МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: Хімічної технології високомолекулярних сполук

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВР

зі спеціальності 6.133: Галузеве машинобудування

Тема проекту: «Виробництво детонуючих шнурів. Сушарка киплячого шару для сушки гранул поліетилену потужністю 400 т/рік».

Виконав студент Баженов А.О.

Залікова книжка:

№_____

Захищений з оцінкою: _____

Керівник проекту Банишевський В.В.

ШІ Сум ДУ 2022

ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
Кафедра „ Хімічної технології високомолекулярних сполук ”

Дисципліна: Машини та апарати хімічних виробництв

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. Кафедрою
_____
«___» _____20__р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ

Студенту: Баженов А.О._____
група ____ХМзт - 81ш _____курс _____IV_____

Тема роботи «Виробництво детонуючих шнурів. Сушарка киплячого шару для сушки гранул поліетилену потужністю 400 т/рік»

Вихідні дані: Продуктивність сушарки Gк=400 т/рік. Вологість матеріалу початкова $\omega_н$ = 15%; кінцева вологість $\omega_к$ = 0,5%; температура вологого матеріалу θ_1 = 18ºС; параметри повітря - температура t_0 = 18ºС; відносна вологість φ_0 = 72%; тиск у сушарці - атмосферне; - температура повітря після калориферу t_1 = 130ºС; втрати тепла у навколишнє середовище на 1 кг випареної вологи $q_п = 22 \frac{КДж}{кг}$.

3 Перелік обов’язкового графічного матеріалу (листи А1)
3.1 Технологічна схема установки А2
3.2 Складальне креслення 2х(2хА3)
3.3 Складальні одиниці А1

1. Література та матеріали, які рекомендуються: Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. – 754с. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Под ред. Ю.И. Дытнерский. М.: Химия, 1991. – 272с.
2. Контрольні терміни виконання: _____

Етапи і розділи курсової роботи	Тижні										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Вступна частина	+	+									
2. Технологічна (аналітична) частина			+	+							
3. Технологічні і конструктивні розрахунки					+	+					
4. Ремонт та монтаж. Охорона праці							+	+			
5. Розробка креслень									+	+	
6. Оформлення записки											+
7. Захисна робота											+

6. Дата видачі завдання _____ ____20 р
7. Термін захисту курсової роботи __ 20 р.
Керівник курсової роботи _____ Банишевський В.В. _____

Реферат

Пояснювальна записка: 57 арк., 6 рис., 2 таблиці., 4 літературних джерел. Графічні матеріали: технологічна схема виробництва, складальне креслення апарату, креслення складальних одиниць, всього 4,5 листи формату А1.

Тема роботи: " Виробництво детонуючих шнурів. Сушарка киплячого шару для сушки гранул поліетилену потужністю 400 т/рік ".

Описано технологічну схему, теоретичні основи процесу, конструкцію апарату. Вибрано конструкційні матеріали.

Проведено технологічні розрахунки процесу та апарату. Визначено основні геометричні розміри апарату, що проектується. Визначено гідравлічний опір. Вибрано повітронагрівач.

Зроблено розрахунки апарату на міцність та герметичність. Визначено товщини стінки сушарки та кришки. Розраховано фланцеве з'єднання.

Розглянуто монтаж та ремонт розробленого апарату.

Розрахунки зроблено виходячи з діючих стандартів.

Ключові слова: СУШКА, МАТЕРІАЛ, ПРОЦЕС, ТЕХНОЛОГІЯ, ВИДАЛЕННЯ, ЕНТАЛЬПІЯ.

ЗМІСТ

Вступ 6
1 Технологічна частина 7
1.1 Опис технологічної схеми виробництва 7
1.2 Теоретичні основи процесу 8
1.3 Опис конструкції проектованого апарату 9
2 Технологічні розрахунки апарату 11
2.1 Матеріальний баланс 11
2.2 Теплові розрахунки 12
2.3 Конструктивні розрахунки 16
2.3.1 Визначення висоти киплячого шару 18
2.3.2 Розрахунок продуктивності живильника 24
2.4 Гідравлічні розрахунки 24
2.4.1 Гідравлічний опір сушарки 24
2.4.2 Гідравлічний опір міжтрубного простору повітропідігрівача 25
2.5 Розрахунок допоміжного обладнання 26
3 Проектно-конструкторська частина 32
3.1 Вибір конструкційних апаратів 32
3.2 Розрахунок на міцність та стійкість 33
3.2.1 Розрахунок товщини стінки корпусу та кришки 33
3.2.2 Розрахунок фланцевого з'єднання 40
4 Монтаж і ремонт апарата 46
4.1 Монтаж апарата 46
4.2 Ремонт апарата 47
5 Охорона праці 50
5.1 Аналіз потенційних небезпек 50
5.2 Питання екології та раціонального використання сировини 51
5.3 Пожежна безпека 51
5.3.1 Вибухо-пожежонебезпека виробництва 51

					6.133.22.03.00.00.00 ПЗ		
Зм.	*Аркуш*	*№ докум*	*Підпис*	*Дата*			
Розроб.		*Баженов*			*Виробництво детонуючих шнурів. Сушарка киплячого шару для сушки гранул поліетилену потужністю 400 т/рік Пояснювальна записка*	*Літ*	*Аркуш* 4 / *Аркушів* 57
Перев.		*Банишевский*					
Н. Контр.						*ШІ Сум ДУ гр. ХМзт-81Ш*	
Затвердив							

5.3.2 Засоби гасіння та виявлення пожеж 51
5.4 Захист від статичної електрики 52
5.5 Шум та вібрації, заходи захисту від них обслуговуючого персоналу 52
5.6 Спецодяг, спецвзуття. Індивідуальні захисні засоби 52
5.7 Опалення 52
5.8 Електробезпека 52
5.9 Вентиляція 53
5.10 Розрахунок захисного захисту від теплового опромінення 53
ВИСНОВКИ 55
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ 56
Додаток А 57

Вступ

У техніці сушінню піддається безліч матеріалів, що відрізняються хімічним складом, дисперсністю та структурою, адгезійними властивостями та термочутливістю, вмістом та формою зв'язку вологи з матеріалом та іншими властивостями. У хімічній промисловості процеси масо- і теплообміни при сушінні іноді ускладнюються хімічними реакціями, що протікають одночасно.

У зв'язку з цим вибір раціонального способу сушіння, типу сушильної установки і конструкції сушильного апарату являє собою складне техніко-економічне завдання.

За технологічними ознаками сушарки можна класифікувати таким чином:

1) за тиском (атмосферні та повітряні);

2) за періодичністю процесу (періодичної, напівбезперервної та безперервної дії);

3) за способом підведення тепла (конвективні, контактні, радіаційні та сушарки з нагріванням матеріалу струмами високої частоти);

4) за родом сушильного агента (повітряні, газові сушарки та сушарки на перегрітій або насиченій парі);

5) за напрямом руху матеріалу та теплоносія (прямоточні, протиточні та перехресного струму);

6) за типовою схемою (калориферні, з додатковим внутрішнім обігрівом, з рециркуляцією частини відпрацьованого повітря, зі ступінчастим підігрівом та рециркуляцією);

7) за способом обслуговування (з ручним обслуговуванням та механізовані);

8) за способом нагрівання (з паровим, вогневим, газовим та електронагрівом);

9) по циркуляції теплоносія (з природною, штучною циркуляцією, з одноразовою та багаторазовою циркуляцією).

Метою даного курсового проекту є проектування сушарки киплячого шару для сушіння поліетилену. [2]

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми виробництва [1]

Виробництво спеціального шнура включає ділянки: сушіння ТЕНу, сушіння поліетилену, виготовлення спеціального шнура екструзійним способом.

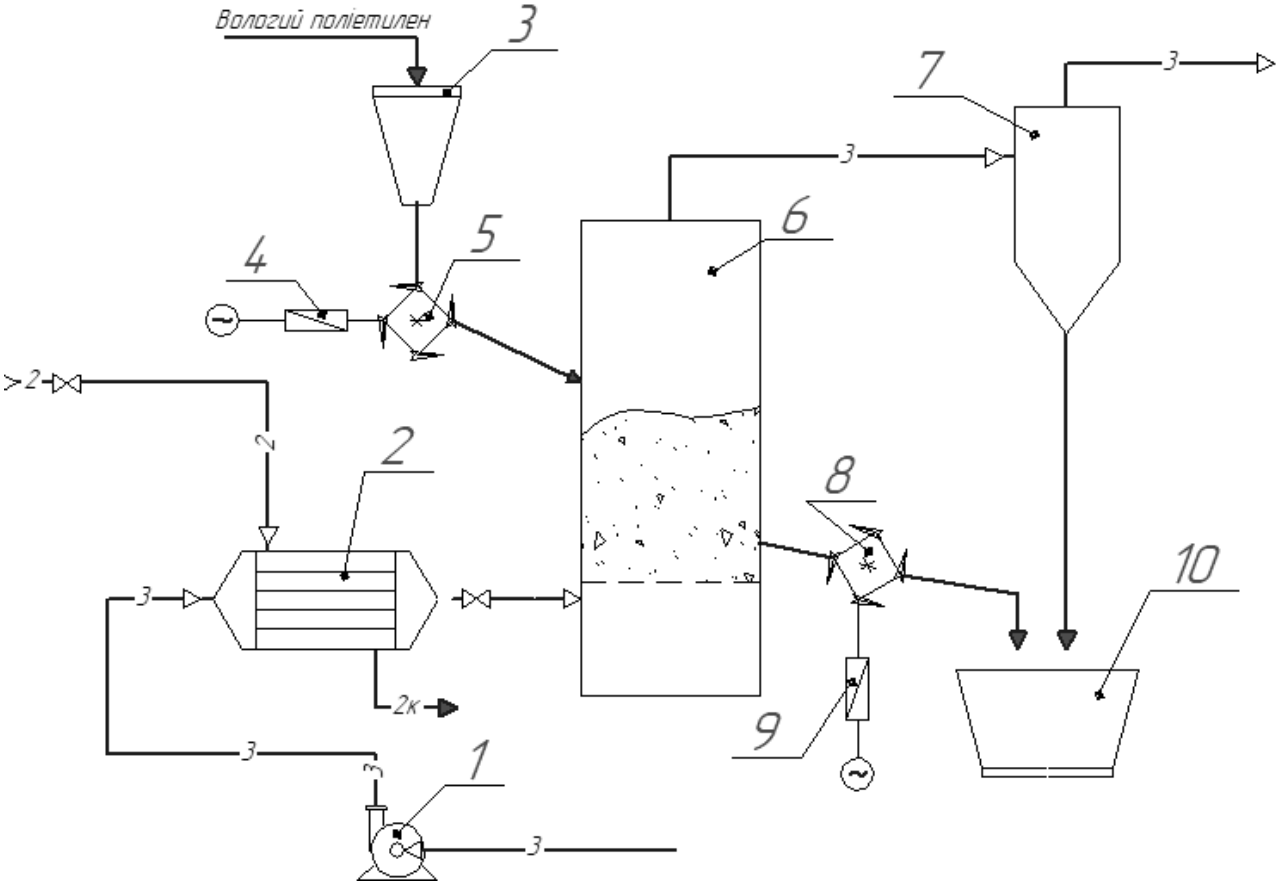

Рисунок 1.1 – Ділянка сушки поліетилену при виготовленні ТЕНу

Сушіння поліетилену здійснюється наступним чином:

Матеріал з бункера поз.3 живильником подається на похили решітку сушарки киплячого шару поз.6. На решітці відбувається псевдозрідження матеріалу повітрям, що надходить знизу. Повітря нагнітається вентилятором поз.1 і підігрівається у підігрівачі поз.2. Сухий продукт живильником вивантаження прямує до збірника сухого продукту поз.10. Відпрацьоване повітря відводиться на очищення циклон поз.7, звідки подається в бункер екструдера.

Сушіння Тена проводиться наступним чином: Вологий матеріал з рухомого нахилу за допомогою шнекового конвеєра подається в сушильний барабан, що обертається. Паралельно матеріалу в сушарку подається

сушильний агент (повітря), що підігрівається в теплообміннику. Повітря в теплообмінник подається вентилятором. Висушений матеріал з протилежного кінця сушильного барабана шнековим конвеєром подається в апарат мішки, бункер, а з останнього в маніпулятор.

Відпрацьований сушильний агент перед викидом в атмосферу очищається від пилу в циклоні. При необхідності проводиться мокре додаткове пиловловлювання.

Транспортування сушильного агента через сушильну установку здійснюється за допомогою вентилятора. При цьому установка зазвичай знаходиться під невеликим розрідженням, що виключає витік сушильного агента через нещільності установки.

Ниткороздатковий пристрій заправляють шпулями з нитками. Встановлюють котушки для намотування шнура на станцію намотування. Нитки після нітера розподільника пучком заправляють через фільєру екструзійної головки, витяжні барабани, розташовані у ванні охолодження, датчик обриву шнура, прилад контролю діаметра, переривник на котушку для намотування. Далі встановлення працює в автоматичному режимі. Маніпулятор підводить бункер з компонентом до екструзійної голівки. Включають привід натяжних барабанів намотувальної станції приймального пристрою та екструдера.

Гранульований поліетилен із завантажувальної вирви екструдера, захоплюється черв'яком, і переміщається вздовж корпусу. В результаті теплового впливу електронагрівачів, розташованих на корпусі, механічного впливу черв'яка та фактору часу, поліетилен пластифікується та гомогенізується у міру просування до голівки, де відбувається процес екструдування розплавленого поліетилену. Формування основи проводиться у фільєрі, куди надходить продукт (ТЕН) з бункера та нитки. Остаточне формування виробу відбувається при витягуванні його через отвір, що калібрує, матриці, розташованої в екструзійній головці, і далі на витяжних барабанах, розташованих у ванні охолодження, наповненої циркулюючої водою, де поліетиленова оболонка виробу охолоджується. Готовий виріб намотується на барабани ємністю по 1000м, після чого відбувається зупинка установки та заміна барабанів, які подають на автомат мірного різання та намотування виробу в бухти по 50 м.

1.2 Теоретичні основи процесу [2]

Конвективне сушіння повітрям чи газом є найпоширенішим методом сушіння у хімічній промисловості. У повітряному сушінні, так само як і в

газовій, тепло передається від теплоносія безпосередньо до висушеного компонента. Для отримання матеріалу високої якості особлива увага повинна приділятися технологічному режиму сушіння, правильному вибору параметрів та визначення режиму процесу (вибір оптимальної температури нагрівання матеріалу, вибір оптимальних значень вологості матеріалу тощо).

Оптимальний режим сушіння, що впливає не технологічні властивості матеріалу, залежить від зв'язку вологи з матеріалом.

Фізична сутність сушильного процесу полягає в наступному: рушійною силою процесу видалення вологи з матеріалу є різниця пар¬ціальних тисків пари над матеріалом і в навколишньому середовищі (повітряної або газової):

$$\Delta p = p_г^м - p_п^в \qquad (1.1)$$

При $\Delta p = 0$ настає рівновага і сушіння припиняється. Якщо $p^в_г > p^м_п$, то

відбувається протилежний процес зволоження матеріалу. У міру видалення вологи з поверхні матеріалу, за рахунок різниці концентрації вологи всередині матеріалу і на поверхні його відбувається рух вологи до поверхні шляхом дифузії. У деяких випадках має значення так звана термодифузія, коли рух вологи всередині матеріалу відбувається також за рахунок різниці температур на поверхні та всередині матеріалу у напрямку зменшення температур.

Сушіння – процес тепломасообмінний. Видалення вологи із поверхні тісно пов'язані з просуванням її зсередини до поверхні.

Слід зазначити, що при сушінні деяких матеріалів до низької вологості тепло витрачається не тільки на підігрів матеріалу і випаровування вологи з нього, але і на подолання зв'язку вологи з матеріалом.

У більшості випадків при сушінні видаляється водяна пара, проте в хімічній промисловості доводиться нерідко видаляти пари органічних розчинників. Незалежно від того, яка рідина випаровуватиметься, закономірності процесу ті ж. [2]

1.3 Опис конструкції проектованого апарату

1.3.1 Описание аппарата

Сушарка з киплячим (псевдозрідженим) шаром (див. рис. 1.2) є пустотілим вертикальним зварним апаратом з плоскими верхньою кришкою і нижнім днищем. Над нижнім днищем усередині апарата встановлені ґрати з отворами. Через нижній штуцер під ґрати подається нагріте повітря. На

верхній кришці встановлено завантажувальний лопатевий живильник з приводом та штуцер дросель-клапаном (службовцем для регулювання витрати повітря) для відведення відпрацьованого повітря.

Висушуваний матеріал надходить на решітку і під дією сушильного агента, що рухається через решітку, утворює киплячий шар. Розвантаження висушеного матеріалу здійснюється лопатевим розвантажувальним пристроєм.

Для встановлення апарату служать опори-лапи.

Для спостереження за процесом сушіння передбачені оглядові вікна.

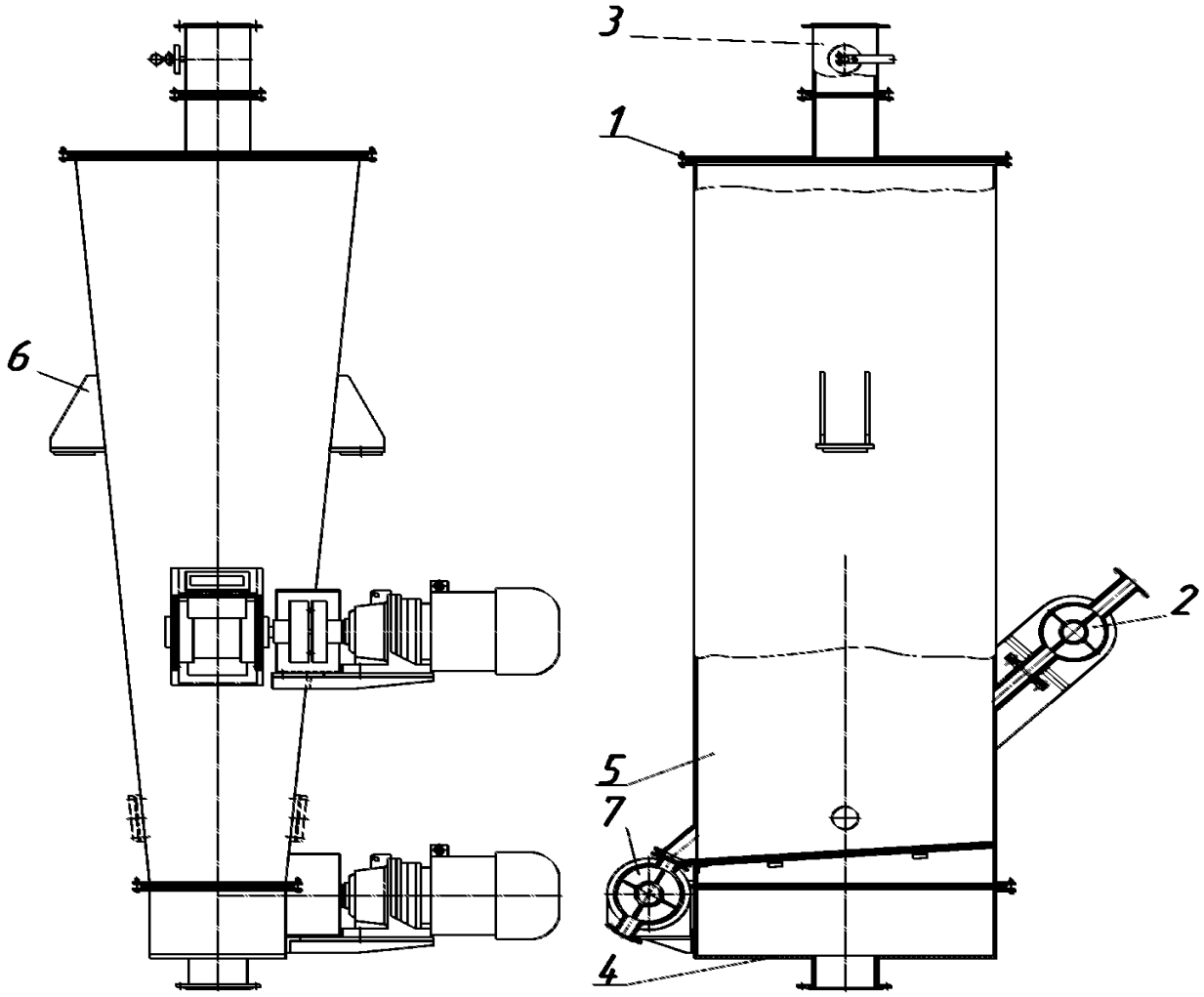

Рисунок 1.2 – Сушилка «КС»
1 – крышка; 2 – питатель; 3 – дроссель-клапан; 4 – днище;
5 – корпус; 6 – опора;7 – розвантажувач.

2 Технологічні розрахунки апарату

Вихідні дані для розрахунку сушарки:

- продуктивність за висушеним матеріалом 400 т/рік.

$$G_k = 200 \text{ кг/год} = 0{,}05 \text{кг/с},$$

де:

200 кг/год – по завданню за нормальних робочих умовах з 8 годинним робочим часом.

- вміст фракцій частинок у матеріалі [1]

діаметром від 4 до 3мм - 25%;

діаметром від 3 до 2,5мм- 75%;

- вологість матеріалу [1]

початкова $\omega_н = 15\%$;

кінцева $\omega_к = 0{,}5\%$;

- температура вологого матеріалу

$\theta_1 = 18^oC$;

- параметри свіжого повітря

температура $t_0 = 18^oC$;

відносна вологість $\varphi_0 = 72\%$;

- тиск у сушарці

атмосферний;

- температура повітря після калориферу

$t_1 = 130^oC$;

- втрати тепла у навколишнє середовище на 1 кг випареної вологи

$$q_n = 22 \frac{КДж}{кг}$$

2.1 Матеріальний баланс

З рівняння матеріального балансу сушарки визначимо витрати вологи W, видаляється з матеріалу, що висушується [2]

$$W = G_к \frac{\omega_н - \varpi_к}{100 - \omega_к}, \quad (2.1)$$

$$W = 0{,}05 \frac{15 - 0{,}5}{100 - 15} = 0{,}0075 \frac{кг}{с}$$

2.2 Теплові розрахунки

Визначаємо параметри відпрацьованого повітря. Для цього приймемо температуру його на виході із сушарки t_2 =60ºС, що дозволяє досить повно використовувати тепло сушильного агента. Зазвичай температуру матеріалу в киплячому шарі приймають на 1-2 градуси нижче за температуру відпрацьованого повітря [1]. Тоді температура поліетилену у шарі дорівнює 58 ºС. Приймаємо модель повного перемішування матеріалу у псевдозрідженому шарі. В цьому випадку можна вважати температуру висушеного матеріалу, що дорівнює температурі матеріалу в шарі, тобто θ2 = 58ºС.

Розрахуємо внутрішній тепловий баланс сушарки за рівнянням (X.11) [2]

$$\Delta = C \cdot \theta_1 + q_{доп} - (q_т + q_m + q_п), \qquad (2.2)$$

де:

Δ - різницю між питомою прибутком і витратою тепла безпосередньо в сушильній камері;

С – теплоємність вологи у вологому матеріалі за температури θ_1, $\left(\frac{КДж}{кг \cdot К}\right)$

$q_{доп}$ – питоме додаткове підведення тепла в сушарку.

При роботі сушарки за нормальним варіантом без рециркуляції $q_{доп} = 0$

$q_т$ – питома витрата тепла у сушарці з транспортними засобами

У нашому випадку $q_т = 0$.

$q_м$ - питома витрата тепла в сушарці з матеріалом, що висушується, $\left(\frac{КДж}{кг\ влаги}\right)$

$$q_м = \frac{G_к \cdot C_м \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{W}, \qquad (2.3)$$

де:

$C_м$ – теплоємність висушеного матеріалу (поліетилену) дорівнює

$$2{,}52\ \frac{КДж}{кг \cdot К}\ \ [1]$$

θ_2 – температура матеріалу на виході із сушарки;

$q_п$ – питомі втрати тепла у навколишнє середовище $\frac{КДж}{кг\ влаги}$.

Підставивши відповідні значення, отримаємо

$$\Delta = 4{,}19 \cdot 18 - \frac{0{,}05 \cdot 2{,}52(58-18)}{0{,}0075} - 22 = -736{,}6$$

Запишемо рівняння робочої лінії сушіння

$$\Delta = \frac{I - I_1}{x - x_1}, \text{ або } I = I_1 + \Delta(x - x_1) \qquad (2.4)$$

Наносимо на діаграму "I - x" точку А початку процесу за відомими параметрами:

температура t = 18ºС, вологість φ_0 = 72%

За відомими параметрами t = 18ºС, φ_0 = 72% знаходимо вологовміст x_0 та ентальпію I_0 свіжого повітря

$$x_0 = 0{,}0092 \ \frac{КДж}{кг\ сух.пов}, \ I_0 = 41{,}9 \ \frac{КДж}{кг\ сух.пов}$$

Проводимо з точки А вертикаль до перетину з ізотермою t_1 = 130ºС.

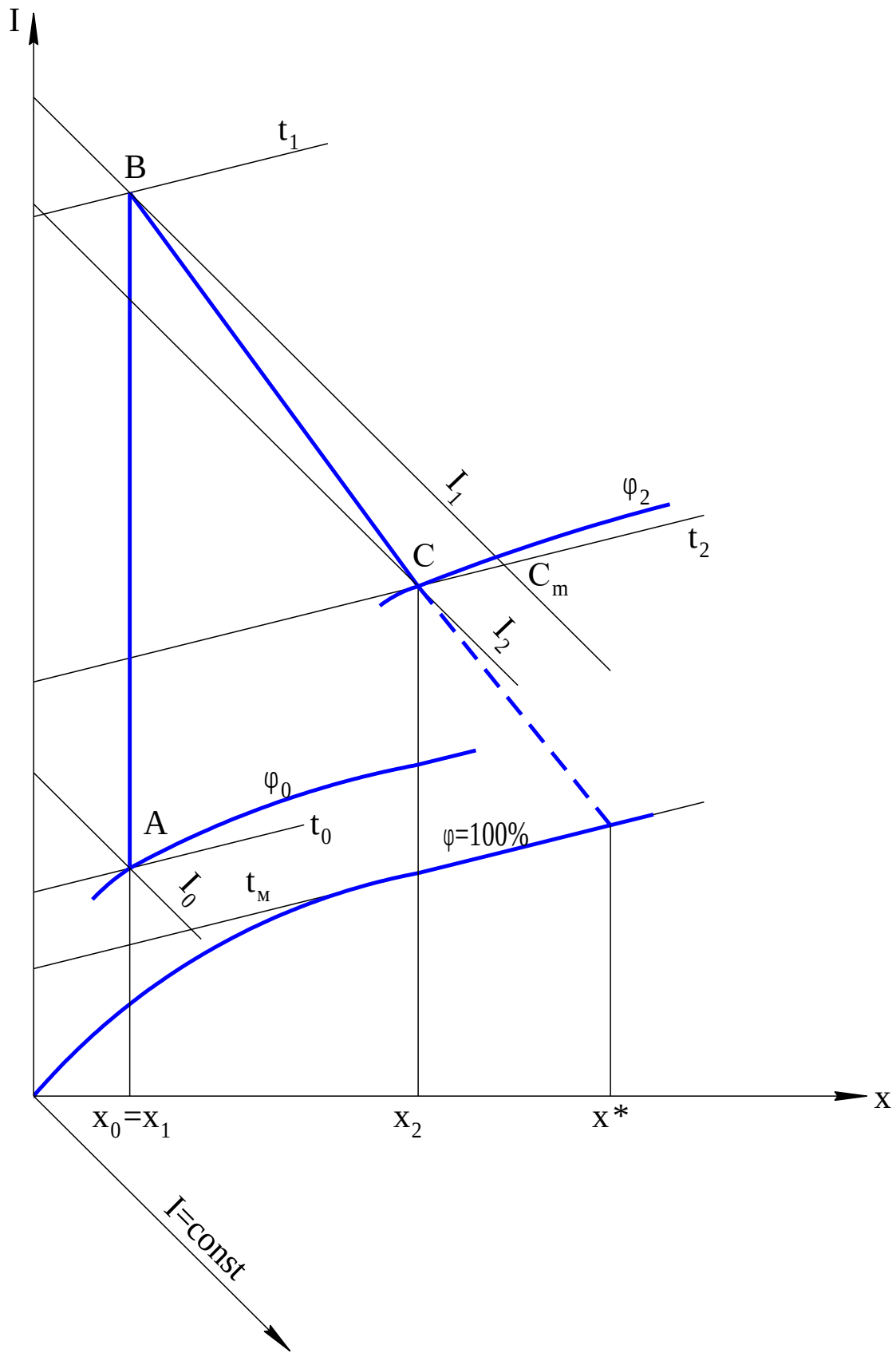

Рисунок 2.1 – Побудова процесу сушіння на I – x діаграмі

Лінія АВ характеризує процес підігріву повітря у калорифері. При нагріванні повітря до температури t_1 = 130ºС його ентальпія збільшується до I_1 = 157 $\frac{КДж}{кг}$. Так як нагрівання повітря здійснюється в середині апарата, то вміст вологи залишається постійним $x_1 = x_0 = 0{,}0092 \frac{кг}{кг}$.

Будуємо лінію теоретичного процесу сушіння, провівши з точки В пряму I_1=const до перетину з ізотермою t_2 = 60ºС в точці C_m. «BC_m» характеризує теоретичний процес сушіння.

Для визначення параметрів відпрацьованого повітря необхідно на діаграмі I – x побудувати робочу лінію сушіння. Для цього поставимо довільне значення вологовмісту повітря x = 0,04. Відповідне йому значення ентальпії знаходимо за рівнянням [2].

$$I = I_1 + \Delta(x - x_1) = 157 - 736{,}3 \cdot (0{,}04 - 0{,}0092) = 134{,}32 \frac{КДж}{кг\ сух.пов}$$

Проводимо лінію сушіння ПС на діаграмі «I – x» через дві точки з координатами $x_1 = x_0 = 0{,}0092 \frac{кг}{кг}$, I_1 = 157 $\frac{КДж}{кг}$ і x = 0,04 $\frac{кг}{кг}$, I = 134,32 $\frac{КДж}{кг}$ до перетину з ізотермою t_2 = 60ºС. У точці перетину лінії сушіння та ізотерми 60ºС знаходимо кінцевий вміст вологи відпрацьованого повітря x_2 = 0,03 та його ентальпію I_2 = 142 $\frac{КДж}{кг}$.

По рівнянню (X.14) [2] визначаємо витрату повітря L на сушіння

$$L = \frac{W}{x_2 - x_0} = \frac{0{,}0075}{0{,}03 - 0{,}0092} = 0{,}36 \frac{кг}{с}$$

Середня температура повітря ($t_{ср}$) на вході та виході з сушарки

$$t_{ср} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{130 + 60}{2} = 95^{\circ} C$$

Середній вміст вологи ($x_{ср}$) повітря в сушарці

$$x_{ср} = \frac{x_1 + x_2}{2} = \frac{0{,}0092 + 0{,}003}{2} = 0{,}0196 \frac{кг\ вл}{кг\ сух.пов}$$

Середня щільність повітря ($\rho_{ср}$) та водяної пари ($\rho_п$) дорівнює

$$\rho_{ср} = \frac{M_{св}}{R} - \frac{T_0}{T_0 + t_{ср}}, \qquad (2.5)$$

де:

$M_{св}$ – молекулярна маса повітря

$$\rho_{ср} = \frac{29}{22,4} - \frac{273}{273+95} = 0,96 \frac{кг}{м^3}$$

$$\rho_{п} = \frac{M_{в}}{R} - \frac{T_0}{T_0 + t_{ср}} = \frac{18}{22,4} - \frac{273}{273+95} = 0,596 \frac{кг}{м^3}$$

Середня об'ємна продуктивність повітрям

$$V_{Г} = \frac{L}{\rho_{ср}} + \frac{x_{ср} \cdot L}{\rho_{п}} = \frac{0,36}{0,96} + \frac{0,0196 \cdot 0,36}{0,596} = 0,297 \frac{м^3}{с}$$

2.3 Конструктивні розрахунки

Розраховуємо фіктивну (на повний переріз апарату) швидкість початку псевдозрідження ($\omega_{пс}$) за формулою (X.34) [2]

$$\omega_{пс} = \frac{\mathrm{Re} \cdot \mu_{ср}}{\rho_{ср} \cdot d_{э}}, \qquad (2.6)$$

де:

критерій Рейнольдса $\mathrm{Re} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}$; (2.7)

критерій Архимеда $Ar = \frac{d_{э}^3 \cdot \rho_{ср} \cdot q \cdot \rho_{ч}}{\mu_{ср}}$; (2.8)

$d_э$ – еквівалентний діаметр частинок матеріалу;

$\mu_{ср}$ – в'язкість повітря за середньої температури $\mu_{ср} = 2,2 \cdot 10^{-5} \frac{Н \cdot с}{мс}$ [3]

$$d_{э} = \frac{1}{\sum_{1}^{n} \frac{m_i}{d_i}} \qquad (2.9)$$

n – число фракцій;

m_i – вміст і-тої фракції;

d_i – середній ситовий розмір і-тої фракції

$$d_{э} = \frac{1}{\frac{0,25}{\left(\frac{4+3}{2}\right) \cdot 10^{-3}} + \frac{0,75}{\left(\frac{3+2,5}{2}\right) \cdot 10^{-3}}} = 2,9 \cdot 10^{-3} м$$

Критерій Архимеда

$$Ar = \frac{\left(3{,}6 \cdot 10^{-3}\right)^3 \cdot 0{,}96 \cdot 9{,}8 \cdot 950}{\left(2{,}2 \cdot 10^{-5}\right)^2} = 4{,}51 \cdot 10^5$$

Критерій Рейнольдса

$$\mathrm{Re} = \frac{4{,}51 \cdot 10^5}{1400 + 5{,}22\sqrt{4{,}51 \cdot 10^5}} = 92$$

Швидкість початку псевдозрідження

$$\omega_{nc} = \frac{92 \cdot 2{,}2 \cdot 10^{-5}}{0{,}96 \cdot 3{,}6 \cdot 10^{-3}} = 0{,}878 \frac{м}{с}$$

Верхня межа допустимої швидкості повітря в псевдозрідженому шарі визначається швидкістю вільного витання (віднесення) найбільш дрібних частинок. Ця швидкість перебуває за рівнянням (X.32) [2]

$$\omega_{св} = \frac{\mu_{ср}}{d \cdot \rho_{ch}} \cdot \left(\frac{Ar}{18 + 0{,}575\sqrt{Ar}} \right), \qquad (2.10)$$

де:

$\mu_{ср}$ і $\rho_{ср}$ – в'язкість та щільність сушильного агента при середній температурі;

d – найменший діаметр частинок матеріалу, м

$$Ar = \frac{d^3 \cdot \rho_ч \cdot \rho_{ср} \cdot q}{\mu_{ср}^2}, \qquad (2.11)$$

де:

$\rho_ч$ – щільність частинок матеріалу, що висушується (поліетилену) рівна $950 \frac{кг}{м^3}$

Критерій Архімеда для гранул поліетилену діаметром 2,5мм дорівнює

$$Ar = \frac{\left(2{,}5 \cdot 10^{-3}\right)^3 \cdot 0{,}96 \cdot 9{,}8 \cdot 950}{\left(2{,}2 \cdot 10^{-5}\right)^2} = 2{,}4 \cdot 10^5$$

Швидкість вільного витання (винесення) складе

$$\omega_{св} = \frac{2{,}2 \cdot 10^{-5}}{2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}96} \cdot \left(\frac{2{,}4 \cdot 10^5}{13 + 0{,}575\sqrt{2{,}4 \cdot 10^5}} \right) = 8{,}11 \frac{м}{с}$$

Робоча швидкість (ω) сушильного агента вибирається в межах від $\omega_{пс}$ до $\omega_{св}$. Ця швидкість залежить від граничного числа псевдозрідження

$$K_{пр} = \frac{\omega_{св}}{\omega_{пс}} \qquad (2.12)$$

Якщо $К_{пр}$ перевищує 40 - 50, то робоча кількість псевдозрідження $K_W = \frac{\omega}{\omega_{пс}}$ рекомендується вибирати в інтервалі від 3 до 7

Якщо $К_{пр}$ менше 20-30, значення можна вибирати в інтервалі від 1,5 до 3.

У цьому розрахунку

$$K_{пр} = \frac{8{,}11}{0{,}878} = 9{,}23$$

Приймаємо $K_W = 2{,}8$.

Тоді робоча швидкість сушильного агента

$$\omega = K_W \cdot \omega_{пс} = 2{,}8 \cdot 0{,}878 = 2{,}47 \frac{м}{с}$$

Площа грат визначаємо з рівняння нерозривності потоку

$$S_{реш} = \frac{V_г}{\omega} \qquad (2.13)$$

$$S_{реш} = \frac{0{,}297}{2{,}47} = 0{,}12\ м^2$$

Приймаємо конструкцію грат прямокутну з відношенням *l*/b >2.

Приймемо ширину решітки b = 240 мм. Тоді довжина ґрат буде

l = $S_{реш}$/b = 0,12/0,24 = 0,5 м.

2.3.1 Визначення висоти киплячого шару

Висота киплячого шару висушеного матеріалу може бути визначена на підставі експериментальних даних з кінетики масо і теплообміну.

Нижче наводиться розрахунок висоти киплячого шару, необхідний видалення вільної вологи двома зазначеними методами.

Прирівнюючи рівняння матеріального балансу та масовіддачі отримаємо [2]:

$$d \cdot M = \omega \cdot \rho_{ср} \cdot S \cdot dx = \beta_x (x^* - x) \cdot dF, \qquad (2.14)$$

де:

M – продуктивність сушарки по випаровуваній волозі;

S – поперечний переріз сушарки, м^2;

x, x* - робочий і рівноважний вміст вологи, $\frac{кг\ влаги}{кг\ сух.вдзд}$;

$\rho_{св}$ – щільність сухого повітря за середньої температури в сушарці, $\frac{кг}{м^3}$

За умови кулястості частинок замінимо поверхню висушеного матеріалу dF на

$$dF = \frac{6(1-\varepsilon)}{d_э} \cdot S \cdot d \cdot h, \qquad (2.15)$$

де:

h – висота псевдозрідженого шару, м

Розділяючи змінні та інтегруючи отриманий вираз, за умови сталості температур частинок за висотою шару, знаходимо за формулою (X.36) [2]

$$\frac{x^* - x_2}{x^* - x_0} = \exp\left[-\frac{\beta_x}{\omega \cdot \rho_{ср}} \quad \frac{6(1-\varepsilon)}{d_э} \cdot h \right] \qquad (2.16)$$

Рівноважний вміст вологи в сушильному агенті (x *) визначаємо по I-x діаграмі як абсцис точки перетину робочої лінії сушіння з лінією постійної відносної вологості φ = 100%

Величина x* = 0,038 $\frac{кг}{кг}$

При цьому ліва частина рівняння (2.16) дорівнює

$$\frac{x^* - x_0}{x^* - x_2} = \frac{0,038 - 0,03}{0,038 - 0,0092} = 0,277$$

Порозність киплячого шару (ε) при відомому значенні робочої швидкості може бути обчислена за формулою [2]

$$\varepsilon = \left(\frac{18\,Re + 0,36\,Re^2}{Ar} \right)^{0,21} \qquad (2.17)$$

Критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega \cdot d_э \cdot \rho_{ср}}{\mu_{ср}} = \frac{2.47 \cdot 2,9 \cdot 10^{-3} \cdot 0,96}{2,2 \cdot 10^{-5}} = 323$$

Критерій Архимеда дорівнює 4,51·10^5 (див. вище). Тоді

$$\varepsilon = \left(\frac{18 \cdot 523 + 0{,}36 \cdot 323^2}{4{,}51 \cdot 10^5} \right)^{0{,}21} = 0{,}612 \frac{м^3}{м^3}$$

Коефіцієнт масовіддачі (β_y) визначають виходячи з емпіричних залежностей. При випаровуванні поверхонь вологи ор може бути розрахований за допомогою рівняння (X.37) [2]

$$Nu_y^1 = 2 + 0{,}51 \cdot \mathrm{Re}^{0{,}52} \cdot \mathrm{Pr}_y^{0{,}33}, \qquad (2.18)$$

де:

$$Nu_y^1 = \frac{\beta_y \cdot d_э}{D} \text{ - дифузійний критерій Нуссельта;} \qquad (2.19)$$

$$\mathrm{Pr}_y^1 = \frac{\mu \cdot \rho}{D} \text{ - дифузійний критерій Прандтля.}$$

Коефіцієнт дифузії водяної пари в повітрі D ($\frac{м^2}{с}$) при середній температурі в сушарці равен

$$D = D_{r0} \left(\frac{T_0 + t_{ср}}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} \qquad (2.20)$$

Коефіцієнт дифузії водяної пари в повітрі при 20°С [2]

$\mathrm{D_{r0}}$=$21{,}9 \cdot 10^{-6} \frac{м^2}{с}$, тоді

$$D = 21{,}9 \cdot 10^{-6} \left(\frac{273 + 95}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 3{,}43 \cdot 10^{-5} \frac{м^2}{с}$$

Тоді

$$Pк_y = \frac{2{,}2 \cdot 10^{-5}}{0{,}96 \cdot 3{,}43 \cdot 10^{-5}} = 0{,}67$$

Коефіцієнт масовіддачі з рівняння (2.19) дорівнює

$$\beta_y = \frac{D}{d_э} \left(2 + 0{,}51 \mathrm{Re}^{0{,}52} \cdot \mathrm{Pr}_y^{1\ 0{,}33} \right) \qquad (2.21)$$

$$\beta_y = \frac{3{,}43 \cdot 10^{-5}}{2{,}9 \cdot 10^{-3}} \left(2 + 0{,}51 \cdot 323^{0{,}52} \cdot 0{,}67^{\ 0{,}33} \right) = 0{,}13 \frac{м}{с}$$

Підставивши обчислені значення рівняння (2.16) визначимо висоту киплячого (псевдозрідженого) шару матеріалу, що висушується

$$0{,}277 = e^{\left(-\frac{0{,}13}{2{,}55\cdot 0{,}96}\cdot\frac{6(1+0{,}612)}{2{,}9\cdot 10^{-3}}h\right)}$$

Логарифмуючи останній вираз отримаємо

$$\ln 0{,}277 = -\frac{0{,}13}{2{,}55\cdot 0{,}96}\cdot\frac{6(1-0{,}612)}{2{,}9\cdot 10^{-3}}\cdot h \quad \text{або}$$

$$-1{,}283 = -42{,}63h \quad \text{звідси}$$

$$h = 0{,}03\text{м} = 30\text{мм}$$

Перевіримо правильність визначення величини h за досвідченими даними для тепловіддачі в киплячому шарі.

Для цього прирівняємо рівняння теплового балансу та рівняння тепловіддачі (X.40) [2]

$$dQ = \omega\cdot\rho_{ср}\cdot c\cdot s\cdot dt\cdot\alpha(t-t_м)\cdot dF, \qquad (2.22)$$

де:

c – теплоємність повітря за середньої температури в сушарці, рівна $1000\frac{Вт}{кг\cdot К}$

α – коефіцієнт тепловіддачі $\frac{Дж}{кг\cdot К}$;

t – температура газу, °С;

$t_м$ – температура матеріала, °С;

Зробивши перетворення, наведені вище, отримаємо (X.41)[2]

$$\frac{t_2-t_м}{t_1-t_м} = \exp\left[-\frac{\alpha}{\omega\cdot c\cdot\rho_{ср}}\cdot\frac{6(1-\varepsilon)}{d_э}\cdot h\right] \qquad (2.23)$$

Спочатку визначимо висоту киплячого шару, необхідну випаровування поверхневої вологи матеріалу. Приймаючи модель повного перемішування матеріалу в киплячому шарі, можна вважати температуру матеріалу, що дорівнює температурі мокрого термометра. Цю температуру знаходимо по "I - x" діаграмі. Вона дорівнює ізотермі, що проходить через точку перетину $x_2 = 0{,}03\frac{кг}{кг}$ з лінією φ = 100%. Отримаємо $t_м = 33°С$.

Коефіцієнт тепловіддачі (α) визначають на підставі експериментальних даних. Для Re ≥ 200 за формулою (X.43) [2]

$$Nu = 0{,}4\left(\frac{\mathrm{Re}}{\varepsilon}\right)^{0{,}67} \cdot \mathrm{Pr}^{0{,}33}, \qquad (2.24)$$

де:

$Nu = \frac{\alpha \cdot d_э}{\lambda}$ - критерій Нуссельта;

$P = \frac{c \cdot \mu}{\lambda}$ - критерій Прандтля;

λ – коефіцієнт теплопровідності повітря за середньої температури.

Коефіцієнт тепловіддачі визначимо з виразу (2.24)

$$\alpha = 0{,}4\frac{\lambda}{d_э}\left(\frac{\mathrm{Re}}{\varepsilon}\right)^{0{,}67} \cdot \mathrm{Pr}^{0{,}33} = 0{,}4\frac{0{,}032}{2{,}9\cdot 10^{-3}}\left(\frac{323}{0{,}612}\right)^{0{,}67} \cdot \left(\frac{1000\cdot 2{,}2\cdot 10^{-3}}{0{,}032}\right)^{0{,}33} = 260\frac{Вт}{м^2\cdot К}$$

Підставляючи знайдені значення рівняння (2.23), визначимо висоту киплячого шару, необхідну для випаровування вологи

$$\frac{60-33}{130-33} = e^{\left(-\frac{260}{2{,}55\cdot 1000\cdot 0{,}96}\cdot\frac{6(1-0{,}612)}{2{,}9\cdot 10^{-3}}h\right)}$$

Логарифмуючи останній вираз отримаємо

$$\ln\frac{60-33}{130-33} = -\frac{260}{2{,}55\cdot 1000\cdot 0{,}96}\cdot\frac{6(1-0{,}612)}{2{,}9\cdot 10^{-3}}h \text{ або}$$

-1,278 = -60,9h, звідси

$$h = \frac{1{,}278}{60{,}9} = 0{,}021м = 21мм$$

Порівнюючи висоти, розраховані на підставі дослідних даних за температурою (h_1 = 21мм) та за масовіддачею (h_2 = 30мм) приймаємо середнє значення висоти

$$h_{ср} = \frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{30+21}{2} = 25{,}5мм$$

Робочу висоту киплячого шару Н визначаємо шляхом порівняння розрахованих величин з висотою, необхідною для гідродинамічно стійкої роботи шару та запобігання каналоутворенню в ньому. Різниця між цими висотами залежить від того, яким (зовнішнім або внутрішнім) дифузійним

опором визначається швидкість сушильного процесу і наскільки великий цей опір.

У разі видалення поверхневої вологи (перший період сушіння) гідродинамічно стабільна висота значно перевищує розраховану.

Висоту киплячого шару Н визначають так. На підставі досвіду експлуатації встановлено, що висота шару Н повинна бути приблизно в 4 рази більша за висоту зони гідродинамічної стабілізації шару $H_{ст}$. Висота $H_{ст}$ пов'язана з діаметром отворів розподільних ґрат d_0 співвідношенням $H_{ст} \approx 20d_0$. Отже $H \approx 80d_0$.

Діаметр отворів розподільних ґрат вибирають з ряду нормальних розмірів встановленого ГОСТ 6636-69 (в мм)

2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,2; 3,6; 4,0; 4,5; 5,0; 5,6 (мм)

Виберемо діаметр отворів розподільних ґрат d_0 = 3,2мм. Тоді висота киплячого шару $H = 80 \cdot 3,2 = 256$мм.

Число отворів n у розподільній решітці визначається за рівнянням (X.44) [2]

$$n = \frac{4 \cdot S \cdot F_c}{\pi \cdot d_0^{\,2}} = \frac{d^2 \cdot F_c}{d_0^{\,2}} \ , \qquad (2.25)$$

де:

S – перетин розподільних грат, чисельно рівний перерізу сушарки;

$d_p = d_c = 500$ мм – діаметр решітки дорівнює діаметру сушарки;

F_c – частка перетину решітки, яка приймається в інтервалі від 0,02 до 0,1.

Приймаємо F_c = 0,05. Знаходимо кількість отворів

$$n = \frac{310^2 \cdot 0,05}{3,2^2} = 470$$

Рекомендується застосовувати розташування отворів у розподільній решітці по кутах рівнобічного трикутника. При цьому поперечний крок t' та поздовжній крок t" обчислюється за такими співвідношеннями

$$t' = 0,95 \cdot d_0 \cdot \varphi^{-0,5} \qquad t'' = 0,866t'$$

Звідси:

$$t' = 0,95 \cdot 3,2 \cdot 0,04^{-0,5} = 15,2мм$$

$$t'' = 0,866 \cdot 15,2 = 13,2мм$$

Висоту сепараційного простору сушарки H_c приймаємо в 4 - 6 разів більше висоти киплячого шару

$$H_c = 5 \cdot H = 5 \cdot 256 = 1280мм.$$

2.3.2 Розрахунок продуктивності живильника

Продуктивність секторного барабанного живильника-дозатора за один оборот можна визначити за формулою 5 [4 с.94]

$$\nu = кFml, \quad м^3/об \tag{2.26}$$

де F – площа поперечного перерізу сектора, $м^2$

$$F = \frac{0,785}{4}(0,1^2 - 0,05^2) = 1,4 \cdot 10^{-3} м^2 \quad \text{(з креслення живильника);}$$

m = 4 – число секторів у барабані;

l = 0,09 м – довжина барабана по осі;

до = 0,5 - коефіцієнт заповнення.

$$\nu = 0,5 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 0,09 = 0,26 \cdot 10^{-3} м^3$$

Масова витрата поліетилену за один оберт барабана складе

$$G = \nu\rho, \quad кг/об \tag{2.27}$$

де $\rho = 952$ $кг/м^3$ – густина поліетилену.

Тоді

$$G = 0,26 \cdot 10^{-3} \cdot 952 = 0,25 кг/об$$

При числі оборотів барабана живильника 35,5 об/хв продуктивність живильника буде

$$G' = 0,25 \cdot 35,5 \cdot 60 = 537 кг/год.$$

2.4 Гідравлічні розрахунки

2.4.1 Гідравлічний опір сушарки

Основну частку загального гідравлічного опору сушарки (ΔP) складають гідравлічні опори киплячого шару ($\Delta P_{кс}$) і решітки ($\Delta P_р$)

$$\Delta P = \Delta P_{кс} + \Delta P_р \tag{2.28}$$

Величину $\Delta P_{кс}$ знаходимо за рівнянням (Х.48) [2]

$$\Delta P_{кс} = \rho_{ч} \cdot (1-\varepsilon) \cdot q \cdot H \qquad (2.29)$$

$$\Delta P_{кс} = 950 \cdot (1-0{,}612) \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}256 = 925 Па$$

Для задовільного розподілу газового потоку необхідно дотримуватися певного співвідношення між гідравлічними опорами шару та ґрат. Мінімально допустимий гідравлічний опір решітки $\Delta P_p min$ обчислюється за формулою (Х.49) [2]

$$\Delta P \min = \Delta P_{КС} \frac{K_W^2 (\varepsilon - \varepsilon_0)}{(K_W^2 - 1) \cdot (1-\varepsilon_0)} \qquad (2.30)$$

Порізність нерухомого шару ε_0 для шароподібних частинок приймають рівною 0,4. Підставивши K_w = 1,8 (див. вище), отримаємо

$$\Delta P \min = 925 \frac{1{,}8^2 (0{,}612 - 0{,}4)}{(1{,}8^2 - 1) \cdot (1 - 0{,}4)} = 473 Па$$

Визначаємо гідравлічний опір вибраних ґрат (Х.50)

$$\Delta P_p = \xi \left(\frac{\omega}{F_c} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{ср}}{2} \qquad (2.31)$$

Коефіцієнт опору ґрат ξ = 1,5, тоді

$$\Delta P_p = 1{,}5 \left(\frac{2{,}55}{0{,}05} \right)^2 \cdot \frac{0{,}96}{2} = 1870 Па$$

Значення ΔP_p перевищує $\Delta P_p min$ – отже частка живого перерізу решітки обрано задовільно.

Загальний гідравлічний опір сушарки

$$\Delta P = 925 + 1870 = 2795 Па$$

2.4.2 Гідравлічний опір міжтрубного простору повітропідігрівача

За розрахунками, повітряпідігрівача кожухотрубного теплообмінника, який складається з коридорного пучка сталевих труб діаметром ø 25х2мм. Пучок омивається поперечним потоком повітря, що нагрівається від 18 до 130°С. Швидкість повітря у вузькому перерізі

пучка 12м/с. Число труб у пучку – 37. Поперечний крок S_1 = 35мм, граничний S_2 = 40мм.

Для неізотермічного газового потоку (турбулентного) розрахунок гідравлічного опору ведеться за формулою (1 - 50) [3]

$$Eu = b \cdot (2 + 4{,}5m) \cdot \left(\frac{S_1}{d}\right)^{-0{,}23} \cdot \mathrm{Re}^{-0{,}26}, \qquad (2.32)$$

де:

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho \cdot \omega^2} \text{ - критерій Ейлера}$$

b = 1 при куті атаки φ = 90°

ΔР – гідравлічний опір $\left(\frac{н}{м^2}\right)$

Середня температура повітря $t_{ср} = \frac{18+130}{2} = 74^{\circ}C$

В'язкість повітря при 74 ° С дорівнює 0,021 сп3 = $0{,}021 \cdot 10^{-3} \frac{Н \cdot с}{м^2}$ (рис VI) [3]

Щільність повітря $\rho_{ср} = 0{,}96 \frac{кг}{м^3}$ - визначено раніше

Критерій Рейнольдса

$$\mathrm{Re} = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho_{ср}}{\mu} = \frac{12 \cdot 0{,}025 \cdot 0{,}96}{0{,}021 \cdot 10^{-3}} = 13714$$

Критерій Эйлера

$$Eu = 1(2 + 4{,}5 \cdot 37) \cdot \left(\frac{35}{25}\right)^{-0{,}23} \cdot 13714^{-0{,}26} = 13{,}1$$

Втрата тиску при проходженні потоку повітря через підігрівач

$$\Delta P = Eu \cdot \omega^2 \cdot \rho = 13{,}1 \cdot 12^2 \cdot 0{,}96 = 1811 \frac{Н}{м^2}$$

2.5 Розрахунок допоміжного обладнання

Вибір повітронагрівача

Температурні умови процесу

Повітря при атмосферному тиску нагрівається від 18°С до 130°С за рахунок теплоти конденсації пари з абсолютним тиском. $Р_{абс}$= 0,808Мпа та температурою конденсації $t_{конд}$= 170°С.

Середню різницю температур між насиченою водяною парою та повітрям визначається за формулою

$$\Delta t_{ср} = \frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{2{,}3lq\frac{\Delta t_б}{\Delta t_м}} = \frac{152-40}{2{,}3lq\frac{152}{40}} = 84^{\circ}C,$$

де:

$\Delta t_б = 170 - 18 = 152°C$

$\Delta t_м = 170 - 130 = 40°C$

170 ------Пар--------170

18-------повітря-----130

Середня температура повітря навколишнього середовища та температури а апараті

$$t_{в.ср} = \frac{t_{нач} + t_{кон}}{2} = \frac{18+130}{2} = 74^{\circ}C$$

Теплове навантаження апарату

За формулою [3]

$$Q = L \cdot C_b \cdot (t_{кон} - t_{нач}), \qquad (2.33)$$

де:

C_b – теплоємність повітря за табл.XXVII [3], Дж/кг·К;

L – витрата повітря, кг/с;

$t_{кон}$ – кінцева температура повітря, К;

$t_{нач}$ – початкова температура повітря, К;

$$C_b = 10^3 \frac{Дж}{кг \cdot град}$$

$$Q = 0{,}36 \cdot 10^3 \cdot (130 - 18) = 40320Вт$$

Вибір конструкції

Для розрахунку приймаємо повітропідігрівач у вигляді горизонтального кожухотрубного теплообмінника з коридорним пучком труб діаметром 25х2,0 мм, довжиною l = 2м. Гаряче повітря омиває труби в поперечному напрямку з кутом атаки 90 °. Швидкість повітря у найвужчому перерізі ω = 1,25м/с.

Визначення коефіцієнта теплопередачі

Приймаємо теплову провідність забруднень з боку пари, що конденсується. $\frac{1}{r_{засp1}} = 500\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$, а з боку повітря $\frac{1}{r_{засp2}} = 4000\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$. Теплопровідність сталі $d = 46{,}5\frac{Вт}{м \cdot К}$ [3]. Таким чином термічний опір сталевої стінки та її забруднень складе:

$$\sum r_{ст} = r_{загр1} + r_{ст} + r_{загр2} = \frac{1}{5000} + \frac{0{,}0025}{46{,}5} + \frac{1}{4000} = 5 \cdot 10^{-4}\ \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку пари, що конденсується, визначається за формулою

$$\alpha_{конд} = 1{,}36 \cdot A \cdot q^{0{,}5} \cdot l^{0{,}35} \cdot d^{-0{,}25}\left(\frac{Вт}{м^2 \cdot К}\right) \qquad (2.34)$$

Значення коефіцієнта А знаходимо за рис.4-8 [3]

При t = 170°С А = 6,2

В останню формулу підставимо $q = \alpha_{конд} \cdot \Delta t$, отримаємо

$$\alpha_{конд} = 1{,}36 \cdot A \cdot \alpha_{кон}^{0{,}5} \cdot \Delta t^{0{,}5} \cdot l^{0{,}35} \cdot d^{-0{,}25} \qquad (2.35)$$

Розділимо ліву та праву частину рівняння на множник $\alpha_{кон}^{0{,}5}$

Отримаємо

$$\alpha_{кон}^{0{,}5} = 1{,}36 \cdot A \cdot \Delta t^{0{,}5} \cdot l^{0{,}35} \cdot d^{-0{,}25} \qquad (2.36)$$

Зведемо ліву та праву частину рівняння у квадрат. Отримаємо

$$\alpha_{кон} = 1{,}36 \cdot A^2 \cdot \Delta t \cdot l^{0{,}7} \cdot d^{-0{,}5} = 1{,}85 \cdot 6{,}2^2 \cdot 2^{0{,}7} \cdot 0{,}021^{-0{,}5} \cdot \Delta t$$

$$\alpha_{кон} = 1060 \cdot \Delta t\ \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Коефіцієнт тепловіддачі повітря. Визначимо критерій Рейнольдса для повітряного потоку.

$$\mathrm{Re} = \frac{\omega \cdot d}{y}, \qquad (2.37)$$

де:

d = 0,2м – внутрішній діаметр корпусу калорифера

y - кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря при $t_{ср}$ = 74°С.

За номограмою (VI) [3] знаходимо $y = 21 \cdot 10^{-6}\frac{н \cdot с}{м^2}$

$$\mathrm{Re} = \frac{1{,}25 \cdot 0{,}2}{21 \cdot 10^{-6}} = 14480$$

Критерії Re > 10 000. Розрахункова формула (4-39) [3]

$$N_u = 0{,}21 \cdot \varepsilon_\varphi \cdot \mathrm{Re}^{0{,}65}, \qquad (2.38)$$

де:

N_u – критерій Нуссельта,

ε_φ – коефіцієнт, що враховує вплив кута атаки.

При вугіллі атаки $\varphi = 90°$, $\varepsilon_\varphi = 1$

$$N_u = 0{,}21 \cdot 1 \cdot 14480^{0{,}65} = 106{,}3$$

Коефіцієнт тепловіддачі для 3-го та наступних рядів

$$\alpha = \frac{N_u \cdot \lambda}{d}, \qquad (2.39)$$

де:

λ – коефіцієнт теплопровідності повітря при $t_{ср} = 74°C$

За табл. знаходимо $\lambda = 0{,}03 \frac{Вт}{м \cdot К}$ [3]

$$\alpha = \frac{106{,}3 \cdot 0{,}03}{0{,}025} = 152 \frac{Вт}{м \cdot К}$$

Середній коефіцієнт тепловіддачі для всього пучка труб.

$$\alpha_{ср} = \frac{0{,}6 + 0{,}9 + 1}{3} \cdot \alpha = 0{,}833 \cdot 152 = 127{,}0 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Тут (0,6) і (0,9) – коефіцієнти, що враховують зменшення коефіцієнта тепловіддачі для 1-го та 2-го рядів

$$\alpha_{ср} = 127 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

При процесі теплообміну, що встановився.

$$q_{конд} = q_{ст} = q_{воз},$$

де:

q – питомий тепловий потік

$$q_{конд} = \alpha_{кон} (t_{кон} - t_{ст1})$$

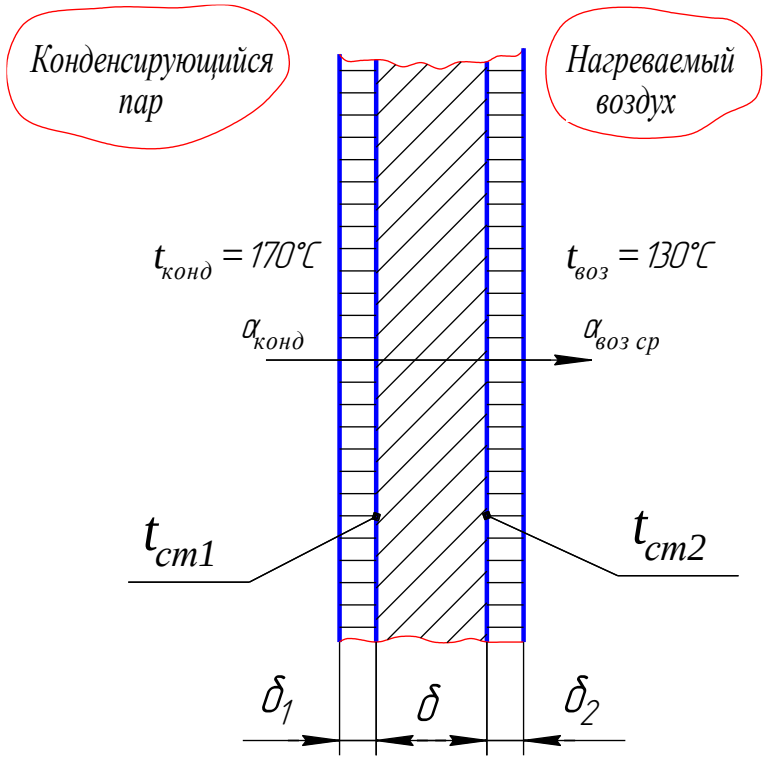

Рисунок 2.2

$$q_{ст} = \frac{t_{ст1} - t_{ст2}}{\sum r_{ст}} \qquad (2.40)$$

$$q_{возд} = \alpha_{возд}(t_{ст2} - t_{воз}) \qquad (2.41)$$

В даному випадку $\alpha_{кон}$ залежить від температури стінки труби $t_{ст1}$. Так як $t_{ст1}$ заздалегідь невідома, далі розраховуємо методом послідовних наближень, тобто за різними значеннями $t_{ст1}$ знаходимо залежність ($t_{ст}$ – q)/ Величина $t_{ст1}$ має бути ближче до $t_{конд}$, так как $\alpha_{кон} > \alpha_{воз}$. Приймаємо для першого розрахунку $t_{ст1} = 165°C$.

Для наочності та зручності контролю за змінами розрахункових величин складаємо табл.1 та будуємо залежності $q_{конд}$ і $q_{возд}$ от $t_{ст}$

За результатами 2-х розрахунків будуємо графіки залежності $q_{конд}$ і $q_{воз}$ от $t_{ст1}$ (рис. 2.2). Точка перетину прямих при $t_{ст1} = 167,8$ дає $q_{ср} = 2700 \frac{Вт}{м^2}$. Перевірочний розрахунок № 3 за тієї ж температури дає

$$q_{ср} = \frac{q_{кон} + q_{воз}}{2} = \frac{2738 + 2576}{2} = 2657 \frac{Вт}{м^2}$$

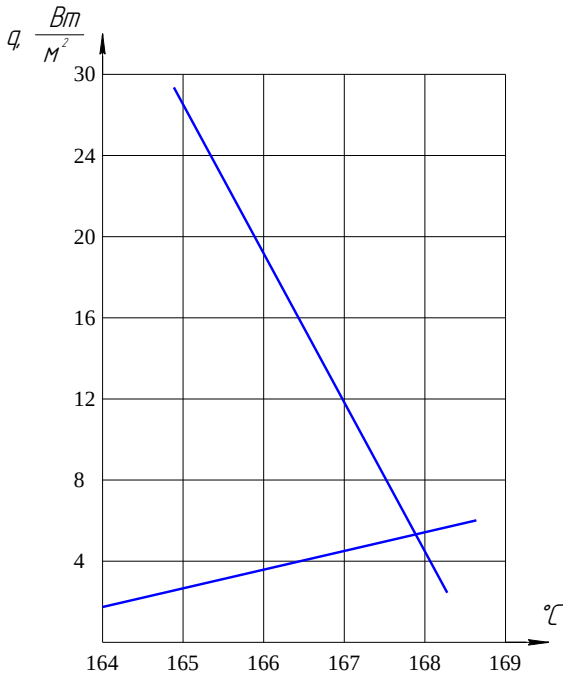

Рисунок 2.3 – Визначення середнього питомого теплового потоку

Приймаємо до розрахунку

$$q_{ср} = \frac{q_{ср1} + q_{ср2}}{2} = \frac{5130 + 4490}{2} = 4810 \frac{Вт}{м^2}$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі

$$K = \frac{q_{ср}}{\Delta t_{ch}} = \frac{4810}{84} = 57{,}2 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Необхідна поверхня теплообміну

Необхідну поверхню теплообміну визначаємо за формулою [3]

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{ср}} = \frac{Q}{q_{ср}} \qquad (2.42)$$

$$F = \frac{40320}{4810} = 8{,}38 м^2$$

За табл. II.3 [2] вибираємо кожухотрубний теплообмінник з наступними параметрами:

- поверхня теплообміну - 9,0м^2;
- зовнішній діаметр корпусу 273мм;
- діаметр труб 25 х 2мм;
- число ходів 1;
- загальна кількість трубок 37.

3 Проектно-конструкторська частина

3.1 Вибір конструкційних апаратів

Вибір конструкційного матеріалу, що визначається умовою експлуатації проектованого елемента, вузла або апарату (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу середовища, вимоги до якості продукту, що переробляється і т. д.), слід виконувати так, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію виготовлення елемента (виробу).

Так як в апараті здійснюється технологічний процес із застосуванням матеріалу з підвищеною вимогою до його якості, то для забезпечення умов роботи апарату прийнята корозійностійка сталь аустенітного класу 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-80. Швидкість корозії її менше 0,1 мм/рік, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{ст} = 25,1$Вт/м·К.

Сталь характеризується гарною корозійною стійкістю в середовищі, рекомендується застосовувати в температурному інтервалі -256 ° С до +525 ° С для корпусних елементів, до 600 ° С - для внутрішніх пристроїв без обмеження тиску. Сталь технологічна, добре зварюється, добре деформується в холодному та гарячому стані, добре обробляється всіма видами різання, характеризується задовільними лінійними властивостями. Хімічний склад та механічні властивості представлені в таблиці 3.1 [4]

Таблиця 3.1 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 12Х18Н10Т

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

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

Матеріал зовнішньої оснастки, арматури, кріпильних елементів і т. д., що не мають контакту з середовищем, що переробляється, приймаємо конструкційну сталь 20 ГОСТ 380-71. Вибір на користь цієї сталі, заснований на її порівняно низькій вартості, хорошій оброблюваності та досить високими фізико-механічними властивостями. Хімічний склад та механічні властивості представлені у таблиці 3.2 [4]

Таблиця 3.2 – Хімічний склад та механічні властивості стали 20

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	As, %	S, %	P, %	$E \cdot 10^5$, МПа	$\sigma_т$, МПа	$\sigma_в$, 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

Для прокладок вибираємо пароніт за ГОСТ 481-88, що характеризується гранично допустимими робочими параметрами середовища t_c=150ºС, P_P = 2,5МПа [4].

3.2 Розрахунок на міцність та стійкість

3.2.1 Розрахунок товщини стінки корпусу та кришки

Вихідні дані:

довжина обичайки L = 1280 мм;
еквівалентний діаметр $D_{вн}$ = 550мм;
температура середовища t_c = 130°С
швидкість корозії П = 0,1мм/рік;
термін експлуатації τ = 15лет;
робочий тиск $P_р$ = 0,15МПа.

1. Розрахунок основних параметрів

Розрахункова температура

Розрахункова температура визначається на підставі теплових розрахунків або результатів випробувань [4]

$$t_{\max} = \{t_c ; 20^\circ C\}, \quad (3.1)$$

де:

t_c – найбільша температура середовища, t_c = 130ºС

$$t_{\max} = \{130^\circ C; 20^\circ C\} = 130^\circ C$$

2. Розрахунковий тиск $P_р$ = 0,15МПа

3. Розрахунок напруг, що допускаються

Для робочого стану напруга визначається за формулою [4]

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^*, \quad (3.2)$$

де:

δ* - нормативна напруга при розрахунковій температурі.

Для матеріалу кожуха δ* =131МПа (табл. 1.2) [1]

η – поправочний коефіцієнт, що враховує вагу заготівлі. По [1] с.10 η = 1,0 – для листового прокату.

$$[\delta] = 1 \cdot 131 = 131\text{МПа}$$

При гідравлічних випробуваннях системи [4, с.9] допустима напруга визначається за формулою

$$[\sigma]_и = \frac{\eta_* \cdot \sigma_T^{20}}{n_T}, \qquad (3.3)$$

де:

σ_T^{20} - розрахункове значення межі плинності при 20ºС.

За табл. 1 додатки 1 [4]

$$\sigma_T^{20} = 210\text{МПа}$$

n_T – коефіцієнт запасу міцності за умови навантаження: гідравлічні випробування

$n_T = 1{,}1$ табл. 1.7 [4]

$\eta_* = 1{,}0$ – за винятком сталевих виливків

$$[\sigma]_и = \frac{1 \cdot 210}{1{,}1} = 191МПа$$

4. Розрахунок додатків до розрахункових товщин.

Додаток до розрахункової товщини стінки визначається за формулою [4, с.15]

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \qquad (3.4)$$

де:

C_1 – добавка для компенсації корозії та ерозії;

C_2 – збільшення мінусового значення граничного відхилення по товщині листа;

C_3 – технологічне збільшення.

$$C_1 = C_К + C_Э, \qquad (3.5)$$

де:

$C_К$ – збільшення на корозію;

$C_Э$ – збільшення на ерозію.

$$C_К = П \cdot \tau \quad \text{с.10 [1]}, \qquad (3.6)$$

де:

τ = 15 років– термін служби апарату;

П = 0,1мм/рік – корозійна проникність середовища.

$$C_К = 0,1 \cdot 15 = 1,5мм$$

Добавка на мінусове значення граничного відхилення по товщині листа C_2, з якого виготовляється елемент апарату, приймається за відповідним стандартом на сортамент.

$$C_2 = 0.$$

Технологічна добавка C_3 враховується в залежності від прийнятої технології виготовлення і не включає округлений і розрахунковий за товщиною елемента розмір до номінальної товщини за стандартом.

Прибавка C_2 і C_3 враховується, коли їх сума перевищує 5% від номінованої товщини стінки.

У нашому випадку

$$C_2 + C_3 = 0 < 5\%$$

Таким чином збільшення буде С = 1,5мм.

5. Розрахунок товщини стінки кожуха апарату, навантаженого внутрішнім тиском.

Товщина стінки обічайки визначається за формулою [4]

$$S_P^{вн} = \max\left\{\begin{array}{l}\dfrac{P_P \cdot D_{вн}}{2\cdot[\sigma]\cdot\varphi - P_p} \\ \dfrac{P_и \cdot D_{вн}}{2\cdot[\sigma]_и\cdot\varphi - P_и}\end{array}\right\}, \qquad (3.7)$$

де:

[σ] – допустима напруга за матеріалом апарату, МПа;

$[\sigma]_и$ - допустима напруга при гідровипробуваннях, МПа;

$D_{экв}$ – еквівалентний діаметр апарату, м;

φ = 0,95 – коефіцієнт міцності зварного шва

Еквівалентний діаметр апарату визначаємо за формулою

$$D_{экв} = \sqrt{\frac{l_к b_к}{0,785}} \qquad (3.8)$$

де $l_к$ = 0,5 м – довжина кришки апарату;

$b_к$ = 0,5 м – ширина кришки апарату.

$$D_{экв} = \sqrt{\frac{l_к b_к}{0,785}}$$

Відповідно до табл.1.1 [4]

$$P_u = \max\left\{\frac{1{,}5P_{ап}[\sigma]_м}{[\sigma]};0{,}2\right\} \quad (3.9)$$

$$P_u = \max\left\{\frac{1{,}5\cdot 0{,}15\cdot 191}{131};0{,}2\right\} = \max\{0{,}328;0{,}2\} = 0{,}328 МПа$$

$$S_P^{вн} = \max\left\{\begin{array}{c}\dfrac{0{,}15\cdot 0{,}55}{2\cdot 131\cdot 0{,}95 - 0{,}15} \\ \dfrac{0{,}323\cdot 0{,}55}{2\cdot 191\cdot 0{,}95 - 0{,}328}\end{array}\right\} = \max\{0{,}3\cdot 10^{-3};0{,}45\cdot 10^{-3}\} = 0{,}45\cdot 10^{-3} м$$

Виконавча товщина стінки обічайки визначається за формулою [4]

$$S = S_P + C,$$

де:

S_P – розрахункова товщина стінки, мм;

C = 1,5мм – збільшення до розрахункової товщини.

$$S = 0{,}45 + 1{,}5 = 1{,}95 \text{ мм}$$

Приймаємо S = 6мм

Розрахунок внутрішнього тиску, що допускається, на обичайку кожуха [4]

$$[P] = \frac{2[\sigma]\cdot\varphi\cdot(S-C)}{D_{вн}+S-C}$$

$$[P] = \frac{2\cdot 131\cdot 0{,}95\cdot(6-1{,}5)}{550+6-1{,}5} = 2{,}22 МПа \rangle P_P,$$

тобто умова

$$P_p < [P] \text{ виконано.}$$

Розрахунок товщини стінки плоскої кришки

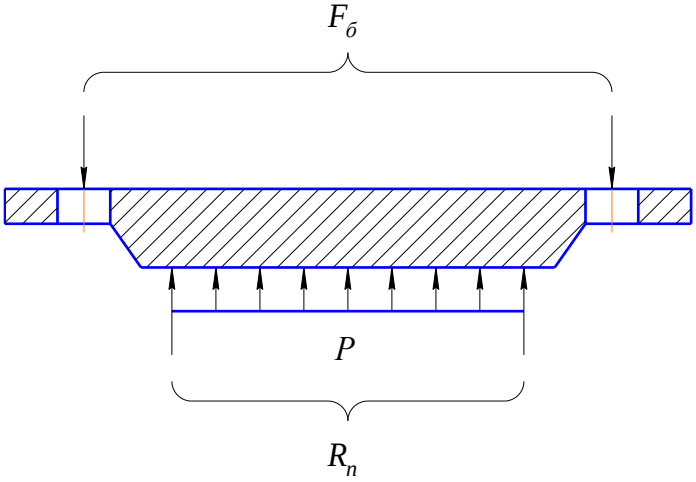

Рисунок 3.1 - Розрахункова схема плоскої кришки

Виконавчу товщину S_n обчислюємо за формулами 1.21 та 1.22 [4]

$$S_{пр} = \max\begin{cases} K \cdot K_0 \cdot D_P \sqrt{P_P / \varphi \cdot [\sigma]} \\ K \cdot K_0 \cdot D_P \sqrt{P_и / \varphi \cdot [\sigma]_и} \end{cases} \quad (3.10)$$

$$S_n = S_{пр} + C + C_0 \quad (3.11)$$

де:

$S_{пр}$ – розрахункова товщина плоского днища (кришки).

Розрахунковий діаметр D_P і коефіцієнт До, що враховує тип закріплення кришки, приймаємо відповідно до табл..1.11 [4]

$$D_р = D_{экв.} = 0{,}55м$$

Діаметр болтового кола

$$D_б = D_{экв}+2(s+d_б+u) \quad (3.12)$$

де u = 6 мм;

$d_б$ = 12 мм.

$$D_б = 550+2(6+12+6) = 575 мм$$

Зовнішній діаметр фланця

$$D_н = D_б + a \quad (3.13)$$

де а = 25 мм (таблиця 1.41 [4]);

$$D_н = 575 + 25 = 600 \text{ мм}$$

Зовнішній діаметр прокладки

$$D_{н.\,п.} = D_б - e \tag{3.14}$$

де е = 20 мм (таблиця 1.41 [4]);

$$D_{н.\,п.} = 575 - 20 = 555 \text{ мм}$$

Середній діаметр прокладки

$$D_{с.\,п.} = D_{н.\,п.} - b \tag{3.15}$$

де b = 12 мм – ширина прокладки (таблиця 1.42 [4]);

$$D_{с.\,п.} = 555 - 12 = 543 \text{ мм}$$

$$K = 0{,}41\sqrt{\frac{1 + 3\psi \cdot \left(\frac{D_б}{D_{сп}} - 1\right)}{\frac{D_б}{D_{сп}}}} \tag{3.16}$$

$$\psi = 1 + \frac{R_n}{F_D}, \tag{3.17}$$

де:

R_n - реакція прокладки;

F_D – рівнодіюча внутрішнього тиску

$$F_D = 0{,}785 \cdot D^2 \cdot P_P = 0{,}785 \cdot 0{,}55^2 \cdot 0{,}15 = 0{,}029 МН$$

Реакція прокладки визначається за формулою 1.128 [4]

$$R_n = \pi \cdot D_{сп} \cdot в_0 \cdot K_{пр} \cdot P_в, \tag{3.18}$$

де:

$К_{пр}$ – коефіцієнт, що залежить від матеріалу прокладки та її конструкції, вибираємо по табл..1.44 [4]

$$К_{пр} = 0{,}5$$

$в_0$ = в = 12мм – ширина прокладки.

Тоді

$$R_n = 3,14 \cdot 0,543 \cdot 0,012 \cdot 0,5 \cdot 0,15 = 1,49 \cdot 10^{-3} МН$$

Тоді

$$\psi = 1 + \frac{0,00149}{0,029} = 1,052$$

$$K = 0,41\sqrt{\frac{1 + 3 \cdot 1,052\left(\frac{0,575}{0,543} - 1\right)}{\frac{0,575}{0,543}}} = 0,433$$

Коефіцієнт ослаблення K_0 визначаємо залежно від характеру розташування отворів у днищі (кришці) за даними табл.1.12 [4] та рис.1.4 [4]

$$K_0 = \sqrt{1 + \frac{d}{D_p} + \left(\frac{d}{D_p}\right)^2}, \qquad (3.19)$$

де d = 100 мм.

Тоді

$$K_0 = \sqrt{1 + \frac{0,1}{0,55} + \left(\frac{0,1}{0,55}\right)^2} = 1,068$$

Тепер

$$S_{пр} = \max\left\{\begin{matrix} 0,433 \cdot 1,068 \cdot 0,55\sqrt{\frac{0,15}{0,95 \cdot 131}} \\ 0,433 \cdot 1,068 \cdot 0,55\sqrt{\frac{0,328}{0,95 \cdot 191}} \end{matrix}\right\} = \left\{\begin{matrix} 8,28 \cdot 10^{-3} \\ 10,4 \cdot 10^{-3} \end{matrix}\right\} = 10,42 \cdot 10^{-3} м$$

Виконавча товщина плоскої кришки

$$S_n = S_{пр} + C + C_0 = 10,42 + 1,5 + 0,08 = 12мм,$$

де:

C_0 = 0,08м – умови округлення товщини до найближчого більшого стандартного значення (ГОСТ 19303-74).

Приймемо

$$S_n = 15мм.$$

Допустимий тиск визначається за формулами 1.23, 1.24 [4]

В робочому стані

$$[P]=\left[\left(S_n-C\right)\Big/K\cdot K_0\cdot D_p\right]^2\cdot[\sigma]\cdot\varphi \qquad (3.20)$$

$$[P]=\left[\left(0{,}015-0{,}0015\right)\Big/0{,}443\cdot 1{,}068\cdot 0{,}55\right]^2\cdot 131\cdot 0{,}95=0{,}376МПа$$

При випробуванні

$$[P]_и=\left[\left(S_n-C\right)\Big/K\cdot K_0\cdot D_p\right]^2\cdot[\sigma]_и\cdot\varphi \qquad (3.21)$$

$$[P]_и=\left[\left(0{,}015-0{,}0015\right)\Big/0{,}443\cdot 1{,}068\cdot 0{,}55\right]^2\cdot 191\cdot 0{,}95=0{,}549МПа$$

3.2.2 Розрахунок фланцевого з’єднання

Вихідні дані:

еквівалентний діаметр апарату D = 550мм;

температура середовища 130ºС;

зовнішня осьова сила та згинальний момент відсутні (F= 0, M= 0);

фланець плоский приварний;

діаметр болтового кола $D_б$ = 575мм

Кількість болтів, необхідних для забезпечення герметичності з'єднання, визначаємо за формулою 1.123 [4]

$$n_б \rangle \frac{\pi\cdot D_б}{t_ш}, \qquad (3.22)$$

де:

$t_ш$ – рекомендований крок розташування болтів, що вибирається залежно від тиску по табл..1.43 [4]

$$t_ш = 4{,}5\cdot 12 = 54мм$$

$$n_б \rangle \frac{3{,}14\cdot 0{,}575}{0{,}054}=29$$

Приймаємо $n_б$ = 28, кратне чотирьом.

Висота (товщина) фланця визначається за формулою 1.124 [4]

$$h_ф \geq \lambda_ф \sqrt{D \cdot S_{эк}}\,, \qquad (3.23)$$

де:

$\lambda_ф$ – приймається згідно з рисунком 1.40 [4] залежно від тиску, $\lambda_ф = 0{,}38$ – для плоских фланців;

$S_{эк}$ – еквівалентна товщина втулки фланця, $S_{эк} = 6$мм.

$$h_б \geq 0{,}38\sqrt{0{,}55 \cdot 0{,}006} = 0{,}02\text{м}$$

Приймаємо $h_ф = 20$мм

Довжина болта розрахункова визначається за формулою 1.133 [4]

$$l_б = l_{б0} + 0{,}28d\,, \qquad (3.24)$$

де:

$l_{б0}$ - відстань між опорними поверхнями головки гайкового болта (визначається конструктивно);

d – діаметр отвору під болт

$$l_{б0} = 2\left(h_ф + h_n\right) = 2(20 + 2) = 44мм$$

h_n – товщина прокладки

$$l_б = 44 + 0{,}28 \cdot 13 = 47{,}8мм$$

Приймаємо $l_б = 50мм$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій, визначимо за формулою 1.137 [4]

$$F_t = \frac{y_б \cdot n_б \cdot f_б \cdot E_б\left(\alpha_ф \cdot t_ф - \alpha_б \cdot t_б\right)}{y_n + y_б + 0{,}5y_p\left(D_б - D_{сп}\right)^2}\,, \qquad (3.25)$$

де:

$\alpha_ф = \alpha_б = 12{,}5 \cdot 10^{-6}\ \frac{1}{°C}$ - коефіцієнти лінійного розширення матеріалу фланців та болтів. Додаток табл. XI [4]

$t_ф$, $t_б$ – відповідно температура фланців, болтів

$$t_ф = 0{,}96 \cdot t = 0{,}96 \cdot 130 = 124{,}8°C$$

$t_б = 0{,}95 \cdot t = 0{,}95 \cdot 130 = 123{,}5°C$

$E_б = 1{,}9 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності матеріалу болтів [4]

$f_б = 1{,}13 \cdot 10^{-4}м^2$ – площа поперечного перерізу болта діаметром d = 12мм;

$n_б$ – кількість болтів;

$y_б$, $y_п$, $y_ф$ – податливості, відповідно болтів, прокладок та фланців, що обчислюється за формулами 1.129 – 1.132 [4]:

$$y_б = \frac{l_б}{E_б \cdot f_б \cdot n_б} = \frac{0{,}05}{1{,}9 \cdot 10^5 \cdot 1{,}13 \cdot 10^{-4} \cdot 28} = 83{,}2 \cdot 10^{-6} \frac{м}{МН}$$

$$y_п = \frac{K_п}{E_п \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot в}, \tag{3.26}$$

де:

$$E_п = 3\left[1 + \frac{в}{2h_п}\right] = 3\left[1 + \frac{12 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}\right] = 12 МПа$$

Модуль пружності прокладки $К_п = 0{,}5$ табл. 1.44 [4]

$$y_п = \frac{1{,}5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}55 \cdot 12 \cdot 10^{-3}} = 4173 \cdot 10^{-6} \frac{м}{МН}$$

Податливість фланця

$$y_ф = \frac{\left[1 - \gamma\left(1 + 0{,}9\lambda_ф\right)\right] \cdot \psi_2}{h_ф^3 \cdot E} \tag{3.27}$$

$$\psi_2 = \frac{D_н + D}{D_н - D} = \frac{0{,}575 + 0{,}5}{0{,}575 - 0{,}5} = 14{,}3$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + 0{,}9 \cdot \lambda_ф \cdot \left(1 + \frac{\psi_ф \cdot h_ф^2}{S_{эк}^2}\right)} = \frac{1}{1 + 0{,}9 \cdot 0{,}38 \cdot \left(1 + \frac{0{,}077 \cdot 0{,}02^2}{0{,}006^2}\right)} = 0{,}613$$

При

$$\psi_1 = 1{,}28 \cdot lq \frac{D_н}{D} = 1{,}28 lq \frac{0{,}6}{0{,}55} = 0{,}077$$

$$y_ф = \frac{\left[1 - 0{,}613\left(1 + 0{,}9 \cdot 0{,}38\right)\right] \cdot 1{,}43}{0{,}006^3 \cdot 1{,}9 \cdot 10^5} = 61{,}8 \frac{м}{МН}$$

$$F_t = \frac{83{,}2 \cdot 10^{-6} \cdot 28 \cdot 1{,}13 \cdot 10^{-4} \cdot 1{,}9 \cdot 10^5 \cdot 12{,}5 \cdot 10^{-6}\left(124{,}8 - 123{,}5\right)}{4173 \cdot 10^{-6} + 83{,}2 \cdot 10^{-6} + 0{,}5 \cdot 61{,}8\left(0{,}55 - 0{,}53\right)^2} = 48{,}96 \cdot 10^{-6} МН$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

$$K_{ж} = \frac{y_{б} + 0{,}5y_{ф}\left(D_{б} - D - S_{эк}\right)\cdot\left(D_{б} - D_{сп}\right)}{y_{п} + y_{б} + 0{,}5y_{ф}\cdot\left(D_{б} - D_{сп}\right)^{2}} \qquad (3.28)$$

$$K_{ж} = \frac{83{,}2\cdot10^{-6} + 0{,}5\cdot61{,}8\left(0{,}575 - 0{,}55 - 0{,}006\right)\cdot\left(0{,}575 - 0{,}543\right)}{4173\cdot10^{-6} + 83{,}2\cdot10^{-6} + 0{,}5\cdot61{,}8\cdot\left(0{,}575 - 0{,}543\right)^{2}} = 1{,}643$$

Болтове навантаження в умовах монтажу до подачі внутрішнього тиску

$$F_{б1} = \max\begin{Bmatrix} K_{ж}\cdot F_{D} + R_{п} \\ 0{,}5\cdot\pi\cdot D_{сп}\cdot в_{0}\cdot P_{кр} \end{Bmatrix} = \max\begin{Bmatrix} 1{,}643\cdot0{,}029 + 0{,}00149 = 0{,}0176 \\ 0{,}5\cdot3{,}14\cdot0{,}543\cdot12\cdot10^{-3}\cdot2 = 0{,}02 \end{Bmatrix} = 0{,}0476МН,$$

де:

$P_{пр}$ =2МПа – тиск обтиснення прокладки табл.1.44 [4]

Болтове навантаження у робочих умовах визначається за формулою 1.136 [4]

$$F_{б2} = F_{б1} + (1 - К_{ж})\cdot F_{D} + F_{t}$$

$$F_{б2} = 0{,}0476 + (1 - 1{,}643)\cdot0{,}029 + 48{,}96\cdot10^{-6} = 0{,}0291МН$$

Наведений згинальний момент [4]

$$M_{0} = \max\begin{Bmatrix} 0{,}5\left(D_{б} - D_{сп}\right)\cdot F_{б1} \\ 0{,}5\left[\left(D_{б} - D_{сп}\right)\cdot F_{б2} + \left(D_{сп} - D - S_{эк}\right)\cdot F_{D}\right]\dfrac{\left[\sigma\right]_{20}}{\left[\sigma\right]} \end{Bmatrix} \qquad (3.29)$$

$$M_{0} = \max\begin{Bmatrix} 0{,}5\left(0{,}575 - 0{,}543\right)\cdot0{,}0476 = 476\cdot10^{-6}\,МНм \\ 0{,}5\left[\left(0{,}575 - 0{,}543\right)\cdot0{,}0291 + \left(0{,}543 - 0{,}55 - 0{,}006\right)\cdot0{,}029\right]\dfrac{140}{131} = 528\cdot10^{-6}\,МНм \end{Bmatrix} = 528\cdot10^{-6}\,МНм$$

Перевірка міцності та герметичності з'єднання.

Умова міцності болтів при монтажі фланцевого з'єднання і його робочому стані обчислюється [4]

$$\frac{F_{б1}}{n_{б}\cdot f_{б}} \langle \left[\sigma\right]_{б20} \qquad (3.30)$$

$$\frac{0{,}0476}{28\cdot1{,}13\cdot10^{-4}} = 15{,}04МПа \langle 130МПа$$

$$\frac{F_{б2}}{n_б \cdot f_б} \langle [\sigma]_б \qquad (3.31)$$

$$\frac{0{,}0291}{28 \cdot 1{,}13 \cdot 10^{-4}} = 9{,}2 МПа \langle 120 МПа,$$

де:

$[\sigma]_{б20} = 130 МПа$ для болтів зі сталі 35 при 20ºС табл.1.38 [4]

$[\sigma]_б = 120 МПа$ для матеріалу болтів за робочої температури.

Умова міцності прокладки виконується [4]

$$\frac{F_{б\max}}{\pi \cdot D_{сп} \cdot в} \langle [P_{пр}] \qquad (3.32)$$

$$\frac{0{,}0476}{3{,}14 \cdot 0{,}543 \cdot 12 \cdot 10^{-3}} = 2{,}38 МПа \langle 18 МПа,$$

де:

$[P_{пр}]$ = 18МПа – допустимий тиск обтиснення гумової прокладки табл.1.44 [4]

$$F_{б\max} = \max\{F_{б1}; F_{б2}\} = \max\{0{,}0476; 0{,}0291\} = 0{,}0476 МН$$

Максимальна напруга в перерізі обмеженому розміром S_0 з урахуванням формул 1.143 і 1.148 [4]

$$\sigma_0 = f_ф \cdot \sigma_0 = \frac{f_ф \cdot T_ф \cdot M_0 \cdot \gamma}{D^* \cdot (S_1 - C)^2} \qquad (3.33)$$

Так як у плоского приварного фланця втулка циліндрична.

$f_ф$ = 1, так як $\frac{S_1}{S_0} = 1$, D* = D = 0,55м,

так як $D > 20S_0$ (0,5м > 20 · 0,006 = 0,12м)

$$\sigma_0 = \frac{1 \cdot 1{,}854 \cdot 528 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}613}{0{,}55(0{,}006 - 0{,}0015)^2} = 59{,}26 МПа$$

$$T_ф = \frac{D_н^2 \left[1 + 8{,}55 lq \frac{D_н}{D}\right] - D^2}{\left(1{,}05D^2 + 1{,}945 D_н^2\right) \cdot \left(\frac{D_н}{D} - 1\right)} \qquad (3.34)$$

$$T_ф = \frac{0,6^2\left[1+8,55lq\frac{0,6}{0,55}\right]-0,55^2}{\left(1,05\cdot 0,55^2+1,945\cdot 0,6^2\right)\cdot\left(\frac{0,6}{0,55}-1\right)} = 1,854$$

Напруга l_0 втулки від внутрішнього тиску

тангенціональне

$$\sigma_t = \frac{P_p\cdot D}{2(S_0-C)} = \frac{0,15\cdot 0,55}{2(6-1,5)\cdot 10^{-3}} = 8,33МПа$$

меридіональне

$$\sigma_m = \frac{P_p\cdot D}{4(S_0-C)} = \frac{0,15\cdot 0,55}{4(6-1,5)\cdot 10^{-3}} = 4,16МПа$$

Умова міцності для перерізу обмеженого розміром S_0 = 6мм виконується.

$$\sqrt{(\sigma_0+\sigma_m)^2+\sigma_t^2-(\sigma_0+\sigma_m)\cdot\sigma_t} \langle \varphi\cdot[\sigma]_0,$$

де:

$[\sigma]_0 = 0,003\cdot E = 0,003\cdot 1,99\cdot 10^5 = 597МПа$ для фланця зі сталі в перерізі S_0 і при $P_р$=0,15МПа

$$\sqrt{(59,26+4,16)^2+8,33^2-(59,26+4,16)\cdot 8,33} = 59,69МПа \langle 0,9\cdot 597 = 538МПа$$

Окружна напруга в кільці фланця обчислюється за формулою 1.146 [4]

$$\sigma_к = \frac{M_0\left[1-\gamma\left(1+0,9\cdot\lambda_ф\right)\right]\cdot\psi_2}{D\cdot h_ф^2} \qquad (3.35)$$

$$\sigma_к = \frac{528\cdot 10^{-6}\left[1-0,613\left(1+0,9\cdot 0,38\right)\right]\cdot 14,3}{0,55\cdot 0,02^2} = 6,695МПа$$

Умови герметичності фланцевого з'єднання виконуються [4]

$$\theta = \frac{\sigma_к}{E}\cdot\frac{D}{h_ф} \langle [\theta] \qquad (3.36)$$

$$\theta = \frac{6,695}{1,99\cdot 10^5}\cdot\frac{0,55}{0,02} = 0,00084 \langle 0,013рад,$$

де:

θ – кут повороту фланця, радий[θ], допустимий кут повороту плоского фланця.

4 Монтаж і ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата

Особливістю приймання підстав для монтажу апарата є перевірка його осьових та висотних позначок, відхилення яких від проектних не повинні виходити за межі допусків, наведених у БНіП. Такі вимоги диктуються тим, що апарат, що монтується, послідовно пов'язаний з суміжними апаратами короткими трубопроводами або патрубками, які повинні збігатися без зсуву і перекосу.

Висотні позначки опорних основ кожного апарату рекомендується перевіряти гідростатичним рівнем чи нівеліром. Висотні позначки на підставах з металоконструкцій вирівнюють шляхом укладання тонких металевих підкладок, які після встановлення та вивіряння апарату прихоплюють до основи електрозварюванням.

На підставах із збірного залізобетону до встановлення апарату бажано вивести опорну поверхню на проектну позначку шляхом додавання бетонної суміші з подальшим вирівнюванням та залізненням. Якщо в процесі вивіряння апарата потрібно його вирівнювання, це виконують укладанням металевих підкладок під опорні лапи апарату. Остаточне регулювання апарата при його вивірянні здійснюється за допомогою регулювальних гвинтів в опорних лапах.

Апарат перед його установкою надходить на складальний майданчик для блокового складання, гідравлічного випробування та нанесення ізоляції.

На підготовчому майданчику апарат випробовують на міцність і густину при тиску, вказаному в робочому кресленні.

Гідравлічні випробування апарату проводять перед встановленням на фундамент. При виявленні будь-яких дефектів здійснюються заходи щодо їх усунення.

На корпусі апарату заводом-виробником повинні бути передбачені спеціальні захватні пристрої для встановлення його в проектне положення.

Залежно від місця встановлення апарату, його габаритних розмірів та ваги, підйом здійснюють із застосуванням вантажопідйомних механізмів та пристроїв, передбачених проектом виконання робіт.

При вивірці установки апарата на фундамент відхилення від проектних осей та позначок, а також горизонтальності та вертикальності не повинні перевищувати

- головних осей апарату у плані: 20 мм;
- фактичної висотної позначки встановленого апарату: 10 мм;

- Вертикальній осі апарату від вертикальності: 3 мм на 1 м, але не більше 35 мм.

Вивірка правильності установки апарата в проектне положення на фундаменті має проводитись

- вертикальних апаратів за допомогою тахометричного теодоліту по двох утворюючих, зрушених у плані щодо один одного на 90^0;

- осей опорних стійок каркасів – схилом;

- площин кронштейнів опорних стійок (несуть труби або секції) від розташування в одній горизонтальній площині – по натягнутій струні.

При вивірці установки каркаса (опорної металоконструкції) апарата на фундаменті або інших підставах відхилення від проектних розмірів, а також горизонтальності та вертикальності не повинні перевищувати

- осей опорних стійок між собою: ±3 мм;

- осі опорної стійки від вертикальності: 1мм на 1 м, але не більше 3 мм;

- площин кронштейнів опорних стійок, що несуть труби або секції, від розташування в одній горизонтальній площині – не більше 2 мм.

4.2 Ремонт апарата

У процесі тривалої роботи апарат піддається забрудненню та зносу. Зношування апарату виражається в наступному:

- зменшення товщені стінки корпусу, трубних ґрат, кришок;

- випучини та вм'ятини на корпусі та кришках;

- нориці, тріщини на корпусі, трубах та фланцях;

- збільшення діаметра отворів у решітці;

- Порушення гідро-і термоізоляції.

Підготовка до ремонту включає наступні заходи:

- знижується надлишковий тиск в апараті до атмосферного та апарат звільняється від продукту;

- відключається арматура, ставляться заглушки на всіх трубопроводах, що підводять і відводять;

- проводиться продування азотом або водяною парою з подальшим промиванням водою і продуванням повітрям;

- Складається план і виходить дозвіл на вогневі роботи, якщо вони необхідні в процесі ремонту;

- Складається акт здачі в ремонт.

Далі виконуються такі роботи:

- зняття кришок апарату, люків, демонтаж обв'язки та арматури;

- Виявлення дефектів зварювання;

- ремонт футерування та антикорозійних покриттів деталей з частковою заміною;

- ремонт або заміна зносу арматури, трубопроводів, регулювання запобіжних клапанів;

- Зміна ущільнень розбірних з'єднань;

- Чищення внутрішньої поверхні корпусу апарату;

- заміна частини корпусу, кришок та зношених деталей;

- монтаж різьбових з'єднань;

- гідравлічне випробування апарата пробним тиском;

- Пневматичне випробування апарату.

Найбільш трудомісткими операціями під час ремонту апарату є: демонтаж різьбових з'єднань; очищення апаратури; випробування апарату.

Корпус апарату, що має різні випучини та вм'ятини, виправляється ударами кувалди по мідній підкладці. Усунення невеликих вм'ятин при товщині стінки корпусу або кришки, виконаних із вуглецевої сталі, не більше 3-4 мм здійснюється нагріванням. Якщо неможливо усунути зазначені вище дефекти ударами та нагріванням, то пошкоджені частини або видаляються, або ставляться накладки.

Дефектні патрубки при досягненні максимальних величин зношування та прогину підлягають заміні.

Свищі та тріщини усуваються шляхом заварювання або постановкою накладок із попереднім видаленням дефектної ділянки.

За допомогою кольорової дефектоскопії визначають довжину та положення кінців тріщин, виявлених у корпусі. Ці кінці до заварки засвердлюються свердлями діаметром 3-4 мм. Нескрізні тріщини глибиною трохи більше 0,4 товщини стіни обробляється під заварку односторонньої вирубкою на максимальну глибину тріщини зі зняттям кромок під кутом 50-60º. При тріщині понад 100 мм зварювання ведуть зворотноступінчастим методом. Наскрізні та ненаскрізні тріщини глибиною понад 0,4 товщини стінки обробляють на всю товщину вирубуванням зубилом або газорізанням. З появою гніздоподібної тріщини пошкоджені місця вирізуються і закриваються латками, які повинні мати гострих кутів. Латки вварюються урівень з основним металом. Площа латки не повинна перевищувати одну третю площі аркуша апарату.

При частковій заміні корпусу апарата необхідно виконувати такі вимоги:

- матеріал для виготовлення нових частин корпусу повинен бути за механічними та хімічними властивостями однаковий з матеріалом ремонтованого корпусу;

- товщиною листа замінної частини повинна бути не меншою за проектну;

- електроди повинні відповідати матеріалу, що зварюється;

- замикаючі обичайки повинні бути шириною не менше 400 мм;

- Поздовжні шви в горизонтальних апаратах не повинні бути в нижній частині апарату;

- кромки поверхні обичайки та основного металу на ширині 10 мм мають бути зачищені перед зварюванням до чистого металу;

- поздовжні шви в окремих обичайках циліндричної частини апарату, а також меридіональні або хордові шви днищ, що примикають до обичайок, повинні бути зміщені відносно один одного не менше ніж на 100 мм;

- відстань між поздовжніми швами в окремих обичайках має бути не менше 200 мм;

- при зварюванні стиків необхідно передбачити плавний перехід від одного елемента до іншого.

5 Охорона праці

5.1 Аналіз потенційних небезпек [1]

У цеху можливі такі небезпеки:

1. Вибухи.

2. Поразка струмом.

3. Травматизм частинами обладнання, що рухаються.

4. Запиленість.

Для кожного хімічного виробництва складається нормативно-технічна документація, в якій зазначається:

1) Характеристика властивостей продукту, вихідної сировини та допоміжних матеріалів.

2) Опис технологічного процесу зі схемою виробництва.

3) Норми технологічного режиму із зазначенням гранично допустимих відхилень.

4) Можливі неполадки технологічного процесу, їх причини та способи усунення.

5) Основні правила пуску, безпечного ведення процесу та зупинки обладнання.

6) Аналітичний та автоматичний контроль виробництва.

7) Правила аварійного зупину виробництва.

8) Відходи виробництва, стічні води та викиди в атмосферу: їх склад, способи утилізації чи очищення та порядок скидання.

9) Перелік інструкцій, знання яких є обов'язковим для осіб, які ведуть технологічний процес та обслуговують це виробництво.

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

Порушення послідовності операцій, відхилення (більше допустимих) від заданих кількостей завантажуваної сировини, температур, тиску тощо можуть призвести до аварій.

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

На шкалах найпростіших приладів (манометри, термометри тощо) наносять червону межу, що вказує на гранично допустиме відхилення параметра.

Процес сушіння відноситься до процесу зі значним виділенням тепла та пилу. Температура нагрітих поверхонь обладнання та огорож на робочих місцях не повинна перевищувати 45ºС; для обладнання, всередині якого температура дорівнює або нижче 100ºС, температура поверхні не повинна перевищувати 35ºС.

5.2 Питання екології та раціонального використання сировини [1]

Захист навколишнього середовища при виготовленні спеціального шнура забезпечується ефективною вентиляцією. Повітря перед викидом в атмосферу проходить через потужні фільтри, що зрошуються водою. ТЕН накопичується на дні фільтрів і періодично забирається. Промивні води із залишком ТЕНу від прибирання обладнання та приміщень накопичуються у колодязях, які періодично чистяться. Вимоги до контролю за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони та концентрація шкідливих речовин – за ГОСТ12.1.005–88.

5.3 Пожежна безпека [1]

5.3.1 Вибухо-пожежонебезпека виробництва

Виробничі приміщення відносяться до категорії Ал, [1] ступінь небезпеки будівлі – II.

Евакуаційні шляхи забезпечують безпечну евакуацію всіх людей, що знаходяться в приміщенні, через 5 евакуаційних виходів, розташованих розподілені. Ширина колій у світлі не менше 1м, дверей не менше 0,8м. Висота проходів шляхах евакуації щонайменше 2м. Двері на шляхах евакуації відчиняються у напрямку виходу з будівлі. Відповідно – клас приміщень В-II. [1]

5.3.2 Засоби гасіння та виявлення пожеж [1]

Відповідно до пожежних норм проекту передбачено наявність таких засобів пожежогасіння: вогнегасники ОХВП-10, ОВП-11, ОП-1, ОП-2, пожежні крани, пожежні ковдри, ящик з піском (0,5м^3), ванна з водою, відра.

Для виклику пожежної команди у цеху є телефони та ручні кнопкові сповіщувачі ІРП (сповіщувач пожежний ручний).

Передбачено протипожежне водопостачання, кільцева мережа водоводу з діаметром труб зовнішнього водоводу не менше 100мм. У приміщенні на висоті 1.35 м від підлоги встановлено пожежні крани. Витрати води на гасіння пожежі не менше 20л/с. На заводі «Імпульс» є пожежна частина.

5.4 Захист від статичної електрики [1]

Захист від статичної електрики включає заземлення технологічного обладнання та комунікацій.

5.5 Шум та вібрації, заходи захисту від них обслуговуючого персоналу

Джерелами шуму та вібрації в проектованому цеху є: зубчасті, ланцюгові передачі та редуктори, вентилятори. Заходи боротьби з шумом включають: розміщення вентиляторів в окремих ізольованих приміщеннях; обмеження швидкості обтікання деталей повітрям до 0,3 м/с; приєднання повітроводів до вентиляторів через гнучку, з прогумованої тканини, вставку; установка вентиляторів на окремих фундаментах, віброізольованих від підлоги та інших конструкцій будівлі.

5.6 Спецодяг, спецвзуття. Індивідуальні захисні засоби

Для робочих цеху за списками професій та норм видається спецодяг та спецвзуття: бавовняні костюми або халати; тапочки, черевики, бавовняна білизна, берети або косинки, гумові рукавички. У цеху є аварійний запас спецодягу та спецвзуття в кількості 3-х комплектів, що зберігаються в спец. шафі.

5.7 Опалення

У виробництві застосовується водяне опалення з температурою поверхні нагрівальних приладів <100ºС, і навіть повітряне опалення, поєднане з припливної вентиляцією.

5.8 Електробезпека

З метою запобігання можливим випадкам ураження електричним струмом передбачені наступні заходи: повна ізоляція струмопровідних ліній;

застосування для місцевого освітлення низьковольтної напруги (12...36В); корпуси всіх електродвигунів, обладнання, комунікацій – заземлені; місця парогазовыделений обладнані пристроями, що відсмоктують, які приєднані до витяжних ліній.

5.9 Вентиляція

У вибухо-вогнебезпечних будинках вентиляція повинна здійснюватися за системою, що запобігає можливим передачі пожежі з одного приміщення в інше по повітроводах.

Повітря, що видаляється місцевими відсмоктувачами, із вмістом шкідливих вибухо- та вогнебезпечних речовин, перед викидом в атмосферу піддається очищенню до допустимого рівня забруднення проммайданчика, а також до ГДК у повітрі населених пунктів.

Витяжні вентилятори мають іскрозахищене виконання та укомплектовані вибухозахищеними двигунами.

5.10 Розрахунок захисного захисту від теплового опромінення

Цим розрахунком визначається товщина теплової ізоляції.

Вихідні дані:

Втрати тепла у навколишнє середовище $Q_п \approx 26 \cdot 10^3$ Вт.

Температура стінки барабана із зовнішнього боку $t_{ст} = 35$ ºС

Втрати тепла у навколишнє середовище визначається за формулою

$$Q_п = F_{бок}(T_{ст}-T_о)\alpha \quad ,Вт \tag{5.1}$$

де $F_{бок}$ – бічна поверхня барабана, м^2

$T_{ст}$ – температура стінки барабана із зовнішнього боку, К

$T_о$ – Температура навколишнього середовища, К

α – коефіцієнт тепловіддачі від стінки барабана у навколишнє середовище, Вт/м^{2}К

$$\alpha = \alpha_л \tag{5.2}$$

де $\alpha_л$ – коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, Вт/м^{2}К

$\alpha_л$ визначається за формулою

$$\alpha_л = \frac{\varepsilon C_0\left[\left(\frac{T_{ст}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_0}{100}\right)^4\right]}{T_{ст} - T_0} \tag{5.3}$$

де C_0 = 5,7 Вт/м^{2}К^4 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла

ε = 0,95 – ступінь чорноти для поверхні покритою олійною фарбою

Тоді

$$\alpha_л = \frac{0{,}95 \cdot 5{,}7\left[\left(\frac{308}{100}\right)^4 - \left(\frac{298}{100}\right)^4\right]}{308-298} = 5{,}95 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

Визначаємо необхідну товщину шару ізоляції. Як ізоляційний матеріал вибираємо шлакову ванну з коефіцієнтом теплопровідності. λ_2 = 0,076 Вт/м·К

Поверх ізоляції товщиною δ_2 є кожух із листового заліза (δ_2 = 1 мм) покритий олійною фарбою. Товщина стінки барабана 1 = 16 мм.

Можна прийняти T_1=T_2= 333 К і T_3=T_4= 308 К

Тут T_1 і T_2 – температура внутрішньої та зовнішньої сторін стінок барабана, К

T_3 і T_4 – температура стінок захисного кожуха, К

Розрахунок ведемо за формулами теплопровідності через циліндричну стінку.

Питомий тепловий потік визначається за формулою

$$q_l = \pi d_{нар} q_{нар} = \pi d_{нар} \alpha (T_4 - T_o) \qquad (5.4)$$

$$q_l = 3{,}14 \cdot 1 \cdot 5{,}95(308-298) \approx 187 \text{ Вт/м}$$

За спрощеною формулою

$$q_l = \frac{\lambda_2}{\delta_2} \pi d_{ср} (T_2 - T_3) = \frac{\lambda_2}{\delta_2} \pi (d + 2\delta_1 + \delta_2)(T_1 - T_3) \qquad (5.5)$$

Звідки визначаємо товщину ізоляції δ_2:

$$187 = \frac{0{,}076}{\delta_2} \cdot 3{,}14(1 + 2 \cdot 0{,}016 + \delta_2)(333 - 308)$$

Звідси δ_2 = 0,034 м.

Приймаємо δ_2 = 50 мм.

ВИСНОВКИ

У цій бакалаврській роботі проведено розрахунок сушарки «киплячого» шару для сушіння поліетилену у виробництві спеціального шнура.

Описано технологічну схему, теоретичні основи процесу, конструкцію апарату. Вибрано конструкційні матеріали.

Проведено технологічні розрахунки процесу та апарату. Визначено основні геометричні розміри апарату, що проектується. Визначено гідравлічний опір. Вибрано повітронагрівач.

Зроблено розрахунки апарату на міцність та герметичність. Визначено товщини стінки сушарки та кришки. Розраховано фланцеве з'єднання.

Розглянуто монтаж та ремонт розробленого апарату.

Розрахунки зроблено виходячи з діючих стандартів.

У додатку представлені складальні креслення апарату, вузла "живильник" зі специфікаціями, схема технологічна.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шнур детонирующий экструзионный. Технологический процесс. Шосткинский казенный завод «Импульс», Шостка 2000 г.
2. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. М. Химия 1983г.
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии.- Л.: Химия, 1970
4. Михалев М.Ф. , Третьяков Н.И., Зобнин В.В. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отдние, 1984. -301с.

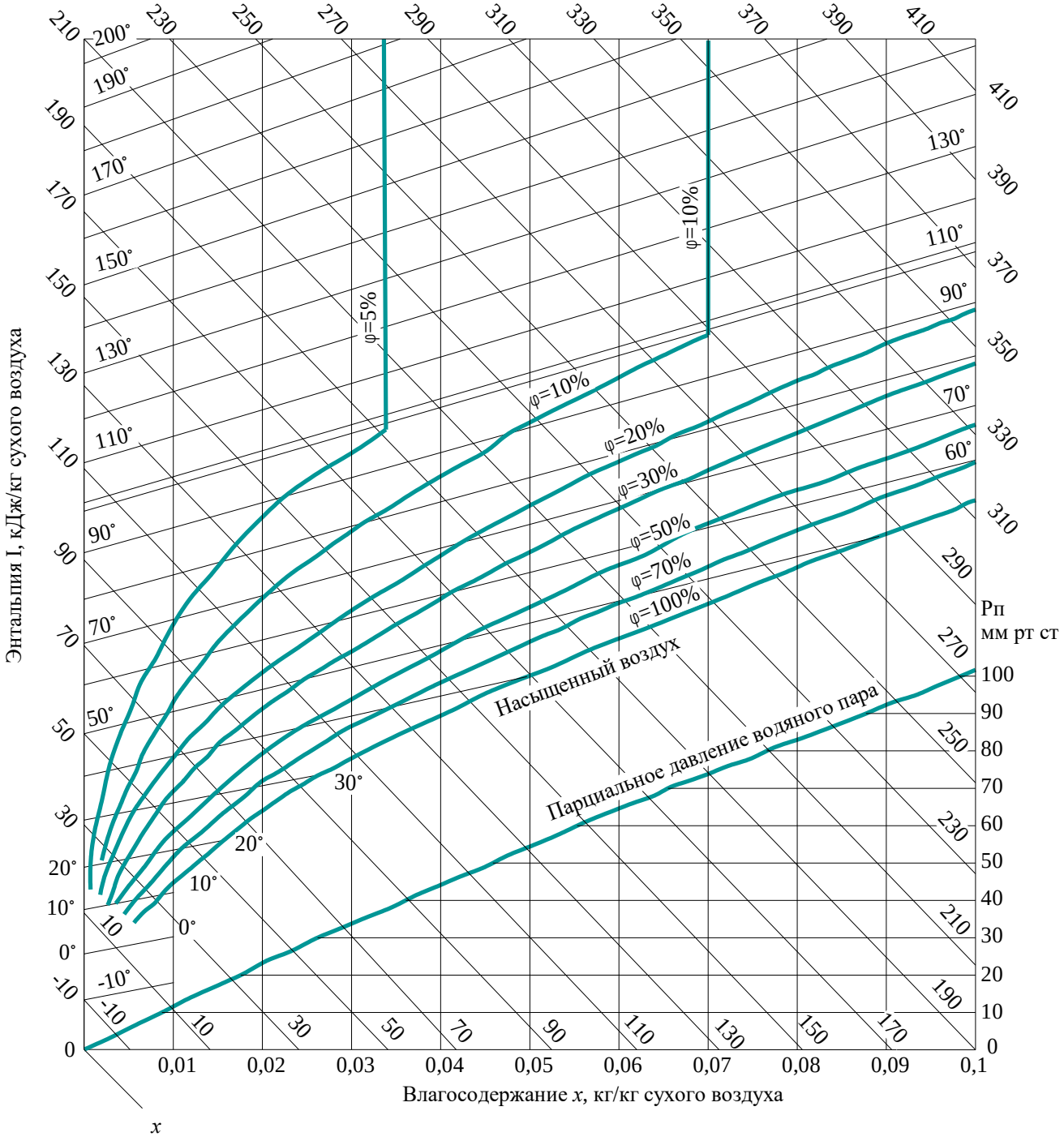

Рисунок 4 - Діаграма Рамзіна для вологого повітря