори

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

4. МОНТАЖ ТА РЕМОНТ АПАРАТУ

4.1 МОНТАЖ АПАРАТУ

Монтаж сушарок починають зі збірки і установки опорних конструкцій. Опорні конструкції збирають на стелажах, вивіренних в горизонтальній площині.

При монтажі металевого облицювання каркасів сушарок виправляють листи і кріплять їх до елементів каркаса болтовим з'єднанням. Розташування отворів в листах обшивки можна змінювати; зміна розбивки або збільшення отворів в елементах каркасу забороняється.

При установці люків і вікон допускається зміщення центру вікна (люка) від горизонталі і вертикалі в порівнянні з проектними розмірами не більше 5 мм.

При установці форсунок їх осі повинні збігатися в плані і по висоті з віссю амбразури в кожусі сушарки, а також з віссю тунелю. Відхилення центру форсунки по відношенню до осі не повинно перевищувати 5 мм.

Сушарки, що поставляються на монтажний майданчик у зібраному вигляді, встановлюють за проектними осями і позначками. Горизонтальність сушарки вивіряють за допомогою рівня.

Відхилення при складанні панелей каркасів не повинні перевищувати наступних розмірів:

Міжцентрова відстань між стійками:

при відстані до 4 мм	±3 мм
12 мм	±5 мм
16 мм	±8 мм

Допустиме відхилення від проектних розмірів при монтажі опорних конструкцій:

Зсув осей колон каркасів і опорних рам під обладнанням щодо розбивочних осей	5 мм
Відмітки опорної поверхні каркасів і опорних рам під устаткуванням	±5 мм

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

Відхилення від горизонтальної площини елементів каркаса	1 мм на 1 м но не більше 5 мм
Відхилення від горизонтальної площини опорних рам і плит під обладнання	2 мм на 1 м, но не більше 3 мм

Бункери і воронки завантажувальних або розвантажувальних пристроїв сушарок встановлюють і закріплюють відповідно до проекту. Відхилення осі бункера або воронки щодо осі сушарки не повинні перевищувати ± 5 мм, висотні позначки бункерів і воронок ± 10 мм.

Течки і патрубки з вмонтованими заслінками і шиберами встановлюють за проектними осями і позначками. Відхилення змонтованих течок та патрубків, а також шлюзових або секторних затворів від проектного положення не повинні перевищувати ± 5 мм.

Сушарки, які працюють під тиском, піддаються на монтажному майданчику гідравлічному випробуванню тиском, зазначеним у паспорті сушарки. Сушарки, які працюють з небезпечними для здоров'я людей речовинами, разом з трубопроводами також перевіряють на герметичність повітрям або іншим інертним газом на тиск, зазначений в паспорті. Сушарки, які працюють при атмосферному тиску, перевіряють, наливаючи в них воду або змочуючи зварні шви гасом.

До початку випробування вхолосту закінчують всі загально будівельні роботи і монтаж технологічних і енергетичних комунікацій. До початку комплексного випробування сушального агрегату кожен механізм повинен бути обкатаний окремо.

При пуску вхолосту агрегат повинен пропрацювати 10 хв, після чого його зупиняють, перевіряючи фундаментні болти, гвинти підшипників і систему мастила. Справні агрегати обкатують протягом 4 ч.

Комплексне випробування сушарок під навантаженням виробляють протягом 7 год. В окремих випадках тривалість випробування визначають умови технології, але в будь-якому випадку випробування триває не більше 72 ч.

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

4.2 РЕМОНТ АПАРАТУ

Налагодження розпилювальних сушарок полягає в усуненні несправностей, що виникають при їх роботі. Перелік характерних несправностей, їх причини та способи усунення наведені в табл. 4.2.1.

Таблиця 4.2.1 Характерні несправності сушарки.

Несправність	Причина	Спосіб усунення
Погане розпилення продукту.	Засмітився трубопровід або розпилювальна форсунка. Подача вихідного матеріалу велика.	Розібрати і прочистити трубопровід і форсунку. Зменшити подачу вихідного матеріалу.
У відпрацьованому повітрі на виході з сушарки міститься велика кількість частинок продукту.	Погано працюють циклони. Підсмоктування повітря через шлюзові затвори.	Перевірити й усунути несправності в циклонах. Усунути нещільності в шлюзових затворах.
На стінки сушарки налипають вологі невисушені частки матеріалу, утворюються підтечі	Завищена подача продукту при недостатній подачі повітря і низькій його температурі.	Відрегулювати режим сушіння в сушарці. Привести у відповідність подачу продукту і повітря, збільшити температуру повітря. Негайно вимкнути насос, зупинити сушарку в аварійному порядку і усунути несправність приводу.
Висушений продукт не вивантажується з сушарки.	Засмітився розвантажувальний отвір. Несправний транспортний вентилятор.	Прочистити розвантажувальний отвір. Відремонтувати вентилятор.
Недостатня подача і відсмоктування повітря з сушарки.	Погано працюють нагнітальний і витяжний вентилятори. Закрито шибер, засмічені повітроводи	Перевірити роботу вентиляторів і відремонтувати їх. Оглянути і прочистити шибери і повітроводи.

При ремонті сушарок різних типів виробляють такі загальні види робіт.

Для ремонту нагрівача повітря (калорифера) сушарки його від'єднують від паропроводу і лінії відводу конденсату і демонтують. Зовні трубки і пластини нагрівача обдувають стисненим повітрям, а при сильному забрудненні промивають розчином кальцинованої соди. Секції піддають гідравлічному випробуванню. Кінці трубок в трубних решітках, що мають течі, вирубують і заварюють. Внутрішню поверхню трубок в залежності від складу накипу промивають концентрованим лужним розчином, соляною кислотою або кислотою освітленою сироваткою. Після складання систему нагрівача обпресовують паром при робочому тиску. При заміні зношеного нагрівача новим необхідно, щоб поверхня нагріву залишилася без зміни.

Паровий колектор («гребінку») при ремонті від'єднують від паропроводів, ставлять на них заглушки і знімають всі вентиля. При необхідності клапани і гнізда вентилів проточують і притирають. Конденсатовідводи знімають, ремонтують і ставлять на місце; при необхідності ремонтують вентиля обвідної лінії.

Підшипники валів вентиляторів замінюють. Після складання проводять центрування валів вентилятора і електродвигуна. При ремонті повітропроводів їх розбирають по ділянках, правлять, замінюють прокладки, відновлюють ізоляцію і збирають.

Після ремонту сушарку збирають і піддають випробуванням.

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

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТІВ ПО СТУПЕНЮ НЕБЕЗПЕКИ, ТОКСИЧНОСТІ

Таблиця 5.1.1 - Характеристика токсичності, пожежо- та вибухонебезпечності димного порошу і його компонентів

Назва характеристики	Назва продукту	Характеристика
Токсичність	Димний порошок	Не токсичний. ГДК пилу в повітрі не встановлена
	Калієва селітра	Токсична. Пошкоджує слизову оболонку носа. ГДК пилу в повітрі 5 мг/м ³
	Сірка комкова	Не токсична
	Сірка мелена	Слабо токсична. Гострі отруєння виключені. При тривалому впливі можливе запалення слизової оболонки очей і верхніх дихальних шляхів, роздратування шкірних покривів, біль в животі. ГДК 6 мг/м ³
	Вугілля	Не токсичне. ГДК для нетоксичного пилу 10 мг/м ³
Пожежонебезпека	Калієва селітра Сірка Вугілля Серовугільна суміш	Пожежонебезпечні
Вибухонебезпечність	Калієва селітра	Не вибухонебезпечний
	Сірка, пил	Пилоповітряна суміш вибухонебезпечна
	Вугілля	Не вибухає
	Сірковугільна суміш	Не вибухає
	Димний порошок	Вибухонебезпечний. Температура спалаху 290-310°C
Чутливість до удару	Димний порошок	Не чутливий
Чутливість до тертя при зсуві	Порохова м'якоть	Не чутлива

Таблиця 5.1.2 – Електростатичні властивості

Назва матеріалу	Відносна діелектрична проникність	Питомий об'ємний опір, Ом • м	Мінімальна енергія спалаху, 10 ³ Дж, не менше
Калієва селітра	4,37	10 ⁵ - 10 ⁷	-
Сірка лускована (менше 70 мкм) 3,7	Більше 10 ¹⁵	Більше 10 ¹⁵	6,0 (ППС) 1,6 (відкладення пилу на стінках)
Вугілля, насипний шар (вологість 3-5%)	1,4 – 2,4	10 ¹³ - 10 ¹⁰	40 (ППС)
Сірковугільна суміш (вологість 1-3%)	1,5 – 2,0	10 ¹³ - 10 ¹⁰	3,5 (ППС)
Димний порошок, пил (вологість 0,3 - 0,5%)	1,8 – 2,3	2 · 10 ¹¹ – 10 ⁹	3,5 (ППС)
Димний порошок, насипний шар (вологість 0,3 - 0,5%)	2,5 – 3,3	2 · 10 ¹⁰ – 10 ⁸	Більше 56

5.2 ХАРАКТЕРИСТИКА БУДІВЛІ ЗА СТУПЕНЕМ ВИБУХОПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ

Будівля виробництва димного порошу за водносуспензійною технологією за ступенем вибухо-і пожежонебезпеки згідно ОНТП 24-86 відноситься до категорії Б.

Приміщення грануляції і реакторів робочої суспензії, згідно з ПУЕ, відноситься до класу В-II, інші - до класу П-II.

Будівля виготовлення димного порошу за водносуспензійною технологією мають бути забезпечені такими засобами пожежогасіння:

- пожежні крани - у всіх технологічних приміщеннях;
- вогнегасники вуглекислотні, пісок, азбестова ковдра - в машинному відділенні і на пульті управління;
- вогнегасники пінні - у відділенні підготовки компонентів (сірки, вугілля, селітри).

Забороняється проводити технологічні роботи при відсутності в будинку і в прилеглому гідранті води.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

5.3 ПРАВИЛА ПО ТБ, ЗАХОДИ ЗАХИСТУ ВІД СТАТИЧНОЇ ЕЛЕКТРИКИ

Всі роботи в технологічних приміщеннях повинні проводитися в спецодязі, що не містить синтетики, металевих предметів і т.д. Забороняється мати при собі брошки, кільця, застібки та інші подібні предмети.

Перед пуском установки грануляції все обладнання перевіряється в незавантаженому стані. При виявленні несправностей або відхилень в роботі обладнання, роботу припинити і доповісти майстру.

У всіх робочих приміщеннях повинні бути переліки необхідного інструменту та інвентарю, підписані начальником цеху, затверджені норми завантаження, інструкції з охорони праці. При втраті інструменту або будь-якої деталі, при наявності стороннього предмета в технологічному приміщенні, при наявності в сировині напівфабрикату або в готовій продукції сторонніх предметів - роботу припинити.

Зберігання та транспортування відходів, що повертаються без етикеток і разом з готовою продукцією, не допускається.

Тара, яка використовується у виробництві, перед її застосуванням перевіряється на відсутність сторонніх предметів.

Категорично забороняється заходити в приміщення грануляції при роботі гранулятора. Дозволяється заходити тільки через п'ять хвилин після зупинки обладнання.

Забороняється проходити повз працюючого приміщення грануляції (коли горить сигнальна лампа).

Засоби захисту від статичної електрики повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.4.124.

Всі металоконструкції і електрообладнання повинні бути надійно заземлені. Опір заземлення не повинен перевищувати 100 Ом. Не допускається використовувати для заземлення болти, що виконують роль скріплення деталей. У технологічних приміщеннях необхідно підтримувати відносну вологість шляхом зволоження стін. На вході в приміщення грануляції повинно лежати волога тканинна ковдра.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

У всіх приміщеннях підтримується чистота і порядок, не допускається накопичення пилу на обладнанні, стінах, вентиляційних трубах, вікнах, опалювальних системах. У всіх приміщеннях протягом зміни проводиться вологе прибирання, після закінчення процесу грануляції вологе прибирання проводиться в приміщенні грануляції. Розсипаний на підлогу порошок або напівфабрикат негайно збирають і відносять в тару для відходів.

Управління процесом грануляції здійснюється дистанційно з пульта управління. Присутність людей при процесі в приміщенні грануляції не допускається.

Все обладнання, що має обертові частини, повинно мати загородження.

При ремонті двигунів, насосів та обладнання на місці їх включення повинна бути вивішена табличка з написом: «Не вмикати! Працюють люди».

При виникненні пожежі в сусідній будівлі роботу припинити. Викликати пожежну команду по телефону і повідомити адміністрацію підприємства. Забороняється брати участь у гасінні пожежі або загоряння в спецодязі, який заповнений порошком або його компонентами.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

ВИСНОВКИ

У даній роботі був виконаний розрахунок гранулятора киплячого шару для виробництва димного порошу продуктивністю 100 кг/год.

В ході розрахунків були визначені основні геометричні розміри запроєктованого апарату, розрахована кількість тепла, необхідна для даного процесу. Виконано перевірку газових решіток на гідродинамічну стабільність і підібрані стандартні рифлені сітки.

Проведено проектно-конструкційні розрахунки товщини стінок обичайок корпусу, днищ (кришок), які сприймають внутрішньо надлишковий тиск.

Виконано вибір фланцевих з'єднань корпус-кришка, корпус-розподільна камера, корпус-днище. Обрані опори для гранулятора.

Розрахунки проведені згідно до стандартів.

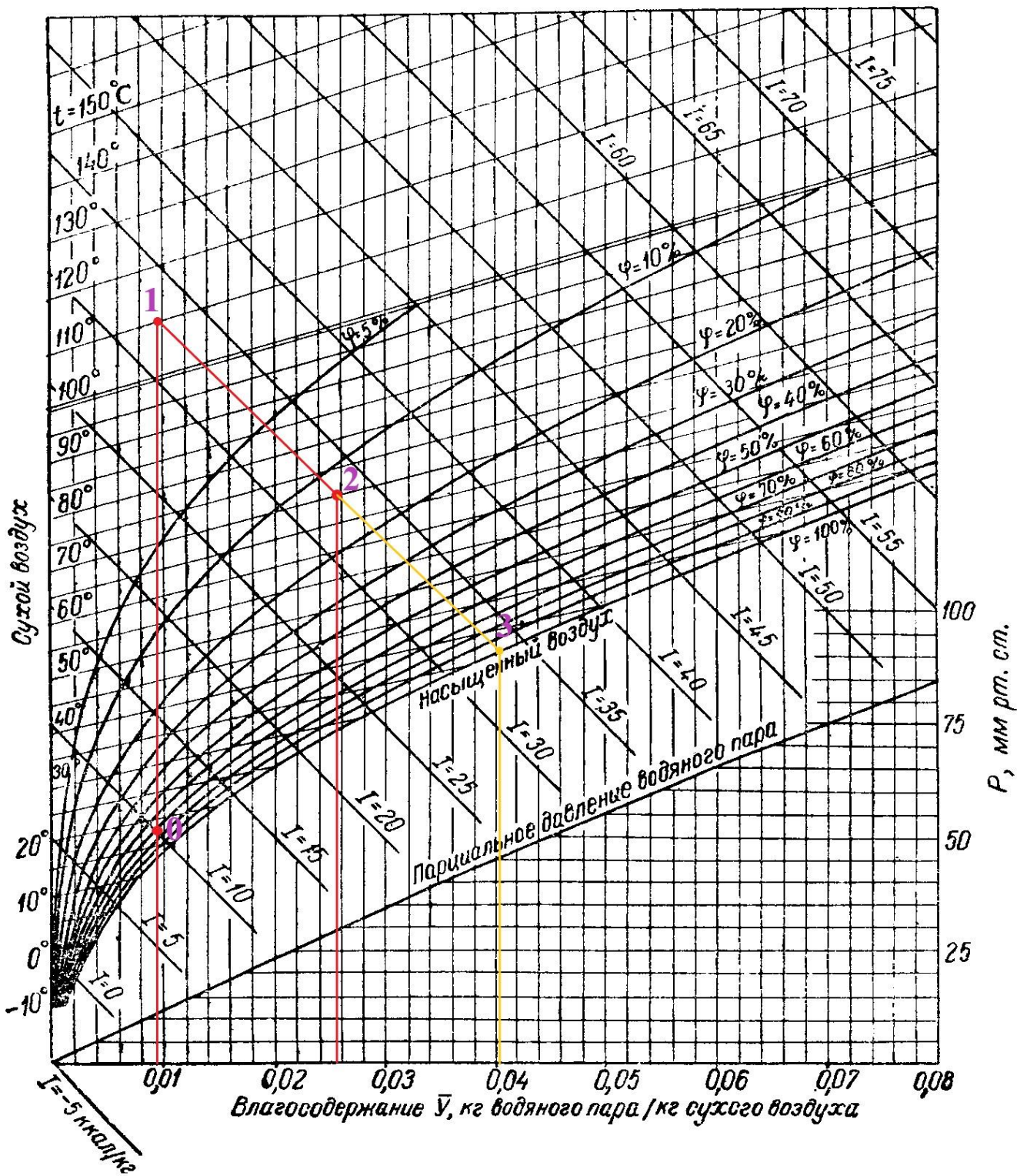
					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – 2-е изд. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
3. Лыков М.В., Леончик Б.И. Распылительные сушилки. – М.: Машиностроение, 1966. – 331 с.
4. Дытнерский Ю.И. и др. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по курсовому проектированию. – М.: Химия, 1983. – 272 с.
5. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – 9-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1973. – 754 с.
6. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1979. – 272 с.
7. Плановский А.Н., Муштаев В.И., Ульянов В.М. Сушка дисперсных материалов в химической промышленности. – М.: Химия, 1979. – 287 с.

					ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

ДОДАТОК А - ПРОЦЕС СУШІННЯ НА ДІАГРАМІ РАМЗИНА

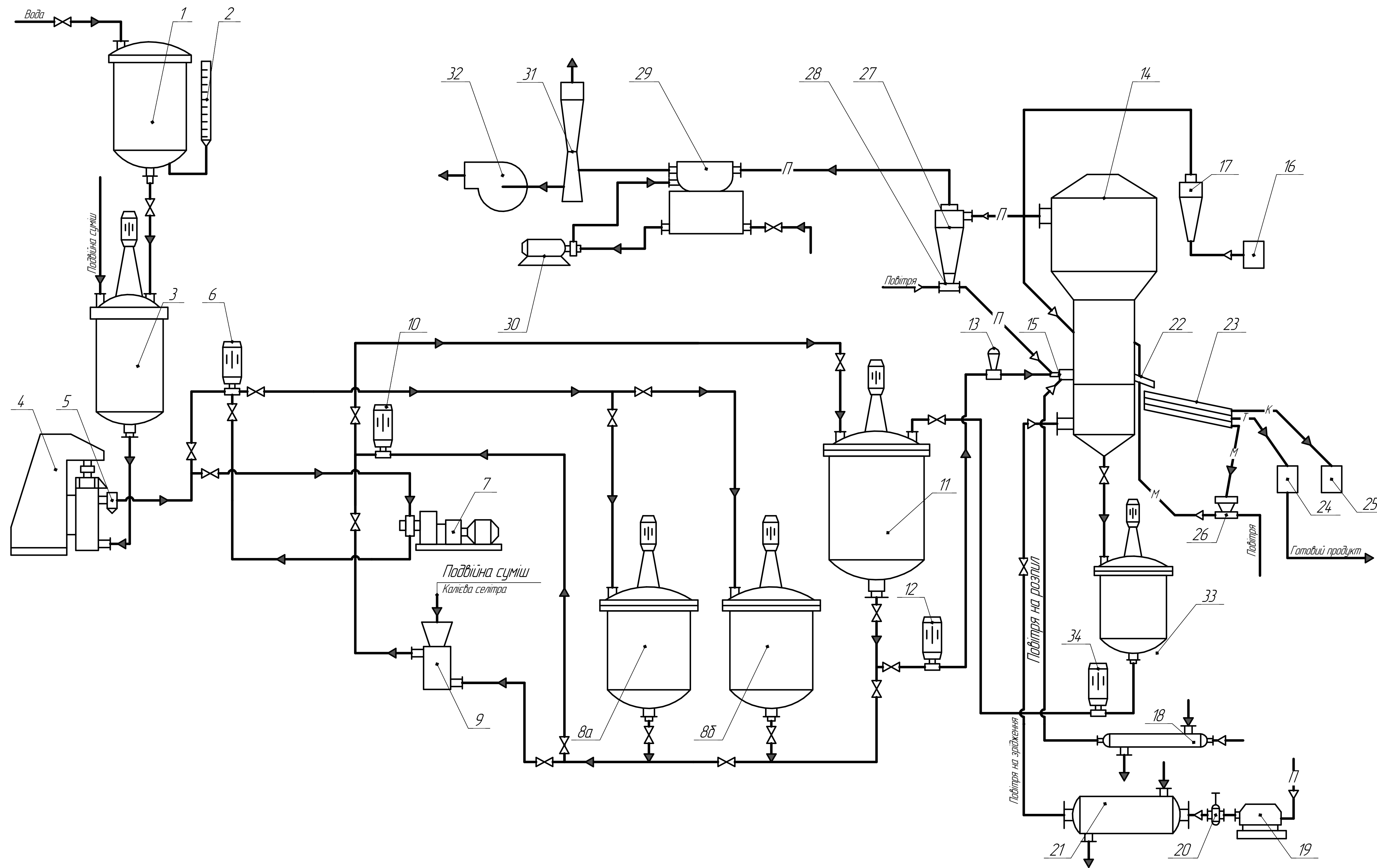


Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ХТВМС.С.00.00.00 ПЗ

Арк.

61



Номер позиції	Назва	Кіл.	Примітка
1	Мірник	1	
2	Рівнемір	1	
3	Змішувач	1	
4	Бісерний млин	1	
5	Бак приймання бісерного млину	1	
6	Насос	1	
7	Кавітаційний млин	1	
8а, 8б	Реактор для підготовки	2	
9	Додатковий змішувач	1	
10	Насос	1	
11	Витратний реактор	1	
12	Насос	1	
13	Дозатор	1	
14	Гранулятор КШ	1	
15	Форсунка гранулятора	1	
16	Бункер з первинним шаром для грануляції	1	
17	Насос пневматичний	1	
18	Теплообмінник	1	
19	Вентилятор	1	
20	Засувка	1	
21	Теплообмінник	1	
22	Пристрій для вивантаження гранулятора	1	
23	Класифікатор	1	
24	Бункер для товарної фракції	1	
25	Бункер для крупної фракції	1	
26	Ежектор	1	
27	Циклон	1	
28	Ежектор	1	
29	Вологий фільтр	1	
30	Насос	1	
31	Ежектор	1	
32	Вентилятор хвостовий	1	
33	Реактор з водою	1	
34	Насос	1	

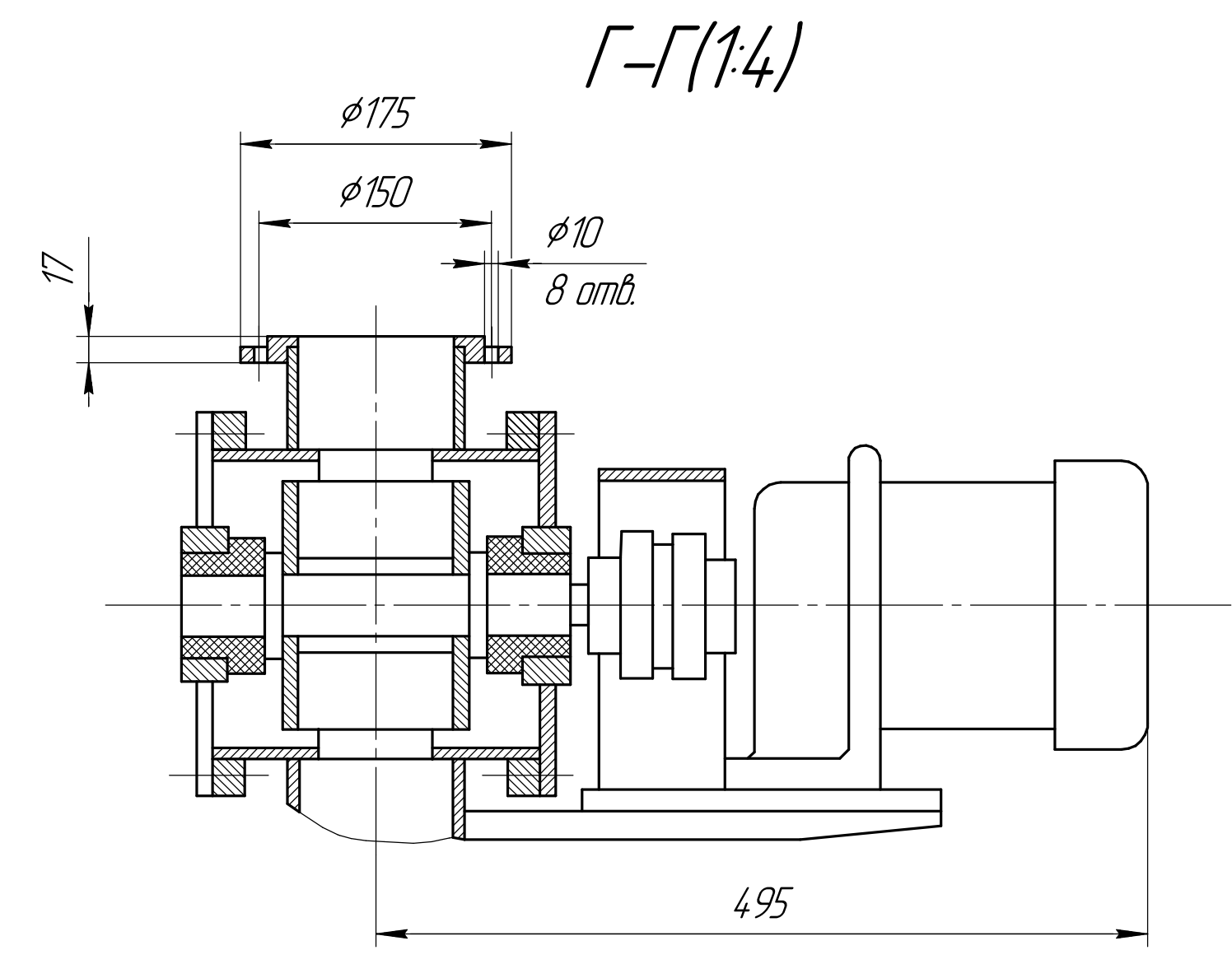
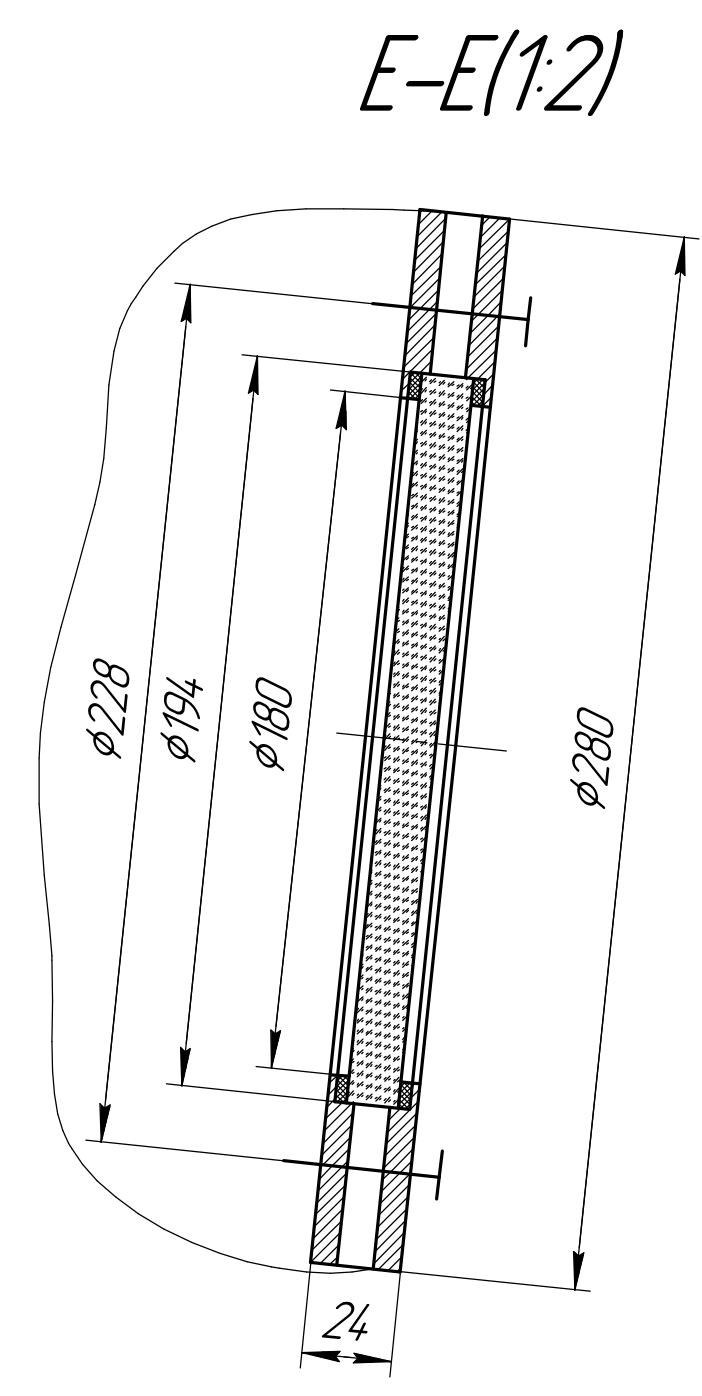
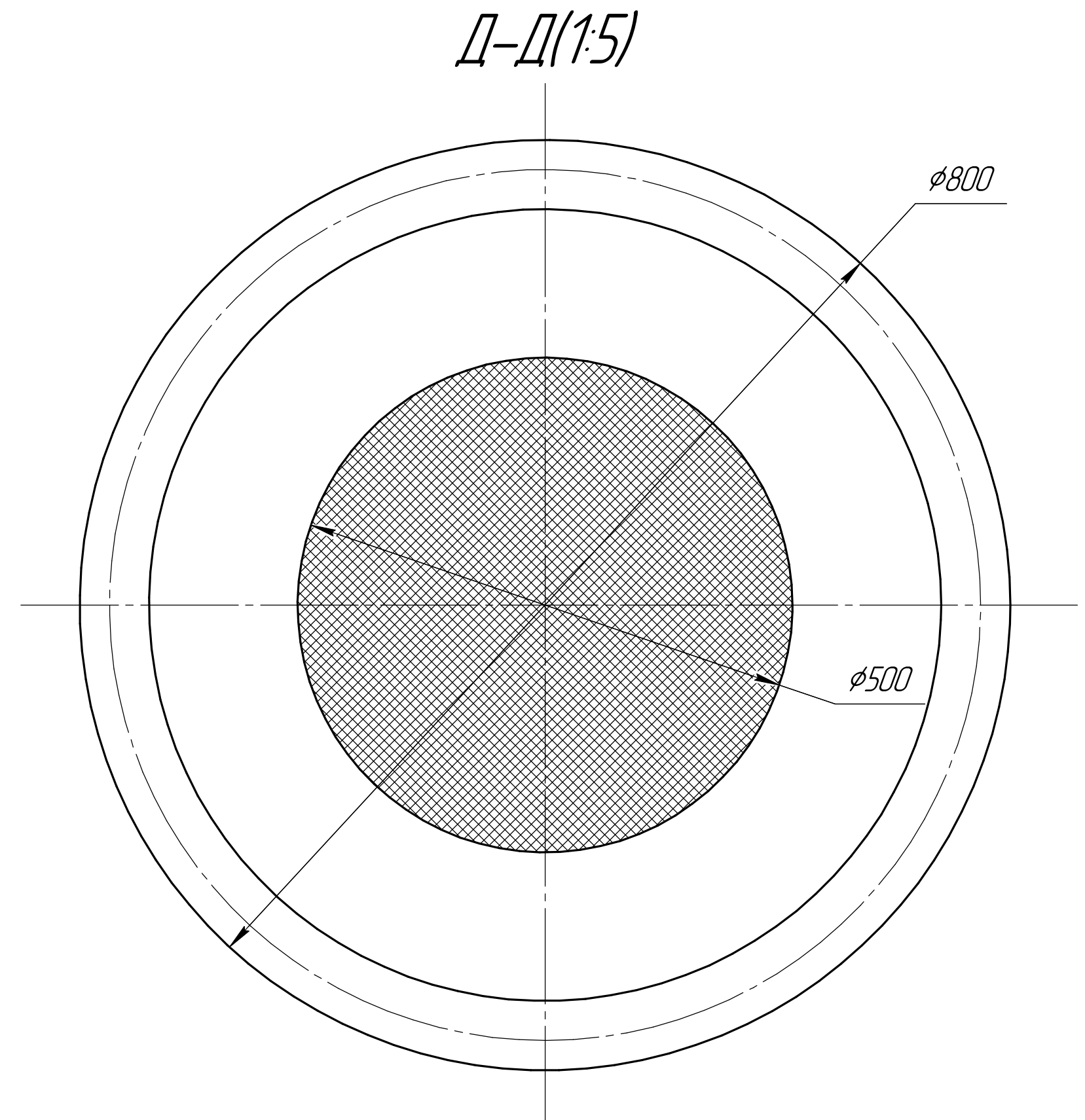
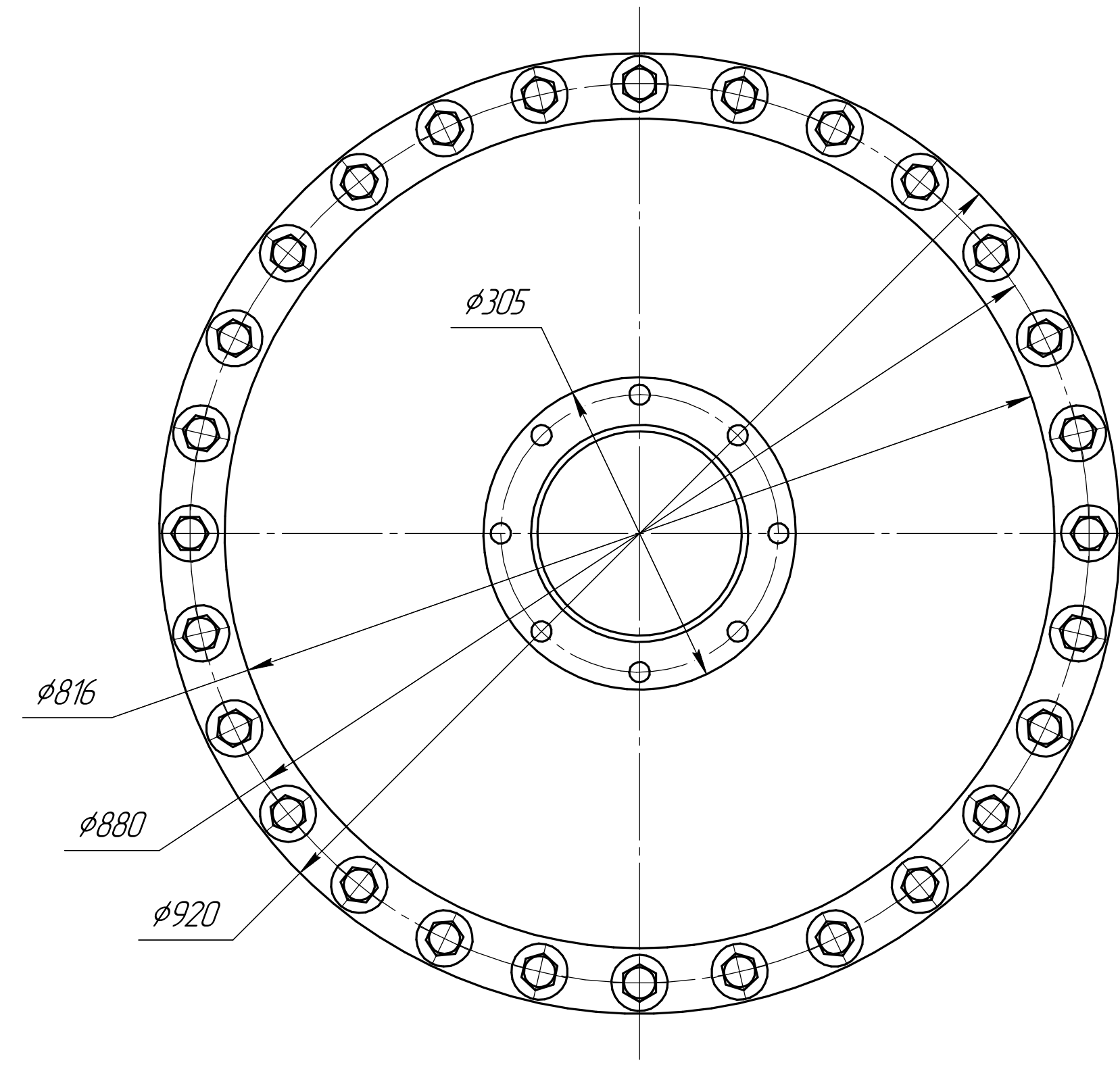
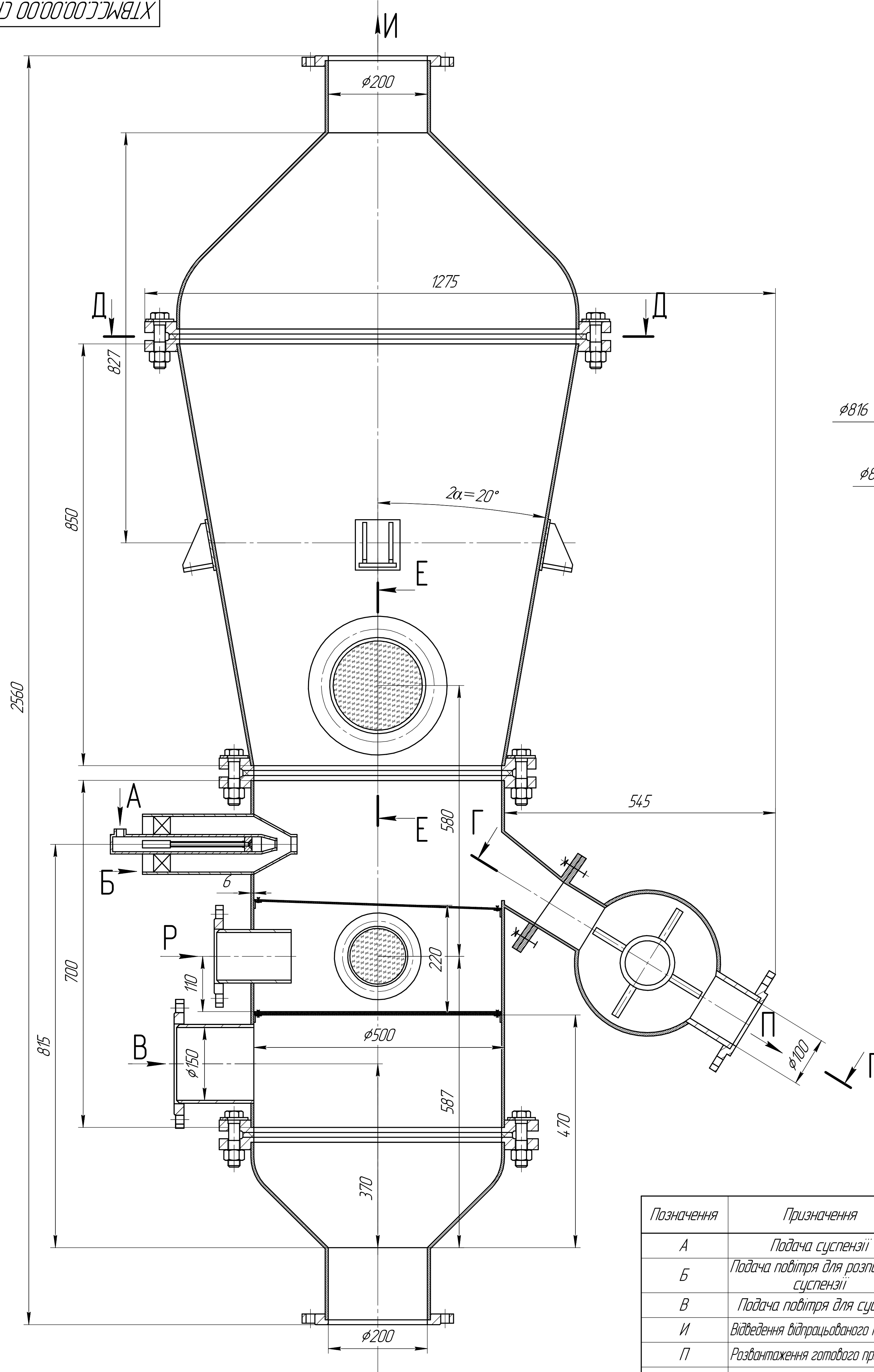
Лист № 1
Лист № 2
Лист № 3
Лист № 4
Лист № 5
Лист № 6
Лист № 7
Лист № 8
Лист № 9
Лист № 10
Лист № 11
Лист № 12
Лист № 13
Лист № 14
Лист № 15
Лист № 16
Лист № 17
Лист № 18
Лист № 19
Лист № 20
Лист № 21
Лист № 22
Лист № 23
Лист № 24
Лист № 25
Лист № 26
Лист № 27
Лист № 28
Лист № 29
Лист № 30
Лист № 31
Лист № 32
Лист № 33
Лист № 34

ХТВМС.С.00.00.00 СЗ				Лист			Масштаб		
Виробництво	№ докум.	Подп.	Дата	у	-	-	Масштаб		
Проб.	Закорючка			Листів			1		
Т.контр.	Закусило			Листів			1		
Н.контр.				Листів			1		
Утв.				Листів			1		

Виробництво димного пороху
Схема загальна

ШСумДУ
гр. ХМ-61ш-7

Формат А1



Технологічні умови

1. При виготовленні, випробуванні та установці апарату повинні бути виконані умови ОСТ 26-01-112-79 ГОСТ 12.2.003-74.
2. Корпус апарату і деталі виготовити зі сталі ВстЗГсп ГОСТ 5632-61
3. Основні умови безпеки ОСТ 26-01-79 посудини і апарату сталеві зварні.
4. Зварні з'єднання повинні відповідати умовам ОСТ 26-291-82 зварювання в хімічному машинобудуванні.
5. Зварні шви в повному обсязі перевірити рентгеновим виміром ОСТ 26-291-79
6. Апарат випробувати на міцність в горизонтальному положенні тиском 0,3 МПа

Позначення	Призначення	Умовний діаметр, мм	Умовний тиск, МПа
A	Подача суспензії	50	0,3
Б	Подача повітря для розпилення суспензії	100	0,3
В	Подача повітря для сушіння	200	0,3
И	Відведення відпрацьованого повітря	200	0,3
П	Розвантаження готового продукту	100	0,3
Р	Подача робочого шару порошку	100	0,3

Технічна характеристика	
Висушуваний матеріал	Димний порошок
Продуктивність по висушваному матеріалу, кг/год	100
Початкова вологість матеріалу, %	25
Кінцева вологість матеріалу, %	0,7
Температура повітря на вході в сушарку, °C	110
Температура повітря на виході з сушарки, °C	70
Теплоносії	Повітря

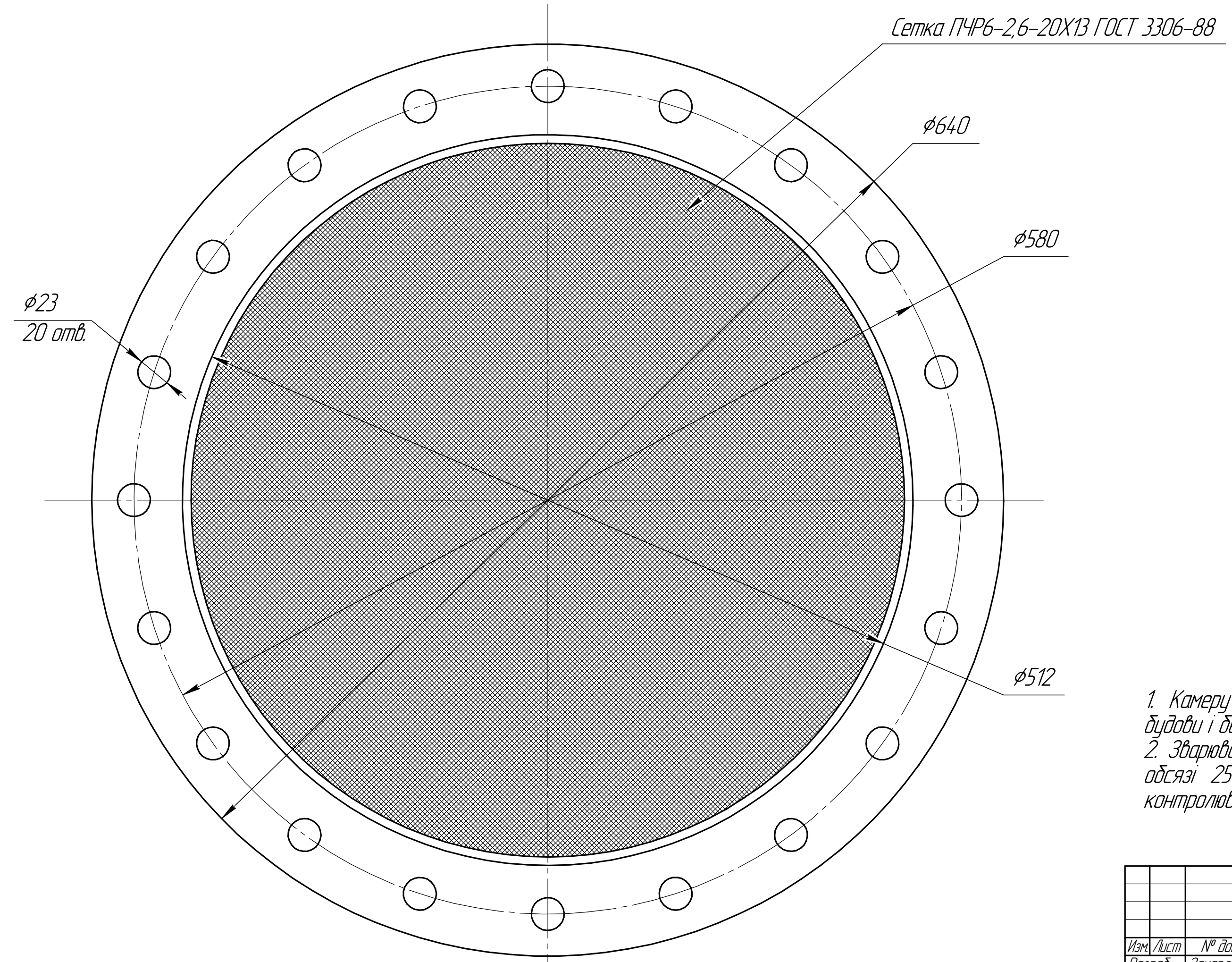
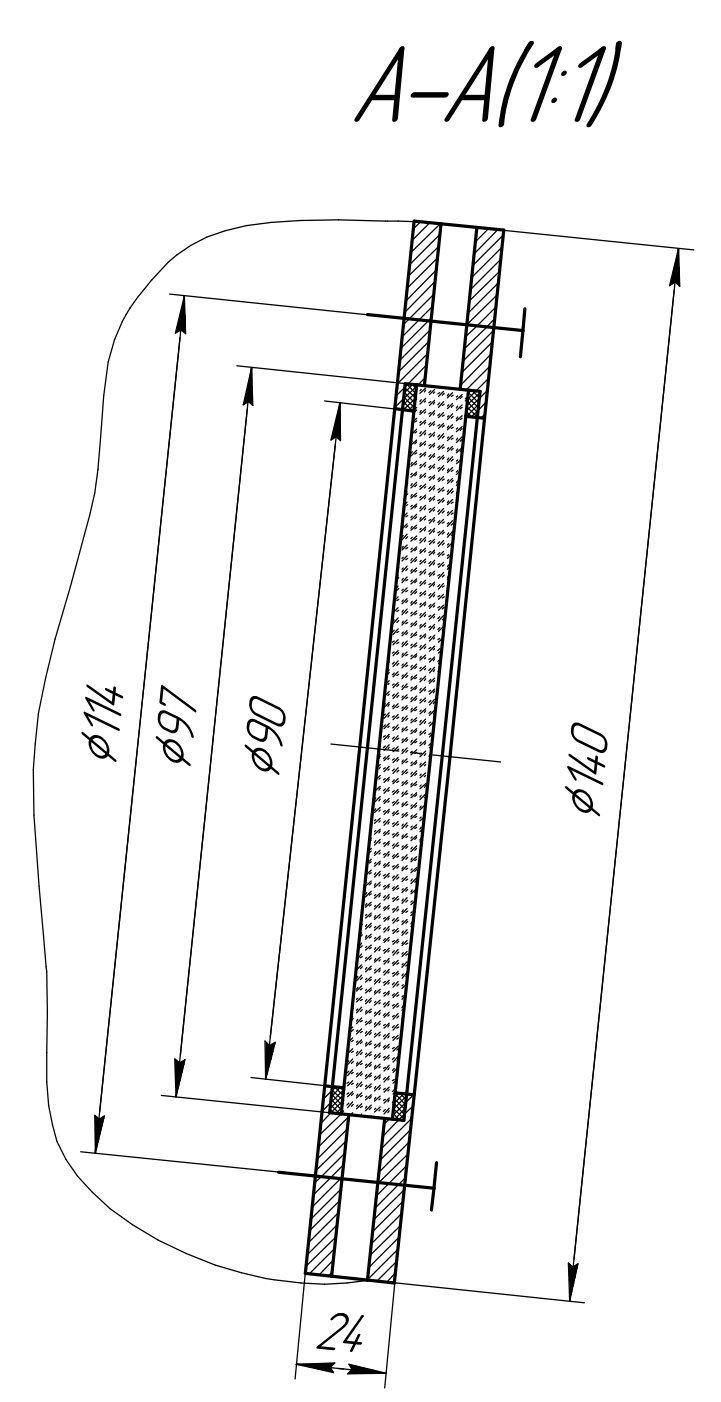
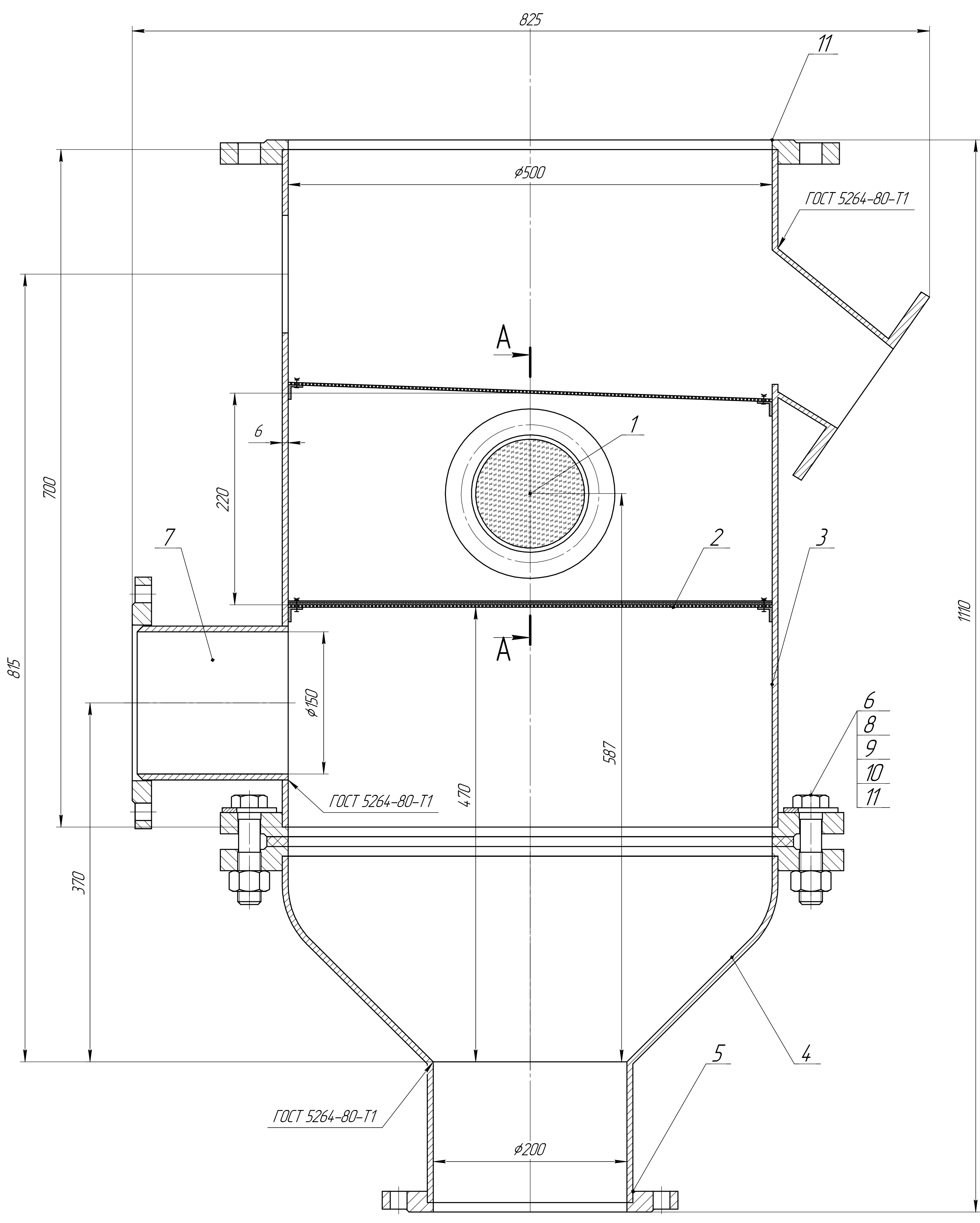
ХТВМС.С.00.00.00 СК

Гранулятор киплячого шару
Складальне креслення

Лист	Маса	Масштаб
у	225	15
Листів 1		
ШСумДУ		
гр. ХМ-61ш-7		
Формат А1		

Копіравал

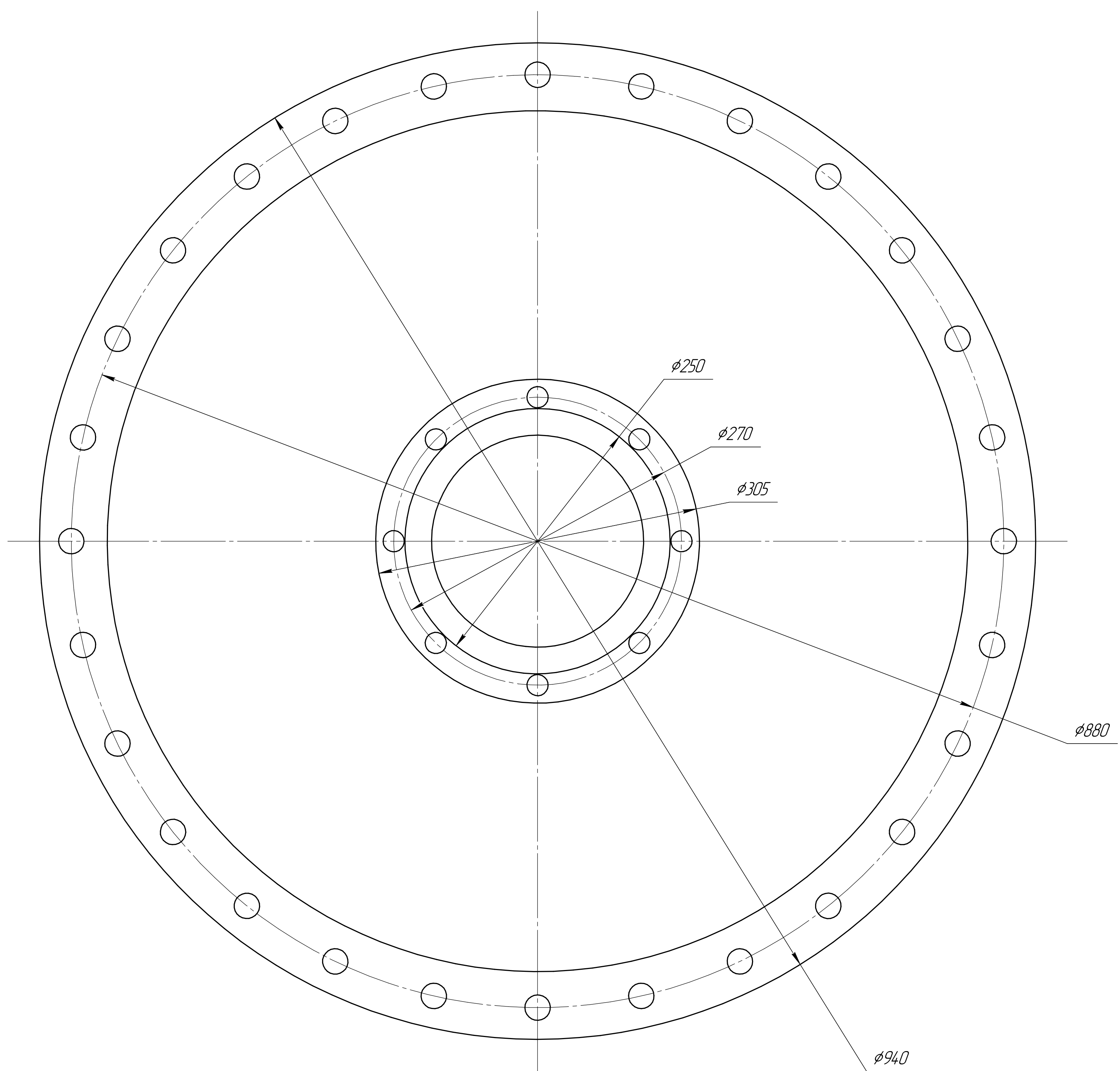
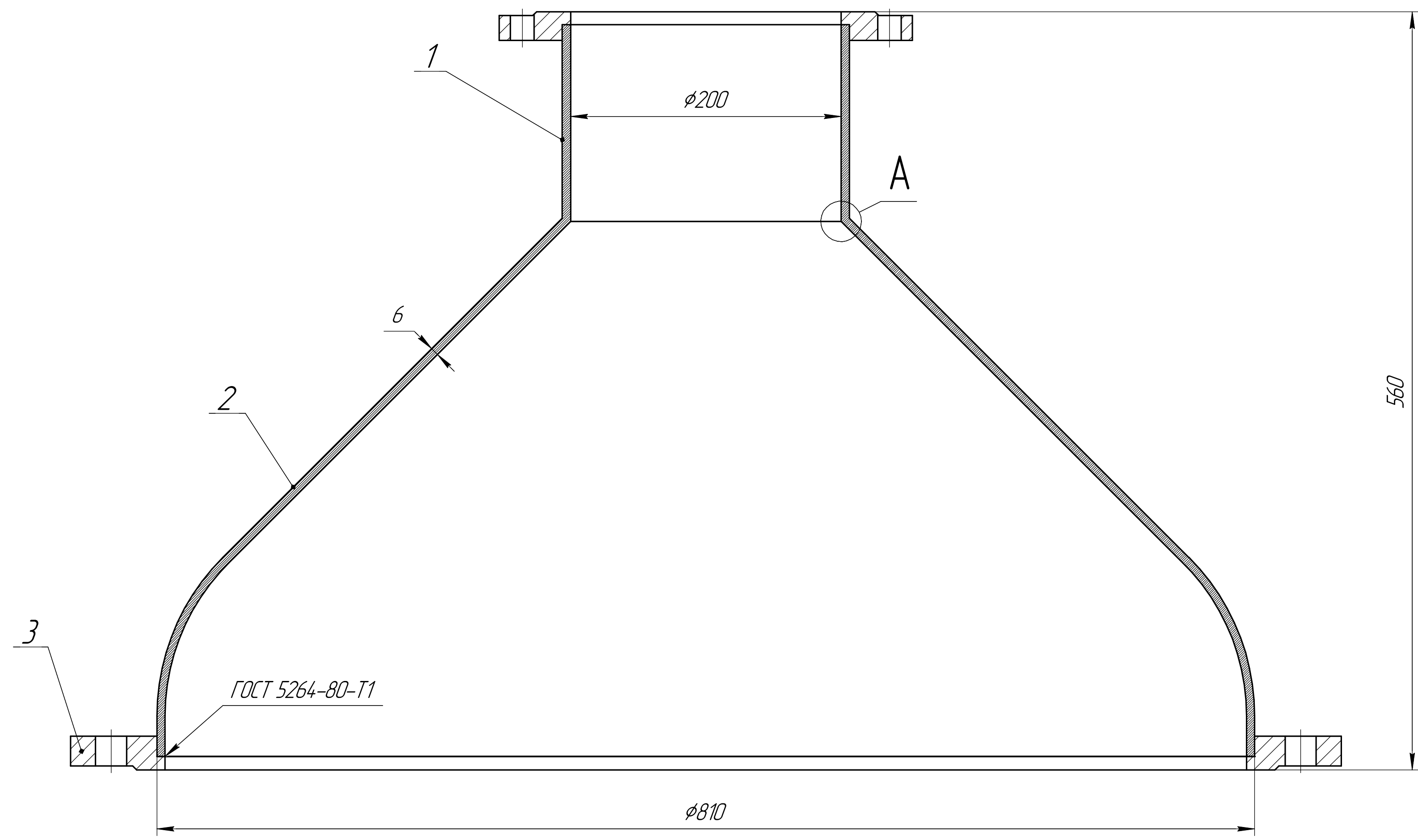
Лист № 1 з 1
Листів у даній
Всього листів № 1
Сторінка № 1
Перед. примірник



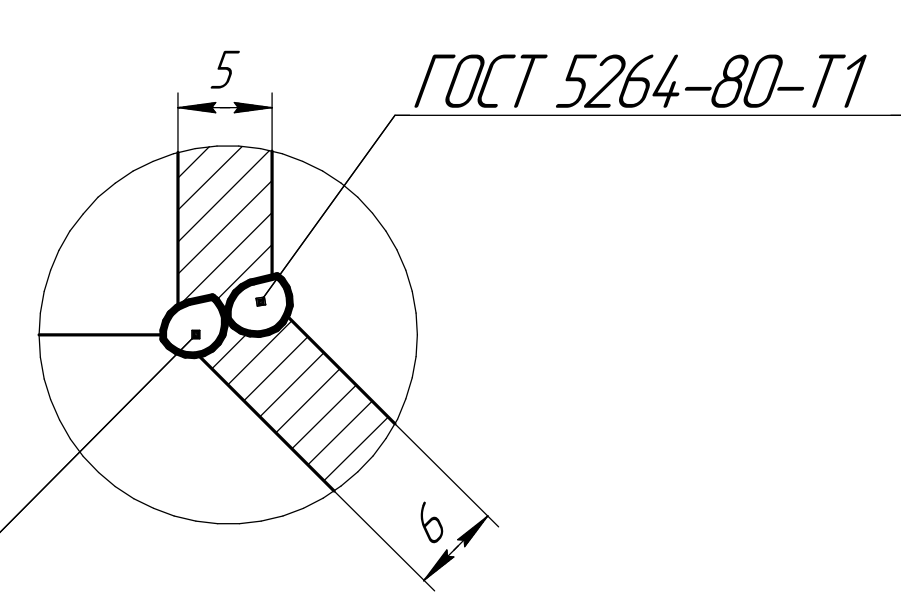
1. Камеру виготовити відповідно до ДНАОП 0.00-107-94 "Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском".
 2. Зварювальні шви контролювати УЗД або рентгенопроріслюванням в обсязі 25% недоступні для УЗД або рентгенопроріслювання швів контролювати відповідно до РД 26-11-01-85.

Лист	№ док.	Підп.	Дата
Розроб.	Закр.	Закр.	
Проб.	Закр.		
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.			

ХТВМС.С.06.00.00 СК		
Лист	Маса	Масштаб
у	80	1:2,5
Лист		Листов 1
ШСумДУ		гр. ХМ-61ш-7
Формат		A1



A(2:1)



1. Кришку виготовити відповідно до ДНАОП 0.00-107-94 "Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском".
 2. Зварювальні шви контролювати УЗД або рентгенопрорісчіванням в обсязі 25% недоступні для УЗД або рентгенопрорісчівання швів контролювати відповідно до РД 26-11-01-85.

ГОСТ 5264-80-T1

				ХТВМС.С.0100.00 СК		
				Кришка		
				Складальне креслення		
Лист	№ док.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
у	87			у	87	1:25
				Лист	Листів 1	
				ШСумДУ		
				гр. ХМ-61ш-7		
				Формат А1		

Лист	№ док.	Підп.	Дата
у	87		
Листів 1			
ШСумДУ			
гр. ХМ-61ш-7			
Формат А1			