

Фіялка Олег Михайлович

Хильський Артур Романович

Розробка та дослідження автоматизованої системи керування баштовою розпилювальною сушаркою

Керівник: доц. Микитишин А.Г.

Development and study of an automatic control system of a tower-like spray drying unit



## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини роботи становить \_\_\_ слайдів.

Об'єм пояснювальної записки складає \_\_\_ друкованих сторінок формату А4 (210×297), об'єм додатків – \_\_\_ друкованих сторінок формату А4.

Робота складається з шести розділів, в яких нараховується \_\_\_ рисунків та \_\_\_ таблиць з даними.

В роботі використано \_\_\_ літературних джерел.

В роботі було розроблено автоматизовану систему керування баштовою розпилювальною сушаркою в процесі сушіння з використанням програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК-73 з використанням ПД регуляторів.

Було оглянуто конструкції, переваги та недоліки сушильних розпилювальних апаратів баштового типу. Приведено основні рівняння та залежності для розрахунку визначальних параметрів сушарок, які впливають на продуктивність системи.

Ключові слова: ПАРА, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, КОНТРОЛЕР, ТЕМПЕРАТУРА, ВОЛОГІСТЬ.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП .....</b>	<b>5</b>
<b>1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Огляд роботи баштових розпилювальних сушарок.....</b>	<b>7</b>
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1. Методи розрахунку робочих камер сушильних установок .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2. Існуючі уявлення про гідромеханічних процесах в сушильних камерах розпилювальних сушарок.....</b>	<b>26</b>
<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1. Аналіз схеми автоматизації процесу сушіння в баштовій розпилювальній сушарці. .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1. Вибір аналіз існуючих рішень і вибір функціональної схеми сушіння.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2. Розробка функціональної схеми автоматизації.....</b>	<b>38</b>
<b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1. Аналіз аеродинамічних характеристик сушильної камери і розробка методу їх розрахунку.....</b>	<b>40</b>
<b>5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>53</b>
<b>5.1. Розрахунок стійкості автоматизованої системи.....</b>	<b>53</b>
<b>6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>55</b>
<b>6.1 Організація охорони праці при роботі з системою управління .....</b>	<b>55</b>
<b>6.2 Електробезпека .....</b>	<b>57</b>
<b>6.3 Розрахунок заземлення .....</b>	<b>60</b>
<b>ОСНОВНІ ВИСНОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ .....</b>	<b>63</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЯ.....</b>	<b>64</b>

## ВСТУП

Видалення вологи з матеріалів (сушіння) є складовим елементом процесу виробництва великої кількості як нехарчових, так і харчових продуктів. Це визначає великий обсяг проведених робіт, спрямованих на створення і вдосконалення різних типів сушильних установок, призначених для вироблення різноманітних продуктів. Розвиток техніки і технології сушіння в молочній промисловості йде, в першу чергу, в напрямку досягнення високої якості вироблених продуктів. З цим пов'язане широке застосування для отримання сухого молока процесу розпилювального сушіння. З огляду на високу енергоємність цього процесу, завжди гостро стоять питання його оптимізації. Розрахунки розпилювальних сушарок, що застосовуються в даний час, базуються на узагальнених емпіричних даних, основу яких складають балансові рівняння, що не враховують ні локальну аеродинаміку, ні розподіл полів темпера тур і вмісту вологи, висушуваних матеріалів і сушильного агента. На вітчизняних підприємствах молочної галузі працює близько 270 розпилювальних сушильних установок різних типів і конструкцій. Майже всі вони, за рідкісним винятком, пущені в експлуатацію ще до 1990р. Більша частина цього обладнання відпрацювала свій ресурс і морально застаріла. З цим пов'язані завищені енерговитрати і втрати продукту, а також недостатньо висока його якість. В даний час стоїть питання або про модернізацію вказаних сушарок з метою забезпечення високої якості вироблюваних на них продуктів при відносно низьких енерговитратах, або про їх заміну на нове високоефективне обладнання. Зниження енерговитрат на сушку тільки на 10% дозволяє отримати економію теплової енергії близько 350 ГДж на рік. Складовою частиною заходів з реконструкції зазначених установок є поліпшення аеродинамічних умов процесу за рахунок зміни геометрії і конструкції сушильних камер

(установка конусного днища з флюїдним дном, зміна конфігурації стельової частини і повітряного розподільника, зміна місця розташування вихідного патрубку відпрацьованого теплоносія), для чого потрібно науково обґрунтований інженерний метод розрахунку геометричних параметрів сушильних камер. Метод вкрай необхідний і при розробці конструкції нових сушильних установок. Застосування таких методів в поєднанні з автоматичним регулюваннями дозволило б знизити металоємність, габарити, а відповідно і вартість обладнання.

# 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Огляд роботи баштових розпилювальних сушарок

Сушка є чи не найпоширенішим процесом видалення вологи з продуктів. При цьому об'єктами сушки можуть бути різноманітні матеріали на різних стадіях їх переробки. Конструкції сушарок можна класифікувати наступним чином.

За способом підведення тепла: конвективні, контактні, високочастотні (мікрохвильові), радіаційні (інфрачервоні), сублімаційні.

Залежно від тиску сушильного агента в робочому просторі: атмосферні і вакуумні сушарки.

За характером роботи: сушарки періодичної і безперервної дії.

Залежно від застосовуваного теплоносія: сушарки, що використовують повітря і сушарки на топкових газах.

За рухом теплоносія щодо висушується: прямоточні, протиточні і сушарки змішаного потоку.

За способом нагріву теплоносія: сушарки з паровим, електричним і газовим нагріванням.

За конструктивними ознаками: барабанні, коридорні, трубчасті, шахтні, скребкові, розпилювальні, вальцьові, стрічкові і ін.

Для сушіння молочних продуктів найбільшого поширення набули розпилювальні сушарки. Основними достоїнствами сушарок даного типу є: стабільність і простота здійснення процесів розпилювання і сушки, однорідність висушеного порошкоподібного продукту, мінімальний термічний вплив на продукт завдяки гарному розподілу розпорошених частинок продукту в обсязі теплоносія, висока розчинність готового продукту і збереження в ньому цінних складових, в тому числі термочутливих, можливість повного відділення висушених частинок від

відпрацьованого теплоносія. До недоліків розпилювальних сушарок можна віднести їх великі габарити і металоємність, а також недостатньо високий ККД.

Розпилювальні сушильні установки можна класифікувати по наступним основним ознакам.

За способом розпилення: дискові і форсункові.

По розташуванню сушильної камери: вертикальні і горизонтальні.

За способом видалення висушеного продукту з сушильної камери: установки зі скребковим механізмом, з пневматичним прибиральником, установки з стрічковими, шнековими або вібраційними транспортерами, а також з гравітаційним механізмом видалення продукту.

За способом очищення відпрацьованого в сушильній камері теплоносія: установки з циклонним очищенням, установки з фільтр-камерами і установки з пристроями мокрого пиловловлювання дрібних частинок продукту.

На рис. 1.1-1.4 наведені функціональні схеми розпилювальних сушильних установок відповідно до наведеної класифікації.

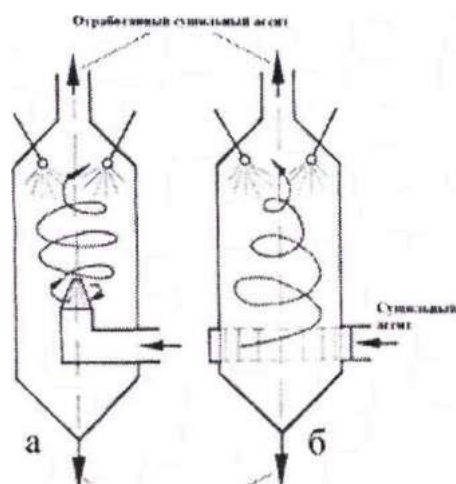


Рисунок 1.1 - Функціональні схеми сушильних форсункових установок з верхньою подачею продукту і нижнім введенням теплоносія (протиточна схема): а - центральний підвід теплоносія; б - периферійний підведення теплоносія.



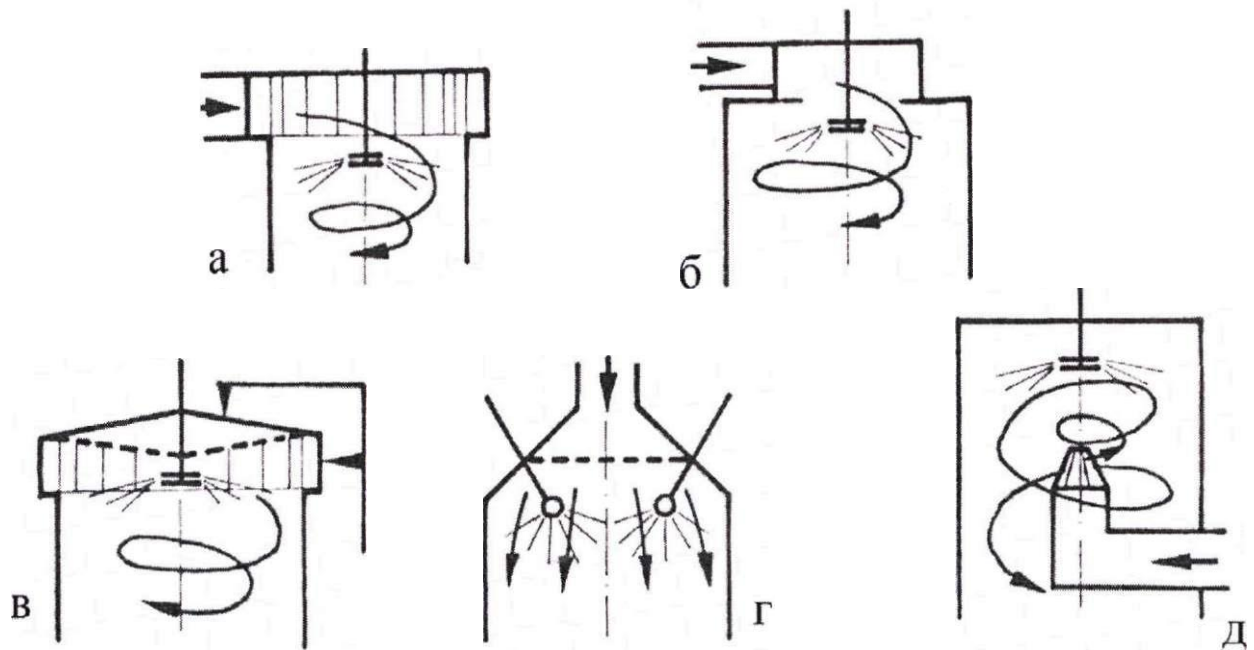


Рисунок 1.2 - Функціональні схеми сушильних дискових і форсункових установок з верхньої подачею продукту: а-дисковий розпилювач, верхній периферійний введення теплоносія; б - дисковий розпилювач, верхній центральний введення теплоносія; в - дисковий розпилювач, комбіноване введення теплоносія; г - форсунковий розпилювач, введення теплоносія через стельовий повітророзподільник (а, б, в і г - прямоточна схема); д - дисковий розпилювач, нижнє центральне введення теплоносія (змішана схема).

На думку Kessler A. [5] для наведених схем характерно рівномірне поле швидкостей по всьому поперечному перерізі камери, що особливо актуально для протиточної сушки. З іншого боку, подібна організація процесу забезпечує достатній час перебування частинок в контакті з гарячим теплоносієм для повного їх висушування. Таким чином, однією з умов отримання продуктів високої якості є правильна організація потоків теплоносія і продукту в робочих камерах сушильних установок.

Виходячи з тих же позицій, для сушарок з форсунковими розпилювачами Masters K. розглядає схеми сушильних камер, наведені на рис. 1.3 [6].

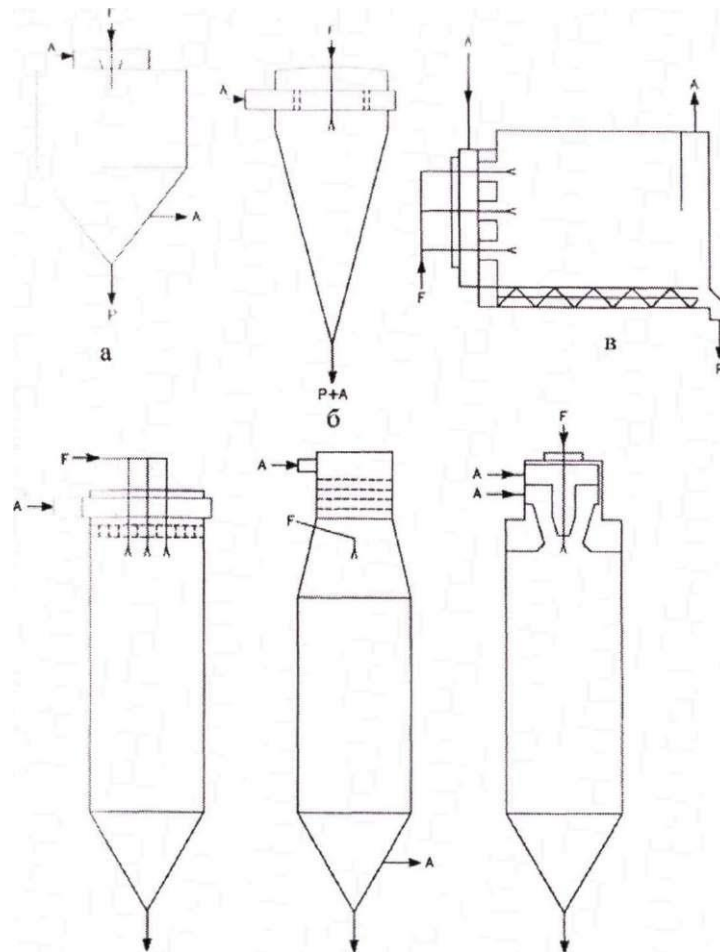


Рисунок 1.3 - Схеми сушильних камер прямоочних форсункових установок з верхньою подачею продукту і теплоносія: а - верхнє центральне введення теплоносія; б - верхнє тангенціальне введення теплоносія; в - горизонтальна сушильна камера; г, д - введення теплоносія через стельовий повітророзподільник; е - верхнє секційне центральне введення теплоносія; А - вхід і вихід теплоносія; Б - вхід продукту; Р - вихід продукту.

Схема на рис. 1.3, а передбачає можливість використання як форсункового, так і дискового розпилювача. Конструкція на рис.1.3, б має тангенціальний вхід теплоносія, що забезпечує високу швидкість потоку близько стінок сушильної камери і порівняно короткий час сушіння.

Горизонтальна сушарка (рис. 1.3, в) відрізняється наявністю індивідуального повітророзподільвача для кожної форсунки. Це дозволяє вибрати оптимальні режими їх роботи. Повітророзподільники, наведені на рис. 1.3, г і 1.3, д забезпечують плоско-паралельний потік теплоносія за допомогою перфорованих пластин або напрямних лопаток. У сушарці на рис.1.3, е застосований секційний повітророзподіл, що дозволяє організувати в сушильній камері два потоки теплоносія з різними температурами. Така конструкція призначена для сушіння деяких термочутливих продуктів з характерною морфологією поверхні частинок.

Наведені на рис.1.1-1.3 схеми далеко не вичерпують варіанти організації потоків повітря і продукту в робочих камерах розпилювальних сушарок. Деякі інші варіанти дискових сушарок показані на рис. 1.4, а форсуночних - на рис. 1.5.

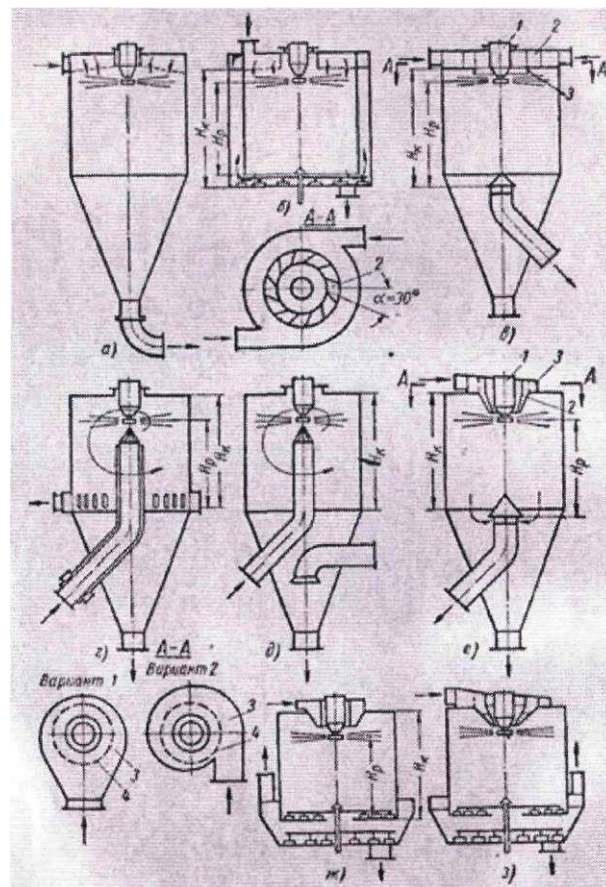


Рисунок 1.4 - Схеми сушильних камер з дисковим розпилюванням: а) і б) - верхній введення тепло-носія через стельовий перфорований

розподільник повітря; в) - те саме, що на схемах а) і б), але введення теплоносія через стельовий лопатковий апарат (перетин А-А): г) і д) - введення теплоносія під факел розпилювання, периферійний (г)) і центральний (д) ) висновок теплоносія; е) - введення теплоносія в корінь факела розпилювання (перетин А-А - різні варіанти виконання повітродозподільної спіралі); ж) і з) - те саме, що і е) з вивантаженням продукту за допомогою скребкового механізму.

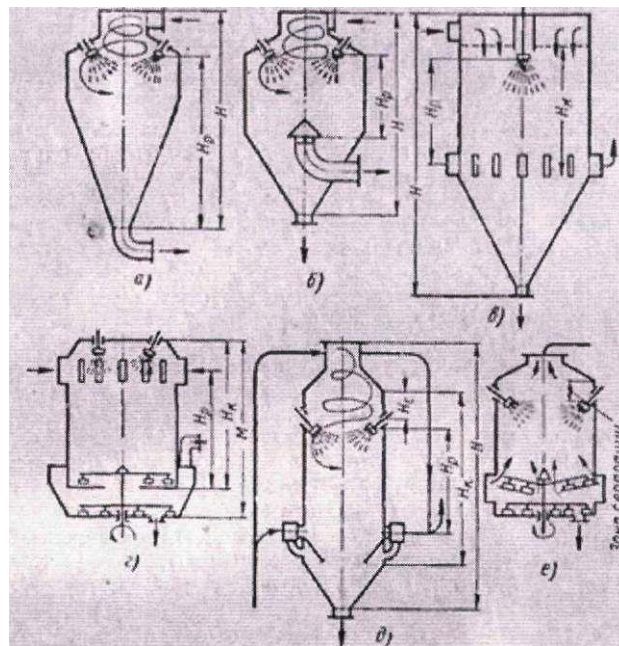


Рисунок 1.5. - Схеми сушильних камер з форсунковим розпилюванням: а) і б) - верхній введення теплоносія через стельову спіраль; в) - верхній введення теплоносія через стельовий перфорований розподільник повітря, периферійний висновок відпрацьованого теплоносія в нижній частині сушильної камери; г) - периферійний радіальний введення теплоносія; д) - Секціонування висновок теплоносія; е) - нижній введення і верхній висновок, теплоносія (Змішана схема).

Ряд авторів пропонує використовувати частину обсягу сушильної камери для розміщення допоміжних пристроїв. Так на рис.1.6 приведена конструкція сушильної камери, запропонована Левераш В. І., Обуховим А.

В., Хомякова А. П. та ін., з вбудованим пристроєм, який забезпечує попереднє очищення теплоносія перед виведенням його з камери.

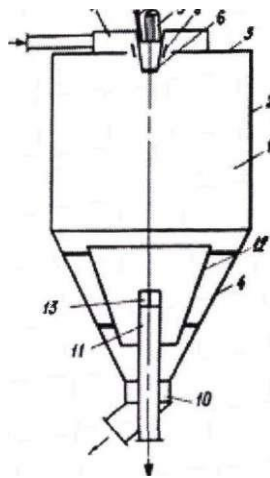


Рисунок 1.6 - Розпилювальна сушарка: 1 - сушильна камера; 2 - корпус; 3 - кришка; 4 - днище; 5 - розпилювач; 6 - диск; 7 - повітророзподільний пристрій; 8 - лопатки; 9 - патрубок; 10 розвантажувальний патрубок; 11 труба; 12 - обичайка; 13 - направляючі лопатки.

З іншого боку, подібні технічні рішення несприятливо сказуються на аеродинамічній обстановці в сушильній камері. Крім того, будь-який пристрій, що знаходиться всередині сушильного обсягу, створює сприятливі умови для утворення на його поверхні шару налиплого частинок. Це в рівній мірі відноситься і до різних повітропроводах, що знаходяться всередині сушильної камери.

В даний час, для сушки ряду продуктів, все більше розповсюдження набувають комбіновані сушарки, що поєднують в одній камері проведення декількох процесів: сушіння розпиленням і в киплячому шарі; сушки та термообробки (наприклад дегратації), сушки і гранулювання і т.д.

На рис. 1.7 приведена, запропонована Личаним М.В. і Леончиков Б.І., принципова схема прямої розпилювальної сушарки з розташованим в нижній частині сушильної камери пристроєм для досушування продукту в

киплячому шарі. При використанні в зоні розпилювального сушіння високотемпературного, а в зоні сушки в киплячому шарі низькотемпературного теплоносія сушарки подібного типу дозволяють виробляти зневоднення термочутливих матеріалів.

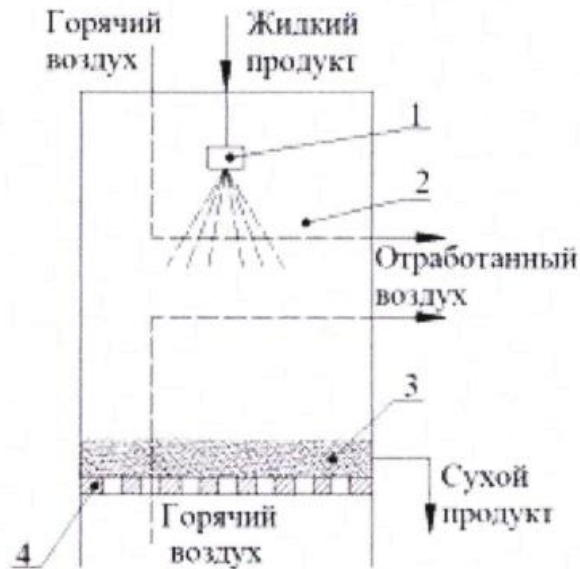


Рисунок 1.7 - Принципова схема сушильної камери з вбудованим киплячим шаром: 1 - розпилюючий пристрій; 2 - сушильна камера; 3 - киплячий шар; 4 – повітре розподільча решітка.

По суті, дана сушарка стала прототипом всіх сучасних установок для сушіння молочних продуктів, оснащених так званим «флюїдним дном», на якому здійснюється досушка продукту. Таке технічне рішення дає економію енергії на сушку до 20% і дозволяє виробляти сухі молочні продукти найвищої якості.

З метою зменшення габаритів сушильної камери була запропонована розпилювальна сушарка, схема якої приведена на рис. 1.8.

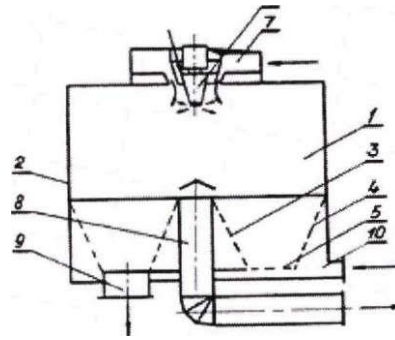


Рисунок 1.8 - Розпилювальна сушарка по патенту №1173868: 1 - сушильна камера; 2 - корпус; 3,4 - перфоровані конуси; 5 - горизонтальний лист; 6 - відцентровий розпилювач; 7 - повітророзподільний пристрій; 8 - відвідний патрубок; 9 - виїд; 10 - короб.

Особливістю сушарки є наявність внутрішнього 3 і зовнішнього 4 перфорованих конусів, а також горизонтального перфорованого листа 5. Під конуси подається теплоносій через короб 10. Перфоровані листи конусів скомпоновані так, що отвори в конусах спрямовані в протилежні боки, а в просторі між конусами утворюють інтенсивні коловидні завихрення. Така турбулізація теплоносія дозволяє, на думку авторів, значно інтенсифікувати процес сушіння. Більш того, теплоносій, що виходить з отворів, утворює захисний шар, що виключає налипання продукту на конуси. Теплоносій, що виходить з отворів перфорованого плоского днища 5, не тільки інтенсифікує сушку і сприяє досушці матеріалу до кінцевої вологості, але і утворює потік, який транспортує частки над днищем висновку 9 для видалення з сушильної камери.

Тими ж авторами була запропонована сушильна установка, оснащена трьома дисковими розпилювачами, схема якої приведена на рис. 1.9.

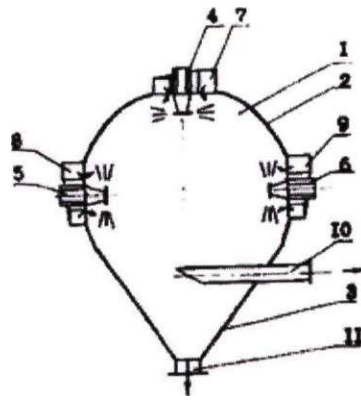


Рисунок 1.9 - Розпил'овальна сушарка по патенту № 1276022: 1 - сушильна камера; 2 - сферична верхня частина; 3 - нижня частина; 4 - відцентровий розпил'овач; 5,6- додаткові відцентрові розпил'овачі; 7, 8, 9 – повітре розподілювачі; 10 - пристрій для виведення обробленого теплоносія; 11 - пристрій для виведення готового продукту.

Дану розпил'овальну сушилку доцільно застосовувати при великій продуктивності (більше 2000 кг / год випаровуваної вологи). Конструктивні особливості сушарки дозволяють встановити майже рівноцінні за продуктивністю розпил'овачі і повітророзподільні пристрої не тільки у верхній частині сушильної камери, але і по периферії. Це, на думку авторів, призводить до рівномірного заповнення всього обсягу сушильної камери теплоносієм і продуктом, дозволяє зменшити габарити сушарки і збільшити вологонапруженість сушильної камери в 2-3 рази. Більш того, в такій сушильній камері змішування потоків теплоносія та частинок призводить, по-перше, до турбулізації потоків, що сприятливо позначається на інтенсивності сушіння, а по-друге, до укрупнення частинок, внаслідок чого поліпшується якість продукту. З огляду на складності виготовлення дана схема практично не була реалізована.

На думку більшості дослідників протиточні сушарки та сушарки змішаного потоку мають ряд переваг перед прямоточними. Це стосується, в першу чергу, їх менших габаритів, більш низького споживання енергії і



можливості виробляти продукти високої якості. Однак остання перевага зводиться нанівець необхідністю зниження при цьому вхідної температури теплоносія.

Велике значення для ефективної сушки та якості продукту надає спосіб подачі теплоносія на факел розпорошеного продукту.

В результаті аналізу роботи промислових сушильних установок різних типів з дисковим розпиленням, було встановлено, що для сушіння молочних продуктів найбільш економічні установки з зосередженої подачею гарячого теплоносія в корінь факела розпилу. Крім цього, подача нагрітого повітря на факел розпилення і паралельний рух з висушеним продуктом зменшує можливість осідання порошку на конструктивних елементах розпилювальної сушарки в зоні високих температур, що дозволяє збільшувати температурний потенціал сушки без зниження якості готового продукту.

Masters K. рекомендує два основні способи подачі теплоносія на факел розпилу прямоочних сушильних камер з відцентровим розпилювачем (рис. 1.10). У першому випадку теплоносій надходить безпосередньо над розпилювачем через розподільник повітря, оснащений фіксованим або регульованими лопатками (рис. 1.10, А). Лопатки повітряного розподільника поділяють потік теплоносія, закручуючи перший основний потік навколо розпилювача. Другий потік зосереджено подається до краю диска. За твердженням автора ця концепція дозволяє раціонально використовувати обсяг сушильної камери, хоча вимагає ретельного регулювання лопаток розподільника повітря потрібно для запобігання утворенню потужних вихорів в верхніх кутах сушильної камери. Крім того, така конструкція розподільника повітря дає можливість використовувати замість дискового форсуночний розпилювач.

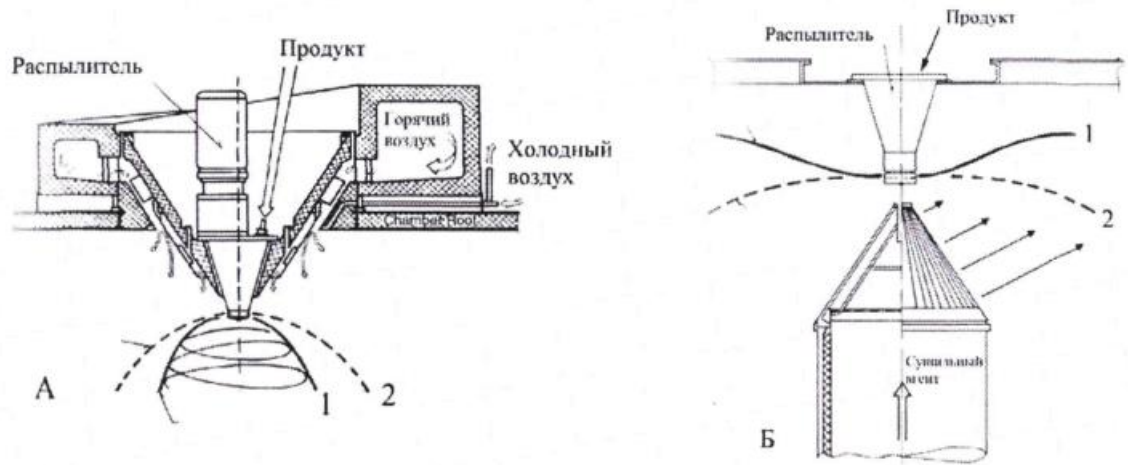


Рисунок 1.10 - Способи подачі теплоносія на факел розпилу прямоточних сушильних камер з відцентровим розпилювачем: А - зверху; Б - знизу.

Введення повітря під розпилювальний диск (рис. 1.10, Б) застосовується як правило при сушінні матеріалів, що допускають високі початкові температури теплоносія -  $750-850^{\circ}\text{C}$  і вище, що для молочних продуктів неприпустимо.

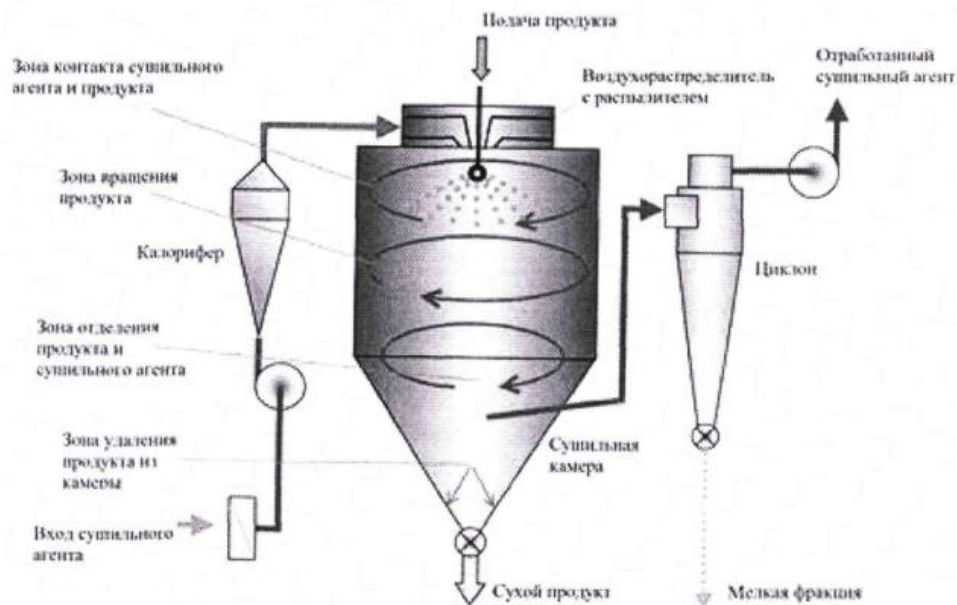


Рисунок 1.11 - Стандартна схема розпилювальної сушки молочних продуктів.

Стандартна сучасна схема процесу розпилювального сушіння в представленні Masters K. приведена на рис. 1.11. На схемі потік теплоносія в сушильній камері показаний як обертається. У той же час тим же автором приведені профілі потоків теплоносія в сушильній камері, представлені на рис. 1.12. Профілі спроектовані на площину осьового перерізу сушильної камери і приведені для двох видів сушарок: сушарки з дисковим розпилювачем і нижнім виходом відпрацьованого теплоносія і продукту (рис. 1.12, а) і форсуночним розпилювачем з верхнім виводом теплоносія і нижнім виходом продукту (рис. 1.12, б). Наведені на рис. 1.12 профілі швидкостей свідчать про наявність в розпилювальних сушарках цілком упорядкованих потоків теплоносія. Знання їх структури і закономірностей їх формування дозволить визначити раціональну конфігурацію сушильних камер.

Рисунок 1.12 Профілі струму теплоносія в сушильній камері: а - дисковий розпилювач, верхній центральний введення і нижній центральний вивід теплоносія і продукту; б - форсуночний розпилювач, «флюїдне дно», верхній центральний введення і верхній висновок теплоносія.

В цілому, значне розмаїття варіантів конструктивного виконання сушильних камер, повітророзподільних пристроїв і систем відведення відпрацює сушильного агента свідчить про наявність емпіричних підходів до їх вдосконалення та необхідності подальшого розвитку інженерних розрахунків розпилювальних сушарок.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Методи розрахунку робочих камер сушильних установок

Інтенсивність процесу сушіння залежить від великої кількості факторів, в тому числі від співвідношення температур і швидкостей теплоносія і частинок продукту, а також від розмірів цих частинок. Існує тісний взаємозв'язок між цими параметрами і якістю висушеного продукту. Причому, вплив параметрів процесу на якість, як правило, не є однозначним. Підвищення температури теплоносія, з одного боку, зменшує тривалість сушіння, а з іншого - з'являється небезпека перегріву окремих частинок. У тій же степені це відноситься і до розміру часток: чим менше розмір часток, тим менше час їх висушування, але, знову ж таки, зростає небезпека перегріву продукту. Крім того, продукт, що складається з дуже дрібних частинок, менше технологічний при його використанні: гірше розчиняється і більш схильний до псування при зберіганні.

Існують загальноприйняті співвідношення, що зв'язують час сушки, продуктивність сушильних камер, фізичні характеристики повітря і продукту. За визначенням, час сушки розраховують виходячи з наступного виразу:

$$z = \frac{W_n - W_k}{N} \quad (2.1)$$

де:

$z$  - час сушки;

$W_n$ , - початкова вологість матеріалу;

$W_k$  - кінцева вологість матеріалу;

$N$  - швидкість сушіння.

Швидкість сушіння матеріалу залежить, в поданні Лур'є М.Ю., від наступних основних факторів:

- природа матеріалу (структура речовини, його склад, зв'язок вологи з сухою речовиною, рух вологи по матеріалу і т. д.);
- форма матеріалу, розмір часток, товщини шару або нарізки і т. д., тобто співвідношення поверхні матеріалу, що висушується і його обсягу;
- початкова, кінцева і критична вологість матеріалу, що визначає області з постійною і падаючою швидкістю сушки;
- допустима температура матеріалу і швидкість руху вологи до поверхні;
- вологість зовнішнього повітря, температура і вологість надходить і вихідного з сушарки повітря;
- інтенсивність перемішування і співвідношення швидкостей сушильного повітря і матеріалу;
- призначення матеріалу і допустимі для нього дефекти сушіння (нерівномірність розподілу вологи, тріщини, викривлення і т. д.)

В даний час є великий теоретичний і практичний матеріал, присвячений вивченню перерахованих вище факторів в т. ч. застосовно до розпилювальної сушки молочних продуктів.

У реальному процесі швидкість сушіння з достатнім ступенем точності можна оцінювати за формулою Ликова [7]:

$$N = \frac{100\theta_v}{r_v \gamma_0} \quad (2.2)$$

$$\gamma_0 = \frac{\gamma}{1 - 0,01W} \quad (2.3)$$

де:

$\theta_v$  - швидкість випаровування вологи з вільної поверхні матеріалу;

$r_v$  - радіус частинок, м;

$\gamma_0$  - питома вага абсолютно сухого матеріалу, кг / м<sup>3</sup>;

$\gamma$  - питома вага матеріалу, кг / м<sup>3</sup>;

$W$  - вологість матеріалу, %.

З іншого боку, швидкість сушіння визначається такими основними показниками, що характеризують ефективність роботи розпилювальних сушильних установок, як напруженість сушильної камери і її продуктивність:

$$q_b = \frac{G_{\text{исп}}}{V_{\text{ск}}} \quad (2.3)$$

де:

$q_b$  - питомий напруга обсягу сушильної камери, кг / (м<sup>3</sup> · год);

$G_{\text{исп}}$  - продуктивність сушильної камери по испаренной вологи, кг / год;

$V_{\text{ск}}$  - обсяг сушильної камери, м<sup>3</sup>.

Продуктивність сушильної камери по випареній волозі з одного боку визначається балансовими рівняннями, а, з іншого, витратою теплоносія і продукту, їх температурами і іншими фізичними властивостями. У якості узагальненого показника приймають, як правило, швидкість сушіння. Швидкість сушіння в початковій стадії дорівнює швидкості випаровування вологи з вільною поверхнею:

$$N = \zeta \cdot m \quad (2.4)$$

де:

$\zeta$  - коефіцієнт, що враховує волопередачу від поверхні матеріалу, що висушується (для

вільної поверхні води  $\gamma = 1,0$ );

$m$  - швидкість випаровування води з вільною поверхні.

В результаті проведеного аналізу літературних даних можна сформулювати наступні основні положення.

Для одного і того ж матеріалу і одних і тих же умов сушки швидкість сушіння в грубому наближенні пропорційна відношенню поверхні до об'єму.

Частинки розпорошеного молока в сушильній установці за дуже короткий час (близько секунди) проходять обидві ділянки з постійною і падаючою швидкістю випарювання.

Кінцева температура частинок висушених в сушильній камері частинок молочних продуктів обмежена величиною  $45^{\circ}\text{C}$ .

Температура надходить в сушильну камеру теплоносія обмежена необхідної вологістю кінцевого продукту. Чим вище ця температура, тим складніше забезпечувати необхідну величину масової частки вологи в кінцевому продукті. Для промислових прямоточних сушарок з верхнім підведенням продукту і теплоносія температура останнього повинна становити величину не вище  $170\text{-}175^{\circ}\text{C}$ . При більшій температурі необхідно додатково досушувати готовий продукт до стандартної вологості.

Співвідношення швидкостей частинок продукту і теплоносія має максимальну величину в області їх перетину, тобто корені факела розпилу, У всьому іншому обсязі сушильної камери це співвідношення не велике і мало впливає на процес сушіння.

Конструкція сушильної камери визначає статику і динаміку сушильного процесу з урахуванням всіх вище перерахованих факторів і повинна забезпечувати необхідний профіль швидкостей теплоносія, розподіл в ньому частинок продукту, розподіл температур по зонах і т. д.

При розрахунку розпилювальних сушарок вважаються заданими, як правило, такі показники: продуктивність апарату по готовому продукту; початкова і кінцева вологості матеріалу; температури повітря: зовнішнього, на вході в сушарку і виході з неї; початкова і кінцева температури матеріалу. До першої групи можна віднести, методи, засновані на використанні поняття

величини питомої вологонапруженості. Ці методи дозволяють наближено, але досить легко і швидко визначити обсяг сушильної камери розпилувальної сушарки і визначити співвідношення її геометричних розмірів. При конструюванні сушильних установок використовують, як правило, методи даної групи. Однак, їх застосування вимагає введення істотних коефіцієнтів запасу, що призводить до збільшення габаритів і металоємності конструкцій, а так само до значних витрат на доводку обладнання.

До другої групи, входять методи, засновані на об'ємних співвідношеннях тепло- і масообміну. При цьому вводяться поняття «об'ємних коефіцієнтів тепло- і масообміну». Методи цієї групи не знайшли широкого поширення з огляду на те, що вони більш трудомісткі в порівнянні з методами першої групи, а результати їх використання настільки ж приблизні.

Наступна, третя група охоплює методи, засновані на вирішенні рівнянь гідродинаміки і випаровування одиночної краплі і перенесення отриманих результатів на всю сукупність висушуваних частинок. При цьому вводиться велика кількість різних припущень, а аеродинамічна обстановка в сушильних камерах враховується досить умовно.

І, нарешті, до четвертої групи можна віднести методи, засновані на макрокінетичних уявленнях з урахуванням впливу ступеня перемішування на рушійну силу процесу.

Методи третьої і четвертої групи, найбільш досконалі, але і найбільш трудомісткі. Їх застосування передбачає вирішення громіздких систем диференціальних рівнянь. При цьому велике значення має обґрунтоване завдання граничних умов. Останнє викликає, часом, значні труднощі, неточність в їх визначенні може призвести до недостовірності остаточних результатів розрахунку.



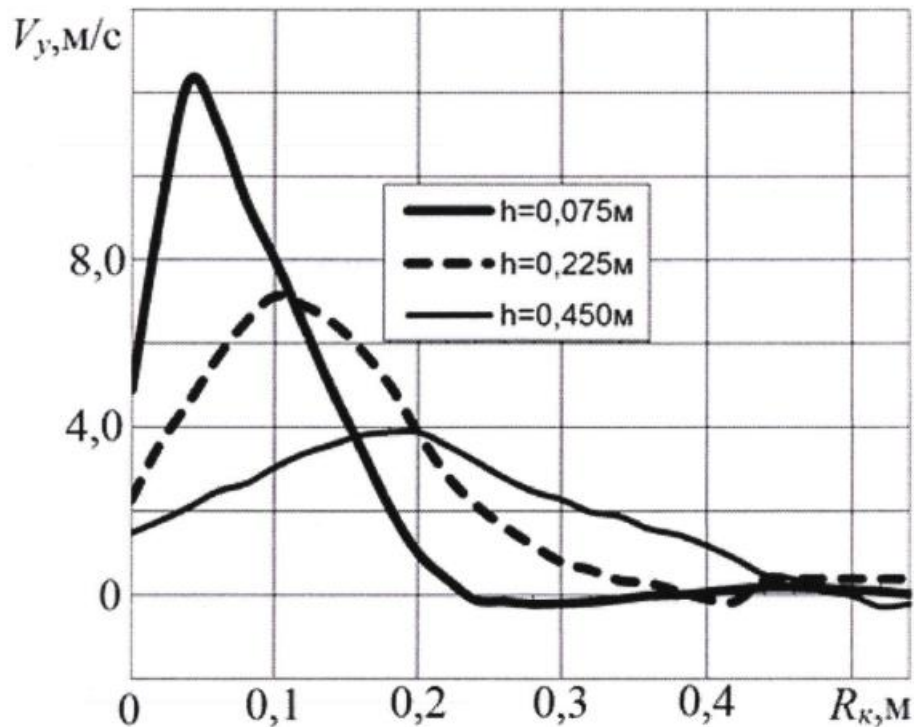


Рисунок 2.1 - Зміна вертикальної складової швидкості повітря в сушильній камері по радіусу:  $V_v$  - вертикальна складова швидкості повітря;  $R_k$  - радіус сушильної камери;  $h$  - видалення площини вимірювання від площини виходу теплоносія з розподільника повітря.

Наведені дані свідчать, що навіть за цих умов, в сушильній камері існують цілком впорядковані потоки теплоносія.

В цілому, всі описані вище методи пов'язані з наявністю цілого ряду припущень, вимагають експериментальної перевірки, особливо при внесенні в конструкцію сушильної установки будь-яких нових технічних рішень. На підставі вивчення реальної аеродинамічної картини в обсязі сушильної камери, особливостей механізму взаємодії диспергованих частинок і потоку теплоносія в різних її точках і фізико-хімічних властивостей ряду продуктів, що піддаються сушці, запропонував алгоритм розрахунку процесу тепло- і масообміну в прямоточною сушарці [8]. Автором даної роботи, зокрема, проведені дослідження по вивченню аеродинаміки теплоносія в сушильних

камерах і умов взаємодії теплоносія і диспергованих частинок. На рис. 2.2 наведені експериментальні криві зміни вертикальної складової швидкості повітря  $V_y$  по радіусу  $R_k$  вертикальної прямої сушильної камери з верхнім введенням і нижнім виходом теплоносія і продукту. Криві отримані для трьох відстаней  $h$  від площини входу теплоносія при роботі лабораторної сушильної установки продуктивністю 10 кг / год випареної вологи, що відрізняється малими розмірами сушильної камери, а отже досить стисненими умовами для повітряних потоків всередині неї.

Наведені дані свідчать, що навіть за цих умов, в сушильній камері існують цілком впорядковані потоки теплоносія, сформовані повітророзподільних пристроїв. В цілому, отримані дані корелювали з результатами досліджень, проведених ним на сушилках промислової продуктивності. Це підтверджує те, що знання закономірностей формування і поширення зазначених потоків повинні бути визначальними при створенні конструкцій сушильної камери.

## **2.2. Існуючі уявлення про гідромеханічних процесах в сушильних камерах розпилювальних сушарок**

Швидкість і ефективність процесу розпилювального сушіння багато в чому визначається, гідродинамічною структурою потоків в сушильній камері. На підставі наведених вище даних можна зробити висновок про наявність в сушильній камері прямої розпилювальної сушарки основного, сформованого повітророзподільником потоку теплоносія. При цьому біля стін камери спостерігається зворотний рух теплоносія від низу до верху, а на периферії верхньої частини існують застійні зони. Обсяг сушильної камери, яку він обіймає цими зонами, можна вважати паразитних, тому що в них надходить і циркулює вже відпрацьований теплоносій. Разом з

теплоносієм в верхню частину камери проникають захоплені їм найбільш дрібні частинки продукту, зіткнення яких з гарячим повітрям призводить до їх перегріву і зниження відновлювальних властивостей. Крім того, наявність інтенсивних завихрень у верхній частині камери сприяє викидам продукту на її стельову частину, що також є небажаним явищем.

На рис. 2.2 показані, наведені Masters K., два варіанти ймовірного налипання сухого продукту в сушильних камерах розглянутого типу. За варіантом 1 всі частинки розпорошеного продукту висушуються в основному низхідному потоці теплоносія. Шар налиплого частинок утворюється за рахунок надходження найбільше дрібних із них в застійні зони разом з відпрацьованим теплоносієм. За варіанту 2 частина недосушеними частинок, це, як правило, найбільш великих, за рахунок інерційних сил пронизують основний потік теплоносія і осідають на протилежній факелу розпилу стінці сушильної камери.

Таким чином, застійні зони, на периферії верхньої частини сушарки, практично не бере участі в процесі сушіння і є першопричиною зниження якості готового продукту. Більш того, показані ділянки з налиплим продуктом становлять потенційну небезпеку для його самозаймання. У зв'язку з цим, можна зробити висновок, що обсяг сушильних камер розглянутих сушарок використовується нераціонально.

Потік теплоносія з розпорошеними в ньому частинками висушуваного продукту в першому наближенні можна розглядати як рух в'язкої рідини, що описується системою диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса, яке в векторній формі зводяться до одного рівняння (всі використані в рівнянні показники відносяться до потоку теплоносія):

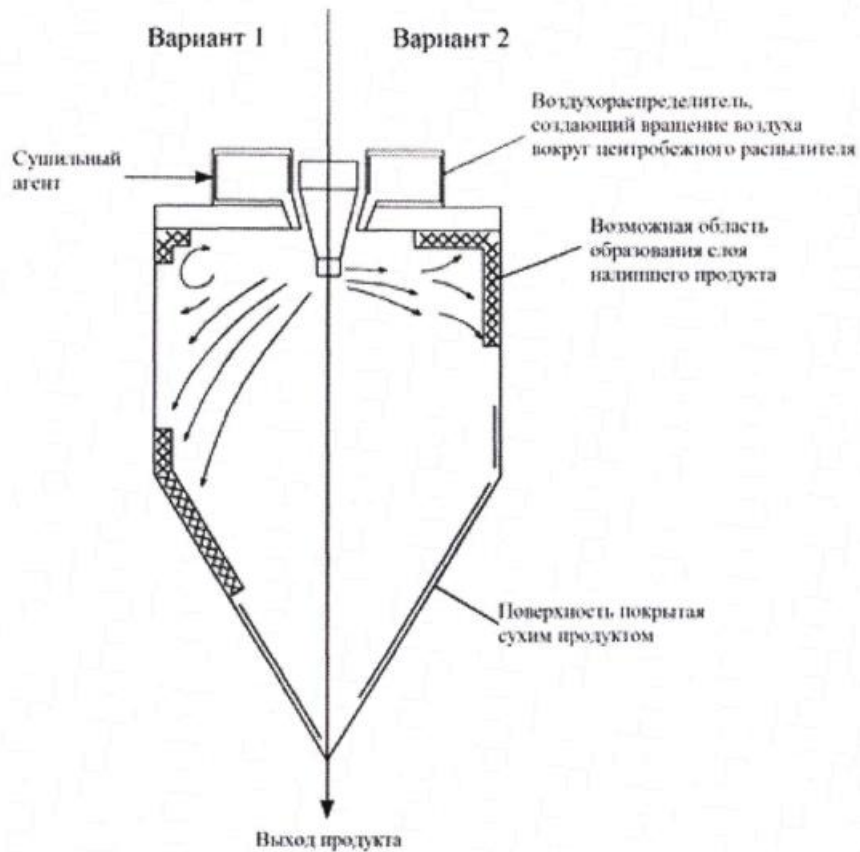


Рисунок 2.2 - Области ймовірного утворення шару налиплого частинок продукту на стінках сушильної камери: Варіант 1 - при повному «захопленні» частинок продукту потоком теплоносія; Варіант 2 - при «проскоці» найбільш великих часток крізь потік теплоносія.

$$\rho \frac{dW}{dt} = R - \text{grad } p + \mu \Delta W + \frac{1}{3} \mu \text{grad}(\text{div } W) \quad (2.5)$$

де:

$\rho$  - щільність, кг / м<sup>3</sup>;

$W$  - вектор швидкості;

$t$  - час, с;

$\vec{R}$  - вектор напруги об'ємної сили;

$\mu$  - коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с;

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \text{оператор Лапласа};$$

$\text{div } W$  - дивергенція вектора швидкості.

Точне рішення даного рівняння практично неможливо. Крім того, оскільки коефіцієнт теплопровідності і теплоємність теплоносія з розподілом в ньому частинками вологого продукту, в силу постійно протікаючого процесу пароутворення, істотно змінюються, приведення зазначеної системи рівнянь до простішого вигляду також не представляється можливим. Завдання ще більше ускладнюється, якщо врахувати неоднорідність нашої системи, тобто наявність дисперсної середовища у вигляді розпорошених крапель продукту. Кожна крапля взаємодіє з потоком теплоносія, що виражається у виникненні додаткових сил, пов'язаних з умовами її обтікання і з вологопереносом в поверхневій зоні. В силу переліченого, для вирішення поставленої задачі необхідно знайти дещо інші підходи.

Потік теплоносія в цій зоні формується кільцевим каналом і лопатками повітря розподільника, геометричні співвідношення якого визначають осьову, тангенціальну і радіальну складові швидкості. Цей потік «захоплює» більшу частину розпорошених частинок, і саме в ньому, очевидно відбувається основний процес сушіння. Тангенціальна складова швидкості сприяє формуванню закрученого потоку у верхній частині камери, а осьова - є причиною формування осьового потоку сушильного агента, спрямованого вниз до вихідного патрубку. Протягом вихідного з розподільника повітря теплоносія можна розглядати як потік нестисливої рідини, так як тиск в ній приблизно дорівнює тиску в сушильній камері. Оскільки швидкість витікання струменя принаймні на порядок вище швидкості середовища, куди ця струмінь витікає, то останній можна знехтувати, тобто прийняти, що в нашому випадку струмінь є затопленою. Для опису профілю швидкостей в

поперечному перерізі такий струменя використовують функцію  $f(\eta)$ , вперше теоретично отриману Шліхтінгом:

$$f(\eta) = (1 - \eta^{1.5})^2 = \frac{u}{u_m} \quad (2.6)$$

де:

$\eta = 2y/b$  - відстань від точки зі швидкістю  $u$  до осі струменя, виражене в частках від товщини

струменя;

$b$  - товщина струменя, м;

$u$  - швидкість струменя в поточному перетині її профілю (на відстані  $y$  від її осі), м / с;

$u_m$  - швидкість в центрі струменя, м / с.

Процес розпилювальної сушки передбачає проведення диспергування продукту за допомогою того чи іншого розпилювального пристрою. Спосіб і умови розпилення, а також конструктивні особливості розпилювачів визначають основні параметри руху частинок, їх розміри і повинні враховуватися при виборі конструкції сушильної камери і її габаритів. Теоретичного і Експериментальні вивчення процесів диспергування рідин розпилювачами присвячено багато робіт як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників.

Зазначені дослідження присвячені, в основному, питань вивчення полідисперсності і розподілу часток в факелі розпилу, а також параметрів руху частинок по довжині факела в умовах його продувки потоком теплоносія. Велике значення при цьому має тип і конструктивні особливості розпилювачів рідини, яка підлягає висушуванню.

У техніці сушки для розпилювання рідини застосовують в основному пневматичні або механічні форсунки і відцентрові диски.

Пневматичні форсунки працюють за принципом диспергування рідини високошвидкісним струменем пари або газу, що подається під тиском. За способу змішання розпилює газу і розпилюють матеріалу пневматичні форсунки діляться на два основні класи: форсунки зовнішнього і форсунки внутрішнього змішання. У розпилювальних сушарках застосовують зазвичай форсунки зовнішнього змішання внаслідок їх більш високої надійності. Варіанти пневматичних форсунок наведені на рис. 2.3

Пневматичні форсунки відрізняються високою продуктивністю, простотою регулювання форми факела і дисперсності розпилу, а також їх експлуатацію. Вони дозволяють розпилюють високо в'язкі пасту і суспензії.

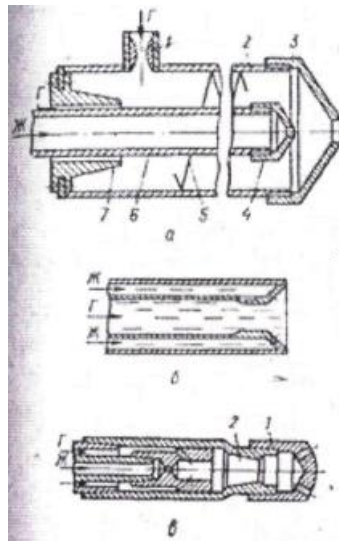


Рисунок 2.3. Варіанти пневматичних форсунок: а і б - форсунки зовнішнього змішання: 1 - патрубок входу газу; 2 - корпус; 3 - наконечник; 4 - вихідне сопло рідини; 5 – завихрювач ; 6 - трубка подачі рідини; 7 - тримач; б - форсунка внутрішнього змішання: 1 - розпилююча насадка; 2 - камера змішування; Ж - рідина; Г - газ.

Основними недоліками пневматичних форсунок є велика витрата енергії, значна полідисперсність розпилювання, труднощі отримання тонкодисперсного розпилу, особливо при великій продуктивності форсунки.

Форсунки даного типу, при певних режимах їх роботи, практично не руйнують структуру речовин, що входять до складу розпилюючої рідини. Тому вони застосовуються при сушінні таких продуктів, як, наприклад, молочно-картопляне пюре.

Розпилювання в механічних форсунках відбувається під тиском самої рідини. Розмір крапель при цьому методі розпилення, залежить від тиску рідини, діаметра форсунки і її характеристики, від властивостей матеріалу і т. п.. Форсунки можуть бути струминними і відцентровими. В останніх рідина перед виходом з сопла закручується, що сприяє турбулізації струменя і збільшенню ширини факела розпилу. Варіанти механічних форсунок, найбільшого поширення при виробництві сухих молочних продуктів, наведені Masters K. і показані на рис. 2.4.

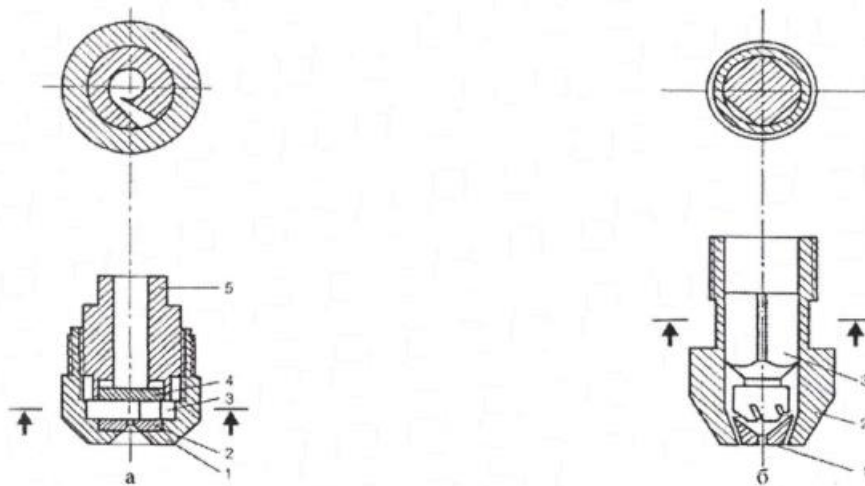


Рисунок 2.4 - Механічні відцентрові форсунки: а - з тангенціальним завихрителем: 1 - зовнішній корпус; 2 - сопло; 3 - тангенціальний завихритель; 4 - шайба; 5 - внутрішній корпус; б - з повнотілою щілинним завихрителем: 1 - сопло; 2 - корпус; 3 - завихрювач.



## **3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА**

### **3.1. Аналіз схеми автоматизації процесу сушіння в баштовій розпилювальній сушарці.**

#### **3.1. Вибір аналіз існуючих рішень і вибір функціональної схеми сушіння**

Для управління процесом сушіння і реєстрації робочих параметрів установка оснащується контрольно-вимірювальними приладами і засобами автоматики.

Система складається з встановлюваного за місцем обладнання і програмованого логічного контролера (ПЛК) з монітором, який поміщають в диспетчерській, почасти, щоб ПЛК знаходився в сухій атмосфері, але також і для того, щоб оператори працювали в приміщенні зі зниженим рівнем шуму.

Вимірювальні прилади сучасної розпилювальної сушарки, повинні контролювати всі істотні параметри процесу, включаючи температуру сушильного повітря на вході в основну камеру і в апарати псевдозрідженим шаром, а також температуру повітря на виході.

Усі температури реєструються принтером, так що оператор може стежити за розвитком процесу або встановити причину, по якій отриманий порошок виявився низької якості. Потрібно також лічильник годин роботи розпилювача або високонапірного насосу. Амперметр дозволяє контролювати навантаження, а за лічильником годин роботи можна визначити час зміни продукту. Якщо розпорошення виконується форсунками, необхідний манометр для контролю тиску сировини.

Для управління тиском в камері, яка зазвичай працює при розрідженні 5-10 мм водяного стовпа, потрібні перетворювачі частоти для регулювання

нагнітального і витяжного приводів. Ними, звичайно, можна керувати вручну, але в більшості випадків управління виконується автоматично.

Це дозволяє автоматично пускати і зупиняти установку.

Температуру на вході можна регулювати або тиском пари, або подачею палива. Температура на виході обов'язково повинна підтримуватися автоматично, щоб забезпечити постійну залишкову вологість порошку.

Якщо сировина розпорошується роторним розпилювачем, температура на виході регулюється зміною обертів живильного насоса.

Інша система, яка застосовується не часто і тільки з форсунковими розпилювачами, заключається в підтримці постійної температури повітря на виході при постійній швидкості подачі сировини в розпилювач за допомогою зміни температури повітря на вході.

Якщо розпорошення здійснюється форсунками, температура на виході може підтримуватися постійною шляхом зміни оборотів високонапірного насоса. Це, природно, призведе до зміни тиску в форсунках і, отже, гранулометричного складу порошку. Однак при правильному підборі форсунок ці зміни можуть бути незначними.

Але сушильна установка це не тільки розпилювальна форсунка. Це ще й випарний апарат. Оскільки вміст сухої речовини в вихідному молоці варіює, а після деякого періоду роботи труби забруднюються (в них утворюється мікроплівка відкладень, що змінює коефіцієнт  $K$ ), продуктивність випарного апарату і вихід концентрату не можуть залишатися постійними. Цьому, звичайно, можна протидіяти, вручну регулюючи роботу випарного апарату або розпилювальної сушарки, але даний процес можна автоматизувати. Найбільш поширене рішення полягає в усуненні живлять резервуарів, функції яких бере на себе останній корпус випарного апарату або спеціальна вакуумна камера. В нагрівальній камері останнього корпусу випарного апарату встановлюються датчики рівня.

Рівень в випарному апараті підтримується зміною витрати сировини або тиску гострої пари в термокомпресорі.

Розробка ПЛК привела в останні роки до створення систем управління, привабливих і за ціною, і за ефективністю регулювання. ПЛК має багато переваг і при застосуванні в традиційних, порівняно простих системах управління, що складаються з окремих регуляторів, кожен з яких підтримує задане значення певного параметра безвідносно до інших параметрів, що може сильно вплинути на підтримку заданих значень.

Це означає, що кваліфікація оператора менше позначається на роботі установки і, отже, якість продукції, що дозволяє точніше дотримуватися технічні умови.

ПЛК також є ідеальним засобом пуску і зупинки всієї установки. Це виключає непродуктивну трату часу. Крім того, ПЛК управляє роботою клапанів і насосів в циклах безрозбірного миття установки.

ПЛК значно полегшує реєстрацію даних. Для будь-яких обраних параметрів можна розраховувати середні значення, будувати криві історії процесу (наприклад, з годинним інтервалом) і відображати їх на моніторі і на папері.

Коли виникає питання автоматизації процесів сушіння при використанні розпилювальних сушарок баштового типу завжди необхідними контролюючими параметрами є вологість продукту, яка власне відображає його якість, та продуктивність самого апарату, яка впливає на економічний ефект. Саме продуктивність визначається власне регулюванням температури нагрітого повітря, яке поступає з калорифера. Для забезпечення ефективного регулювання контрольованими мають бути 2 параметри: вологість висушених часток на виході апарату та температури нагрітого повітря на виході калорифера.

Якщо розглядати власне баштову сушарку як об'єкт керування то можна виокремити три головні вхідні параметри – температура, вміст вологи та вологість власне самого згущеного молока. При цьому, якщо змінюються параметри теплоносія то це є збурення системи. Сигнали, які необхідно регулювати – це витрата згущеної молочної сировини, пари та теплоносія (тобто повітря). Внаслідок того, що установка має особливі конструктивні параметри та є небезпека самозаймання, регулювання вхідних параметрів обмежене, не дивлячись на найвищі коефіцієнти передачі по каналх температури і витрати пари.

Внаслідок цього основним керуючим впливом було обрано витрату згущеної молочної сировини.

В даному випадку можливо реалізувати два типи систем керування баштовими розпилювальними сушарками: за рахунок непрямих параметрів - відношення вологості готового продукту від температури гарячого повітря, яке виходить з вежі або з допомогою прямого параметру – вологість вихідного сухого продукту.

Ефективних засобів контролю вологості сухих продуктів на даний момент не існують, тому в систему управління будемо контролювати непрямий параметр, власне температуру вихідного повітря.

Необхідну точність можна досягнути, якщо представити систему у вигляді ланки чистого запізнення та ланкою першого порядку аперіодичного типу.

Схему автоматизації процесу приведено на рис. 3.1.

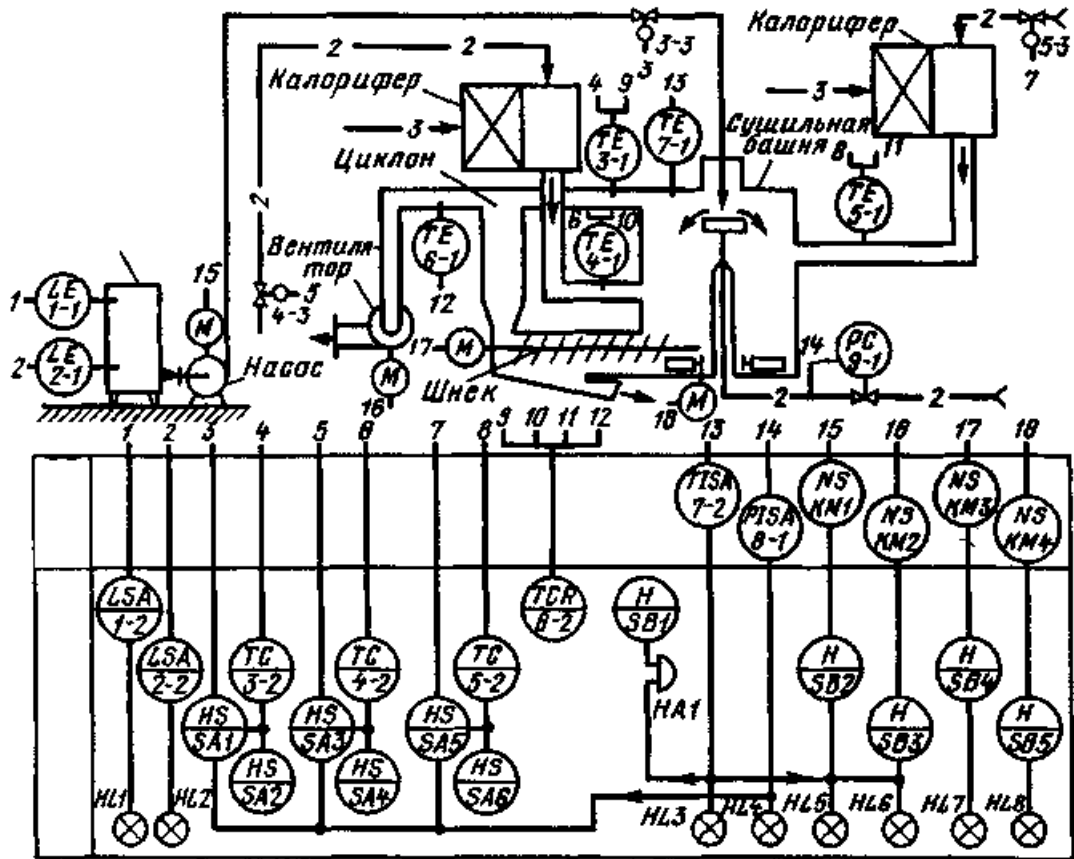


Рисунок 3.1 – Схема автоматизації процесу сушіння згущеної молочної сировини.

Загущена молочна сировина поступає в приймальну ємність, де контролюється рівнемірами із сигналізацією граничних положень (1-1, 1-2, HL1, 2-1, 2-2, HL2). Привідний насос транспортує молоко на диск розпилувальної сушарки і витрата регулюється на основі аналізу температури вихідного повітря. Цей параметр аналізується термометром опору 3-1, керується пристроєм регулювання 3-2, виконавчий механізм з використанням електродвигуна 3-3 і двома ключами SA4 і SA3.

Гаряче повітря, яке транспортується в сушарку, нагрівається з допомогою калориферів парового типу, регулюється витратою пари і забезпечується виконавчими механізмами (4-1, 4-2, 4-3 і 5 1, 5-2, 5-3). На різних елементах значення температури підлягає контролю за допомогою пристроїв 3-1, 4-1, 5-1, 6-1 та мостового регулятора 6-2.

### 3.2. Розробка функціональної схеми автоматизації

На основі аналізу вхідних даних було розроблено функціональну схему автоматизації, яка приведена на рис. 3.2

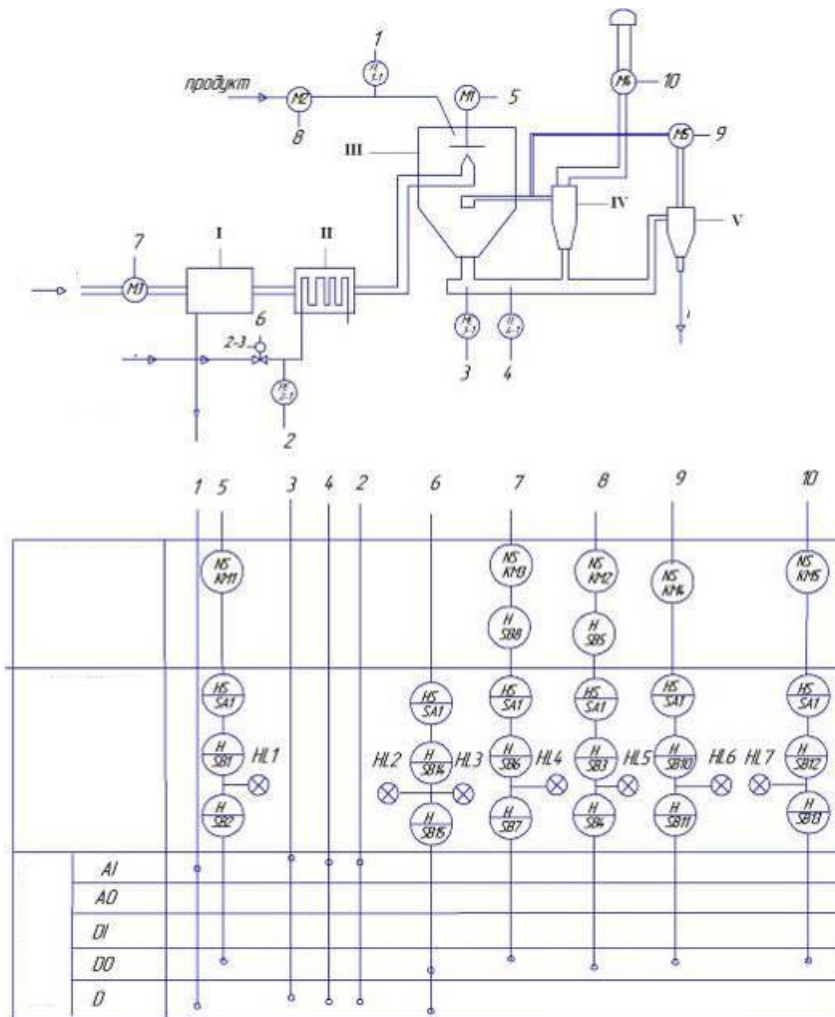


Рисунок 3.2 – Функціональна схема автоматизації: I - осушувач повітря, II - калорифер, III - камера сушки, IV - великий циклон, V - малий циклон.

Таблиця 3.1

## Вибір обладнання для автоматизації

Позиція	Найменування	Тип/марка	Кількість
TE	Давач температури	Давач вологості і температури серія VC, VR-	1
ME	Давач вологості	CVC 3/5 Galltec+Mela	1
PE	Давач тиску	Сапфір-22 ООО СКБ	1
FE	Витратомір	ЭМИС-ВИХРЬ-200	1
KM	Магнітний пускач	ПМ12 ОАО	5
SA	Перемикач режимів	ПК-16	1
SB	Кнопка керування	ABLF-22230B	15
NL	Світлодіоди	C503B-GAS (5мм)	7
2 – 3	Виконавчий механізм	GH100-1 -	1
Контролер	Контролер	ОВЕН ПЛК-73	1

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 4.1. Аналіз аеродинамічних характеристик сушильної камери і розробка методу їх розрахунку.

Для розпилювальної сушки, час взаємодії розпорошених частинок продукту і сушильного агента визначається в основному аеродинамічними характеристиками сушильної камери, тобто, в кінцевому підсумку, її геометричними параметрами і геометричними параметрами повітророзподільних пристроїв. При всьому своєму різноманітті сушильні камери розпилювальних сушарок характеризуються рядом загальних конструктивних ознак. У більшості випадків це циліндричні вертикальні вежі з верхнім або нижнім розташуванням розпилювальних пристроїв і подачею гарячого повітря в зону розпилення. Будемо розглядати найбільш поширений сучасний тип сушарок, що представляють собою циліндричну вертикальну сушильну камеру з верхнім розташуванням відцентрового розпилювача і розподілювача гарячого повітря, конусним днищем і відведенням відпрацьованого сушильного агента через центральний патрубок, отвір якого розташоване по осі сушарки трохи вище місця переходу циліндричної частини камери в конусну.

Як вказувалося вище потік сушильного агента з розпорошеними в ньому частинками висушуваного продукту в першому наближенні можна розглядати як рух в'язкої рідини, що описується диференціальними рівняннями Нав'є-Стокса, вирішення яких, як і супутніх їм рівнянь енергії, практично неможливо. Оскільки параметри даної системи, в силу наявності в ній постійно протікає процесу пароутворення, суттєво змінюються приведення даних рівнянь до простішого вигляду також не представляється можливим. Завдання приведення системи диференціальних рівнянь Нав'є-



Стокса до вигляду, зручного для проведення інженерних розрахунків, ще більш ускладнюється, якщо врахувати неоднорідність нашої системи, тобто наявність дисперсної середовища у вигляді розпоросених крапель продукту. Кожна крапля взаємодіє з потоком теплоносія, що виражається у виникненні додаткових сил, пов'язаних з умовами її обтікання і з вологопереносом в поверхневій зоні. В силу переліченого, для вирішення поставленого завдання по визначенню характеру руху повітряних потоків у вертикальній сушильній камері з центральною верхньою подачею теплоносія і продукту, пропонується інший підхід, заснований на відомих з газодинаміки властивості затоплених струменів.

При цьому важливо було виділити окремі зони, рух сушильного агента і частинок в яких можна характеризувати цілком певним чином. Дана розбивка, звичайно, умовна. У відповідність з існуючими представленнями, чітких меж між зонами не існує, а їх протяжність можна оцінювати лише приблизно. Виділяють, як правило, три зони, які характеризуються певним співвідношенням швидкостей частинок продукту і сушильного агента. На рис. 4.1 схематично представлено вказаний поділ.

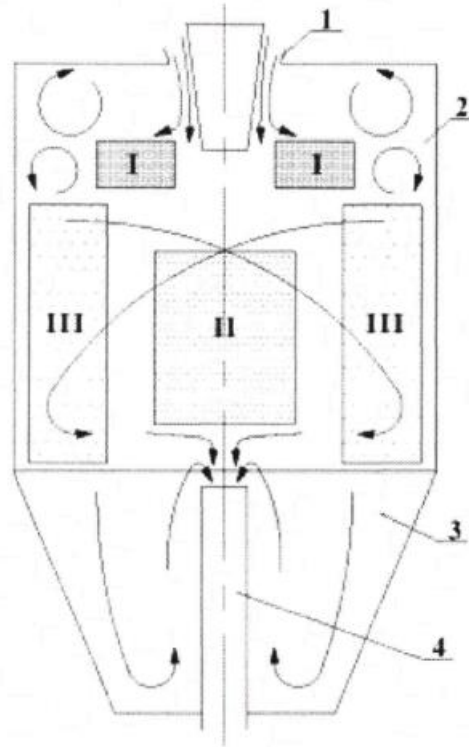


Рисунок 4.1 - Поділ на зони потоків теплоносія у вертикальній прямоточній сушильній камері: I - зона факела розпилю; II - центральна зона; III - периферійна зона; 1 - розподільник повітря; 2 - циліндрична частина сушильній камері; 3 - конусна частина сушильній камері; труба виведення відпрацьованого теплоносія.

Зона I - зона перетину факела розпилю продукту і вхідного гарячого повітря (теплоносія). У цій зоні: максимальні: температура теплоносія, ставлення швидкостей частинок продукту і теплоносія, вологість і щільність продукту; мінімальні: вологовміст теплоносія, температура продукту. Це зона інтенсивного тепломасообміну. Розташована вона в корені факела розпилю протягом товщини струменя виходить з розподільника повітря теплоносія в напрямку, який визначається співвідношенням швидкостей в цій струмені і частинок розпорошеного продукту.

Зона II - зона упорядкованого руху теплоносія і частинок продукту. Наявність цієї зони пов'язано з тим, що потік теплоносія надходить з повітря

розподільника по кільцю під різними кутами до площини поздовжнього і поперечного перетину сушильної камери. Зона відрізняється найбільш високою швидкістю потоку теплоносія, досить високою його температурою. У цій зоні знаходиться переважна кількість частинок продукту з факела розпилу, а, саме, ті з них, які не зуміли подолати за рахунок інерційних сил струмінй спадного теплоносія. Зона розташована нижче розпилювача по осі сушильної камери.

Зона III - зона спіралеподібного руху теплоносія і частинок продукту. Співвідношення швидкостей їх в цій зоні мізерно і інтенсивність масообмінних них процесів в ній низька. Однак, завдяки тому, що зона III займає суттєвий обсяг обсяг сушильної камери і протяжність потоків теплоносія в ній значна, саме в цій зоні відбувається видалення значної частини залишкової вологи з частинок продукту і їх можливий перегрів. Зона розташована по периферії циліндричної і конусної частин сушильної камери. рух потоку теплоносія в ній - по спіралі.

Крім згаданих зон в сушильній камері утворюється досить велика кількість областей з замкнутим потоком теплоносія і захоплених ним частинок продукту. Ці області є основним джерелом існування в продукті некондиційних частинок. Знаходяться вони в кутах сушильної камери, в верхній її області, а також поблизу патрубку виходу повітря. Зниження кількості цих областей і їх обсягу сприяє підвищенню якості готового продукту, покращує умови експлуатації обладнання.

Завданням даного дослідження був аналіз аеродинамічній обстановці в зоні II, аналіз взаємодії сушильного агента і частинок продукту в зоні I, оцінка протяжності і кордонів цих зон, а також швидкісних параметрів теплоносія і частинок в зонах і на їх межах.

Потік теплоносія в другій зоні формується кільцевим каналом і лопатку розподільника повітря, геометричні співвідношення якого визначають осьової і радіальні розміри цієї зони. Цей потік «захоплює» більшу частину

розпорошених частинок, і саме в ньому, очевидно відбувається основний процес сушіння. Тангенціальна складова швидкості потоку в зоні II сприяє формування третьої зони, а осьова складова є причиною формування осьового потоку теплоносія, спрямованого вниз до вихідного патрубку. Чим більше ця складова і чим ближче сходяться потоки повітря з діаметрально протилежних сторін кільця розподільника повітря, тим більше повітря марно покидає сушилку і тим більше винесення продукту. Течія теплоносія, спадного з розподільника повітря можна розглядати, як затоплену струмінь, тому що тиск в ньому приблизно дорівнює тиску в сушильній камері, швидкість потоку на виході з розподільника повітря як мінімум на порядок вище швидкостей повітря в іншому обсязі сушильної камери. Структура такої струменя і методи її розрахунку були приведені в попередньому розділі.

Повітророзподільники сушарок розглянутого типу представляють собою конусний кільцевий канал з встановленими в проточній частині похилими щодо поздовжнього перерізу напрямними лопатками. Кожен з кільцевих струмів течії такої струменя в проекції на вертикальну площину представляє собою однопорожнинний гіперболоїд обертання. Оскільки, для кожного конкретного випадку, відомі форма і розміри розподільника повітря, а також кути нахилу напрямних лопаток, можливо однозначно визначити всі геометричні параметри зазначеного вище гіперболоїда. На рис.4.2 приведена розрахункова схема осьового перерізу гіперболоїда, а на рис.4.3 - схема поперечного перетину гіперболоїда, що зв'язує його геометричні параметри з поперечними розмірами типовий сушильної камери.

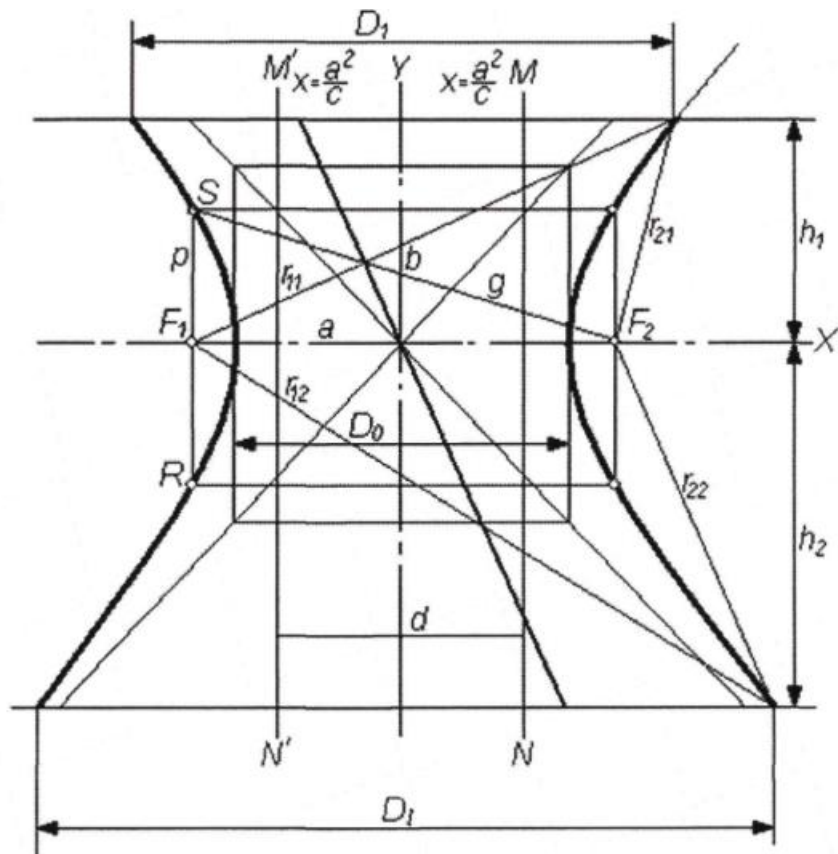


Рисунок 4.2 - Розрахункова схема поздовжнього перерізу гіперболоїда обертання:  $MN$  і  $M'N'$ - директрис гіперболи;  $RS = 2p$ - параметр гіперболи;  $F_1$  і  $F_2$  - фокуси гіперболи;  $D_0$  - дійсна вісь гіперболи;  $d$ - відстань між директрисами, видання, і  $g$  - параметричні розміри;  $h_1 + h_2$  - висота гіперболоїда;  $r_{11}, r_{12}, r_{21}$  и  $r_{22}$ - відстані від фокусів до протилежних точок перетину підстави і гіперболічної утворює;  $D_1$  і  $D_2$  - діаметри основ гіперболоїда;  $l_{\Gamma}$  - проекція лінійної утворює гіперболоїда на вертикальну площину.

Кільцевий струмінь в сушильній камері знаходиться в межах двох таких гіперболоїдов, віддалених один від одного на товщину струменя: в площині верхнього підстави - на ширину кільцевого виходу з розподільника повітря, в площини нижнього - на ширину струменя, розрахованої за відповідними формулами. Важливо, щоб дійсна вісь гіперболи внутрішнього гіперболоїда була на рівні верхньої межі факела розпилу, а нижня частина

цього гіперболоїда ділила навпіл площу горизонтального перерізу сушильної камери на рівні отворів вихідної труби. Остання умова необхідна для безперешкодного видалення відпрацьованого теплоносія з камери і для зменшення циркулюючого теплоносія у верху периферійної частини.

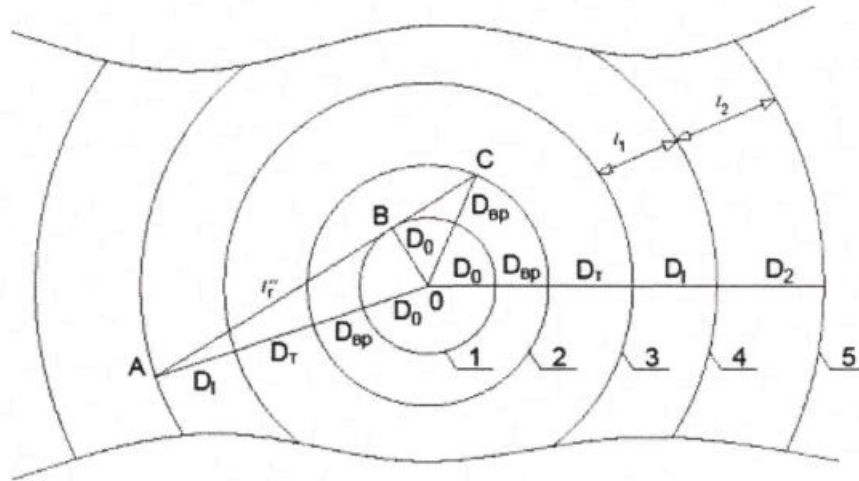


Рисунок 4.3 - Проекція основних геометричних розмірів гіперболоїда на горизонтальну площину стосовно розмірів сушильної камери.

Стосовно до існуючих конструкцій сушильних камер приведену систему рівнянь в роботі [9] можна істотно спростити.

Для цього приймемо наступні умови.

1. Всі частинки висушуємо продукту знаходяться в струмені виходить з повіт повітря. При цьому межі струменя в проекції на вертикальну площину є два гіперболоїди: внутрішній і зовнішній.

2. Вхідний перетин вихідної труби (труба видалення відпрацьованого повітря) знаходиться приблизно на рівні переходу циліндричної частини вежі в конусу. З огляду на раніше обумовлений умова рівності площ, на які повинна ділити це перетин внутрішня межа струменя, можна записати

$$D_{l,B}^2 - D_T^2 = D_2^2 - D_{l,B}^2$$

де:

$D_{iB}$  - діаметр нижньої основи внутрішнього гіперболоїда на рівні входу повітря в ви

Ходнев патрубок, м;

$D_T$  - зовнішній діаметр вихідного патрубку, м;

$D_2$  - діаметр циліндричної частини сушильної камери, м;

Звідки

$$D_{iB}^2 = 0,5 \cdot (D_2^2 + D_T^2)$$

$$D_{iB} = \sqrt{0,5 \cdot (D_2^2 + D_T^2)}$$

3. Діаметр дійсної осі внутрішнього гіперболоїда задаємо рівній 1,1 діаметра розпилювального диска:

$$D_{oB} = 2a_B = 1,1 \cdot D_\delta$$

де:

$D_{oB}$  - діаметр дійсної осі внутрішнього гіперболоїда, м;

$D_\delta$  - діаметр розпилювального диска, м.

Тоді діаметр дійсної осі зовнішнього гіперболоїду складе:

$$D_{oH} = 1,1 \cdot D_\delta + 2 \cdot s_{BP}$$

де:

$D_{oH}$  - діаметр дійсної осі зовнішнього гіперболоїда, м;

$D_\delta$  - діаметр розпилювального диска, м.

$s_{BP}$  - товщина струменя, що минає з розподільника повітря, м.

4. Верхні підстави внутрішнього і зовнішнього гіперболоїдів знаходяться на рівні відповідно внутрішньої і зовнішньої крайок розподільника повітря.

Дійсна вісь обох гіперболоїдів знаходиться на рівні середнього перетину факела розпилу, тобто середнього перетину каналів розпилувального диска, а їх нижня підстави на рівні вхідного перетину вихідного патрубка. В цьому випадку

$$\begin{aligned} H_B &= h_{1B} + h_{2B} \\ H_H &= h_{1H} + h_{2H} \end{aligned}$$

де:

$H_B, H_H$  - висота відповідно внутрішнього і зовнішнього гіперболоїдів, м;

$h_{1B}, h_{1H}$  - відстань від середнього перетину факела розпилу відповідно до внутрішньої і

зовнішньої крайок розподільника повітря, м;

$h_{2B} = h_{2H} = h_2$  - відстань від середнього перетину факела розпилу до площини вхідного перерізу вихідного патрубка, м.

5. Діаметр нижньої основи зовнішнього гіперболоїду з урахуванням розширення струменя і кута нахилу твірної гіперболоїду до горизонтальної площини складає

$$D_{IH} = \sqrt{0,5 \cdot (D_2^2 + D_T^2)} + 1,73 \cdot (s_{BP} + 2 \cdot c_{rc} \cdot l_{GB})$$

де:

$D_{IH}$  - діаметр нижньої основи зовнішнього гіперболоїда, м;

$D_2$  - діаметр циліндричної частини сушильної камери, м;

$D_T$  - зовнішній діаметр вихідного патрубка, м;

$s_{BP}$  - ширина струменя на виході з розподільника повітря, м;

$c_{rc}$  - коефіцієнт розширення струменя;



$l_{I\ B}$  - довжина лінійної утворює внутрішнього гіперболоїда, м.

Підставивши введені позначення і вираження в формули і провівши відповідні перетворення отримаємо:

для внутрішнього гіперболоїду

$$l_{I\ B}'' = 0,5 \cdot \left[ \sqrt{0,5 \cdot (D_2^2 + D_1^2) - 1,21 \cdot D_0^2} + \sqrt{D_1'^2 - 1,21 \cdot D_0^2} \right]$$

$$l_{I\ B} = \sqrt{l_{I\ B}''^2 + H_B^2}$$

$$\alpha = 0,75 \cdot \arccos \frac{H_B \cdot \sin \beta_1}{l_{I\ B}}$$

для зовнішнього гіперболоїду:

$$l_{I\ H}'' = 0,5 \cdot \left\{ \sqrt{\left[ 0,5 \cdot (D_2^2 + D_1^2) + 1,73 \cdot (s_{BP} + 2 \cdot c_{pc} \cdot l_{I\ B}) \right]^2 - (1,1 \cdot D_0 + 2 \cdot s_{BP})^2} + \sqrt{D_1^2 - (1,1 \cdot D_0 + 2 \cdot s_{BP})^2} \right\}$$

$$l_{I\ H} = \sqrt{l_{I\ H}''^2 + H_H^2}$$

$$\alpha = \arccos \frac{H_H \cdot \sin \beta_1}{l_{I\ H}}$$

де:

$l_{I\ B}''$  - довжина проекції лінійної утворює внутрішнього гіперболоїда на горизонтальну

площину, м;

$l_{I\ H}''$  - довжина проекції лінійної утворює зовнішнього гіперболоїда на горизонтальну площину ;

$D_2$  - діаметр циліндричної частини сушильної камери, м;

$D_1$  - зовнішній діаметр вихідного патрубку, м;

$D_0$  - діаметр розпилувального диска, м;

$D_1$  - діаметр зовнішньої обичайки розподільника повітря, м;

$D_1'$  - діаметр внутрішньої обичайки розподільника повітря, м;

$l_{I\ B}$  - довжина лінійної утворює внутрішнього гіперболоїда, м;

$l_{1H}$  - довжина лінійної утворює зовнішнього гіперболоїда, м;

$H_B$  - висота внутрішнього гіперболоїда, м;

$H_H$  - висота зовнішнього гіперболоїда, м;

$\alpha$  - кут нахилу лопаток розподільника повітря, °;

$\beta_1$  - кут при підставі конуса розподільника повітря, °;

$s_{BP}$  - ширина струменя на виході з розподільника повітря, м;

$c_{pc}$  - коефіцієнт розширення струменя;

З допомогою отриманих виразів було розглянуто конструктивне виконання сушильної камери прямоочною розпилювальної уста новки типу VRC-3 продуктивністю 500 кг випарювальної вологи в годину.

Проведені розрахунки дозволили побудувати проекцію основного струменя теплоносія в обсязі сушильної камери, схематично показану на рис. 4.4.

Середня величина довжини гіперболоїдів, утворених струменем теплоносія, розрахована за формулами дорівнює 5,8 м. Швидкість потоку в момент досягнення нею стінки сушильної камери, становить 3,8 м / с. Час проходження елементарного обсягу потоку струменя від моменту виділення з розподільника повітря до моменту торкання стінки сушильної камери становить близько 1с.

В основній зоні (зона I на рис.4.6) рух теплоносія відбувається по прямолінійній траєкторії. У ній здійснюється основний процес сушіння частинок продукту. Після зіткнення зі стінками камери потік теплоносія розділяється на дві частини. Найбільша його частина надходить в зону II, з якої здійснюється вихід теплоносія через витяжну трубу.

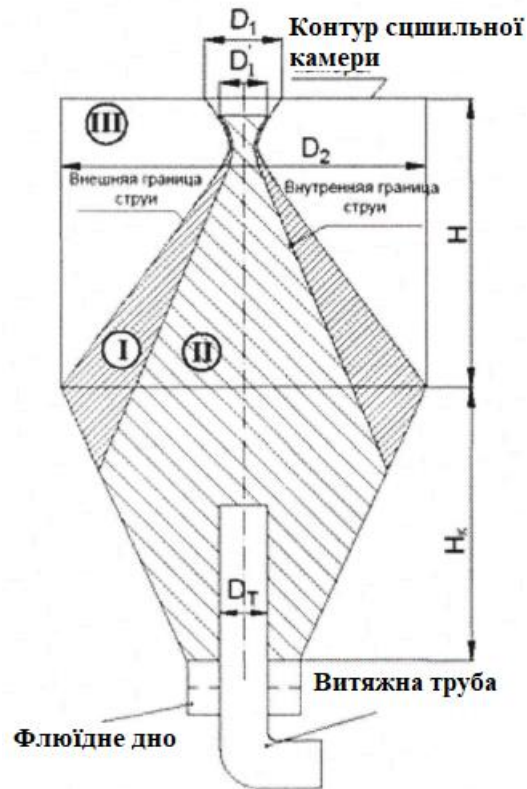


Рисунок 4.6 - Характер перебігу основного потоку сушильного агента в циліндричній сушильній камері з верхнім підведенням сушильного агента і розпиленого продукту: I - зона струменя теплоносія, що виходить із повітро розподільника (основна зона); II - зона відділення частинок сухого продукту від відпрацьованого теплоносія (зона вивантаження); III - зона непродуктивного руху відпрацьованого теплоносія (паразитна зона)

У цій зоні відбувається часткове поділ висушених частинок продукту і відпрацьованого теплоносія завдяки, по-перше, гравітаційним силам і, по-друге, циклонному ефекту, що виникає від закрутки потоку теплоносія після його зіткнення зі стінками сушильної камери. Закручування пояснюється наявністю тангенціальної складової швидкості основного потоку. Менша частина відпрацьованого теплоносія надходить в зону III, де також закручується уздовж стінок сушильної камери в горизонтальній площині. Одночасно, цей потік здійснює кільцевий рух у вертикальній площині: вгору,

по стінках камери, далі, по стелі, до її центру і, нарешті, вниз по зовнішній межі основного струменя. Дана зона є непродуктивною, тобто паразитною.

Знизити кількість що надходить в зону III теплоносія можна, по-перше, шляхом зменшення кута між напрямком потоку теплоносія в основній зоні і дотичній площині до поверхні камери, а, по-друге, шляхом зменшення обсягу цієї зони. З метою дотримання першого з цих умов, як видно зі схеми на рис. 4.6, необхідно забезпечити потрапляння основного струменя (зона II) на стінку циліндричної частини, для чого буде потрібно збільшення висоти останньої. Друга умова передбачає конусне виконання верхньої частини сушильної камери. Важливо, що за допомогою отриманих в ході дослідження рівнянь, можна зробити розрахунок зазначених змін. використовувати ці рівняння можна також при проведенні наладки і покращення діючих сушильних установок.

Однак, слід враховувати, що всі раніше отримані результати справедливі для взаємодії однорідних середовищ в ізотермічних умовах. Оскільки, в нашому випадку, струмінь що закінчується з розподільника повітря сушильної установки теплоносія взаємодіє з розпорошеними частинками висушуваного продукту, необхідно оцінити ступінь цієї взаємодії і зміну при цьому основних параметрів процесу.

## 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1. Розрахунок стійкості автоматизованої системи

Для нашої автоматизованої системи контур регулювання можна представити у вигляді



$$W(p)_{\text{общ}} = W_1 * W_2 = \frac{k_0 \times e^{-p\tau_0}}{1 + pT_0}$$

Тут  $\tau_0$  – наявне запізнення в об'єкті керування,  $T_0$  - стала часу,  $K_0$  – передаточний коефіцієнт.

По наших параметрах температура має становити 160 °С.  
Перерегулювання 10 °С.

Отже, стала часу об'єкту

$$T_0 = 0.73T = 0.73 \times 160 = 116.8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\tau_3 = 1.2 \text{ с}$$

$$W(p) = \frac{4.8 \times e^{-1.2p}}{1 + 116.8p}$$

$$A(\omega) := \frac{4.8}{\sqrt{13642\omega^2 + 1}}$$

$$\psi(\omega) := -1.2\omega - \text{atan}(116.8\omega)$$

За результатами обчислень будемо перехідні характеристики системи.

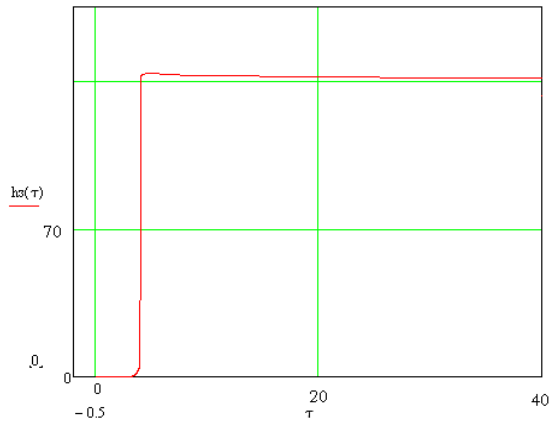


Рисунок 5.1. – Перехідна характеристика системи

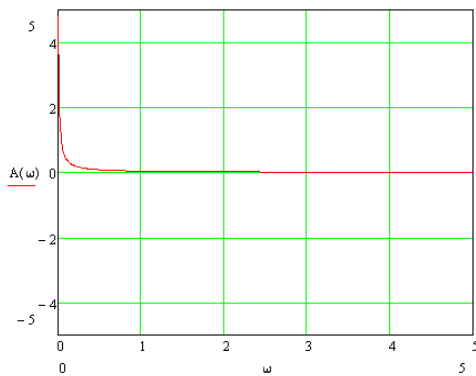


Рисунок 5.2. АЧХ та ФЧХ розробленої системи

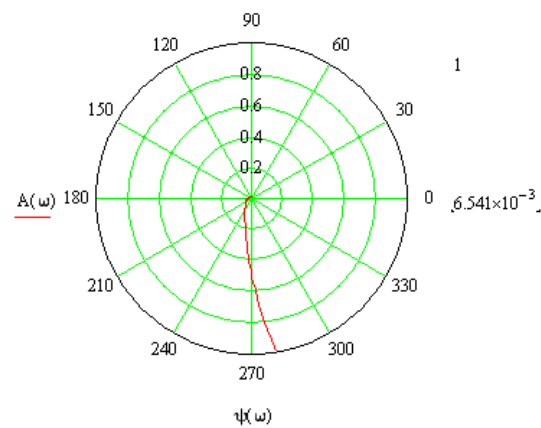


Рисунок 5.3. – АФЧХ розробленої системи.

Внаслідок розрахунків видно, що система є стійкою.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1 Організація охорони праці при роботі з системою управління**

Охорона праці розглядає проблеми забезпечення здорових і безпечних умов праці. Виявляє і вивчає можливі причини нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж і розробляє систему заходів і вимог з метою виключення цих причин і створення безпечних і сприятливих для людини умов праці.

Завдання охорони праці є зведення до мінімуму імовірності пошкодження або захворювання працівників з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Навчання працівників безпеці праці проводять відповідно до встановлених вимог. На всіх підприємствах і в організаціях незалежно від характеру і ступеню небезпеки виробництва навчання працівників проводять при підготовці нових робітників, проведенні різноманітних видів інструктажів і підвищенні кваліфікації.

Контроль за своєчасним і якісним навчанням виконує відділ охорони праці чи інженер з охорони праці, або ІТП, на якого наказом керівника підприємства покладено ці обов'язки. Ті, що вперше поступають на роботу, навчання проходять згідно з "Типовим положенням про підготовку і підвищення кваліфікації робітників". В журналі обліку навчальної роботи реєструють навчальну тему, за якою проводилось навчання.

Інструктаж працюючих поділяють на вступний, початковий, на робочому місці, повторний, позаплановий і початковий.

Вступний інструктаж з усіма, хто поступає на роботу незалежно від їх освіти і стажу роботи по даній професії, проводить інженер з охорони праці за програмою, затвердженою головним інженером підприємства, про

проведення вступного інструктажу з обов'язковим підписом того, хто проводив інструктаж і того, хто його отримував.

Початковий інструктаж на робочому місці, повторний, позаплановий і поточний проводить керівник робіт.

Початковий інструктаж на робочому місці проводять при прийомі на роботу нових робітників за інструкцією з охорони праці, розробленою для окремих професій або видів робіт. Всі робітники після цього інструктажу і перевірки знань 2-5 змін (залежно від навичок і стажу роботи) працюють під наглядом бригадира чи майстра, потім оформляється допуск до їх самостійної праці.

Повторний інструктаж проходять всі працівники незалежно від кваліфікації, освіти і стажу роботи через три місяці. Його проводять з метою перевірки знання робітниками правил і норм з охорони праці.

Позаплановий інструктаж проводять коли змінилися правила охорони праці або технологічний процес, обладнання, інструмент та інші фактори, що впливають на безпеку праці; коли працівники порушують правила охорони праці, що можуть призвести чи призвели до травм, аварій чи пожежі, вибуху. Його проводять індивідуально чи з групою робітників однієї професії за програмою початкового інструктажу на робочому місці. При його реєстрації вказують причину, яка спричинила його проведення.

Умови праці мають велике значення практично для всіх виробничих показників - продуктивності праці, якості робіт, безпеки працівників та інше.

Санітарно-гігієнічні умови праці характеризуються показниками виробничого середовища - рівнем освітлення, мікрокліматичними параметрами, загазованістю і запиленістю повітряного середовища, рівнем шуму і вібрації, наявністю іонізуючого випромінювання та інше.



## 6.2 Електробезпека

Електричні установки, з якими доводиться мати справу практично всім працюючим по встановленню та налагодженню засобів автоматизації, виявляють для людини велику потенційну небезпеку, яка збільшується у зв'язку з тим, що органи чуття людини не можуть на відстані виявити присутність електричної напруги на обладнанні.

Степінь ураження електричним струмом залежить від цілого ряду факторів: значення сили струму, електричного опору тіла людини та тривалості протікання через неї струму, виду та частоти струму, індивідуальних властивостей людини та умов навколишнього середовища.

Конструкція електроустановок має відповідати умовам їх експлуатації та забезпечувати захист персоналу від дотику з струмоведучими та рухомими частинами, а обладнання - від попадання всередину посторонніх твердих тіл та води.

Конструкція, вид виконання, спосіб встановлення, клас ізоляції застосовуваних провідників, кабелів, пристроїв та іншого електрообладнання відповідають вимогам електробезпеки. За ступенем ураження людей електричним струмом котельня відноситься згідно ПУЕ 1.1.13 до категорії приміщень з підвищеною небезпекою (висока температура, можливість одночасного дотику до металевих елементів технологічного обладнання або металоконструкцій будинку та металевих корпусів електрообладнання).

У нормальному режимі роботи обладнання - можливість ураження працівників електричним струмом виключена. Але на випадок аварії для запобігання ураження струмом людей передбачене захисне заземлення. Згідно ПУЕ 1.7.65 допустимий опір заземлення повинен бути не більшим 10 Ом.

При виконанні монтажних робіт використовуються переносні електроінструменти (електродрилі, електрошліфувальні установки, тощо).

Для забезпечення безпечної праці корпуси однофазних електроприймачів повинні занулюватись.

Захист людини від ураження електричним струмом в мережах з зануленням здійснюється тим, що при замиканні одної з фаз на занулений корпус в ланці цієї фази виникає струм короткого замикання, що діє на струмовий захист (плавкий запобіжник, автомат), в результаті чого відбувається відключення аварійної ділянки від мережі. Крім того, ще до спрацювання захисту струм короткого викликає перерозподіл напруги в мережі, що приводить до зниження напруги корпусу відносно землі. Таким чином, занулення зменшує напругу дотику та обмежує час, на протязі якого людина, що доторкнулася до корпусу, може потрапити під дію напруги.

Для того, щоб забезпечити швидке (на протязі декількох секунд) відключення аварійної ділянки, струм короткого замикання повинен бути достатньо великим. Відповідно до вимог ПУЕ струм короткого замикання повинен не менше ніж в три рази перевищувати номінальний струм плавкої вставки найближчого запобіжника або номінальний струм нерегульованого розчеплювача автоматичного вимикача. При використанні автоматичних вимикачів, що мають тільки електромагнітний розчіплювач (відсічку), струм короткого замикання повинен перевищувати значення струму встановлення миттєвого спрацювання в 1,25-1,4 рази в залежності від номінального струму.

В однофазних електроприймачів, що включені між фазним та нульовим робочим проводами, занулення корпусів слід виконувати з допомогою окремого (третього) провідника, який повинен з'єднувати корпус електроприймача з нульовим захисним проводом. В таких випадках під'єднувати корпуси електроприймачів для забезпечення електробезпеки до нульового робочого проводу недопустимо, оскільки при його розриві (перегоранні запобіжника) всі під'єднані до нього корпуси виявляться під фазною напругою відносно землі.

В мережі з зануленням недопустимо використовувати заземлення окремих електроприймачів, не під'єднавши їх перед цим до нульового захисного провідника. В цьому випадку при замиканні фази на заземлений, але не приєднаний до нульового захисного провідника корпус створюється коло струму через заземлення цього корпусу та заземлення нейтралі джерела струму. Такий випадок небезпечний, оскільки засоби захисту не зможуть відключити такий електроприймач через мале значення струму і тому небезпечна напруга на всіх корпусах може зберігатися тривалий період, поки заземлений приймач не буде відключений вручну.

Важливо відмітити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, оскільки забезпечує додаткове заземлення нульового захисного проводу.

Для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою, використовуються основні та допоміжні ізолюючі засоби, а саме слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками, коврики, ізолюючі підставки, тощо.

У приміщеннях, де знаходяться вимірювальні прилади, необхідно забезпечити виконання заходів по боротьбі з статичною електрикою (тобто прилади повинні бути заземлені). Найпростішим засобом є підтримка відносної вологості повітря на рівні 50 - 60 % за допомогою побутового електрозволожувача.

Підлогу слід виконувати відповідно до ГОСТ 12.4.124-83, використовуючи антистатичне покриття на проходах і біля робочих місць.

Робітникам рекомендовано носити одягу з природних матеріалів або з комбінованих - природних і штучних волокон. Для зняття електростатичних зарядів з одягу слід використовувати антистатика побутового призначення.

Оскільки корпуси приладів виконані з металу, то для усунення небезпеки ураження людини електричним струмом (можливий пробій на корпус приладу) використовується захисне заземлення.

### 6.3 Розрахунок заземлення

Розрахуємо систему заземлення для електроустаткування, яке працює від напруги 220 В.

$$R_{\text{ззз}} \leq \frac{U}{I_p} = \frac{220}{66} = 3.3 \leq 4 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір ґрунту:  $\rho = k_n * \rho_n = 2 * 200 = 400 \text{ Ом м}$ ,

де  $k_n$  - коефіцієнт підсилення;

$\rho_n$  — питомий опір ґрунту (вибирається з довідкової літератури).

Визначаємо опір одиночного вертикального заземлювача:

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} * \frac{4t+1}{4t-1} \right)$$

де  $t$  - відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м;

$l, d$  - довжина і діаметр стержня заземлювача, м;

$$R_B = 96 \text{ Ом.}$$

Визначаємо опір сталевій полосі, що з'єднує стержневі заземлювачі:

$$R_{II} = (\rho / 2\pi l) * \ln(l^2 / dt) = 61 \text{ Ом.}$$

Визначаємо орієнтовне чмсло стержневих заземлювачів:

$$n = R_B / [r_B] \eta_B = 96 / 4 * 1 = 24 \text{ шт.};$$

$r_B$  - допустимий по нормам опір заземляючого пристрою,

$\eta_B$  - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів (для орієнтовного розрахунку приймається рівним 1).

Приймаємо розміщення вертикальних заземлювачів по контуру з відстанню між сталевими заземлювачами рівним 21. З довідкової літератури

визначаємо  $\eta_B = 0,66$  і  $\eta_I = 0,39$ .

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів

$$n = R_B / [r_B] \eta_B = 96 / (4 * 0.66) = 36$$

Розраховуємо загальний розрахунковий опір аземлюючого пристрою R з врахуванням з'єднувальної полоси

$$R = R_B R_{II} / (R_B \eta_I + R_{II} \eta_B n) = 3.9 \text{ Ом.}$$

Розрахунок проведено правильно, оскільки виконується умова  $R \leq [r_B]$ .

### Розрахунок штучного заземлення:

Приймаємо, що опір захисного заземлення не повинен перевищувати 4 Ом:

$$R_{33} = \frac{R_c R_n}{R_c + R_n} \leq 4 \text{ Ом}$$

де  $R_{33}$  – опір захисного заземлення;

$R_c$  – опір стержневих заземлювачів;

$R_n$  – опір поперечних заземлювачів.

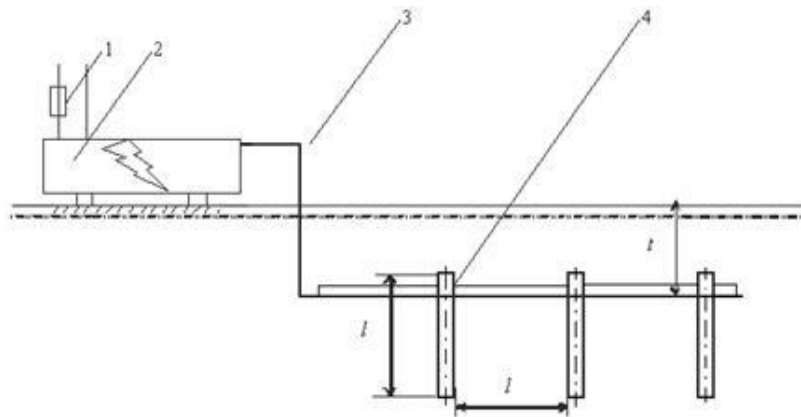


Рисунок 6.1 - Пристрій заземлення

4 – плавка вставка; 2 – електроустановка; 3 – з'єднувальна штаба; 4 – трубчатий заземлювач

Опір одиночного стержневого заземлювача розтіканню електричного струму:

$$R_{oc} = \frac{\rho_r}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{4h' + l}{4h' - l} \right)$$

де  $h$  – відстань від поверхні ґрунту до заземлювача і становить 0,8 м;

$l$  – довжина стержневого заземлювача 3 м;

$d$  – діаметр стержневого заземлювача 50 мм.

$$R_{oc} = \frac{750}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left( \ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \ln \frac{4 \cdot 0,8 + 3}{4 \cdot 0,8 - 3} \right) = 39,8 \cdot (0,18 + 3,43) = 143,8 \text{ Ом}$$

Опір одиночного поперечного заземлювача:

$$R_{ок} = \frac{\rho_r}{2\pi} \ln \frac{2l^2}{bh'}$$

де  $l$  – довжина поперечного заземлювача 2,5 м;

$b$  – ширина полоси заземлювача 30 мм;

$\rho_r$  – розрахунковий опір ґрунту: для поперечних електродів 1000 Ом·м, для стержневих електродів 750 Ом·м.

$$R_{ок} = \frac{1000}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \ln \frac{2 \cdot 2,5^2}{0,03 \cdot 0,8} = 63,7 \cdot 6,25 = 398,1 \text{ Ом}$$

В наслідок взаємовпливу вводимо коефіцієнт використання заземлювачів:

$$\eta = \frac{R_0}{nR_0}$$

де  $R_d$  – допустимий опір заземлення, що становить 4 Ом;

$R_0$  – опір одиночного заземлювача.

З цієї формули методом ітерацій підбирають  $n$ , при якому  $\eta = 1$ :

$n$	$R_n$	$R_c$	$R_0$	$\eta$
1	398,1	143,8	105,6	26,1
5	398,1	143,8	105,6	5,2
10	398,1	143,8	105,6	2,6
15	398,1	143,8	105,6	1,7
20	398,1	143,8	105,6	1,3
25	398,1	143,8	105,6	1,1
26	398,1	143,8	105,6	1,0
27	398,1	143,8	105,6	0,9

Отже приймаємо кількість одиночних заземлюючих електродів рівною

20.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

В роботі було розроблено автоматизовану систему керування баштовою розпилювальною сушаркою в процесі сушіння з використанням програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК-73 з використанням ПІД регуляторів.

Було оглянуто конструкції, переваги та недоліки сушильних розпилювальних апаратів баштового типу. Приведено основні рівняння та залежності для розрахунку визначальних параметрів сушарок, які впливають на продуктивність системи.

Також в роботі було промодельовано аеродинамічні характеристики баштової сушарки та обґрунтовано використання технологічних елементів.

Впровадження системи забезпечує збільшення продуктивності установки сушіння.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.
2. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.
3. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.
4. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.
5. Kessler, A. Food engineering and Dairy technology / Kessler A. - Germany: Verlag A.Kessler, 1981.-694 p.
6. Masters, K. A study of centrifugal atomization and spray drying / Masters K., Montadi M.T.// British Chemical Engineering .- 1967.- Vol.12, № 12.-P.1890-1892.
7. Лыков, А.В. Теория сушки/А.В. Лыков. -М.: "Энергия", 1968. -472 с.
8. Хомяков, А.П. Процессы и аппаратурное оформление производств для получения порошкообразных химических веществ: дис. ...канд.техн.наук: 05.17.08 / Хомяков Анатолий Павлович. - Екатеринбург, 2007. - 49 с.