

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології  
Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

«На правах рукопису»  
УДК 661.7

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО  
Завідувач кафедри МАХНВ

\_\_\_\_\_ Андрій СТЕПАНЮК  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані  
технології проектування інноваційного галузевого обладнання»  
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
на тему: «Модернізація установки виробництва аміносмол з розробкою  
сушарки та змішувача»**

**Виконала:**

студентка 2 курсу, групи ЛМ-41мп  
Ангеліна ВАКУЛІНА \_\_\_\_\_

**Науковий керівник:**

Доцент, к.т.н. Сергій ГУЛІЄНКО \_\_\_\_\_

**Консультанти:**

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях  
ст. викл., к.т.н. Андрій КОВТУН \_\_\_\_\_

розробка стартап-проекту  
доцент, к.е.н., доцент кафедри КПМ Наталія ЮДІНА \_\_\_\_\_

автоматичний контроль і керування процесом  
професор, д.т.н. Олексій ЖУЧЕНКО \_\_\_\_\_

комп'ютерне моделювання процесів взаємодії  
асистент Микита БИШКО \_\_\_\_\_

Рецензент: \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студентка \_\_\_\_\_ Ангеліна ВАКУЛІНА

Київ – 2025 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**Рівень вищої освіти – другий (магістерський)**

**Напрямок підготовки: 13 Механічна інженерія**

**Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування**

**Освітньо-професійна програма: «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання»**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Андрій СТЕПАНЮК

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студентці**

**Вакуліній Ангеліні Дмитрівні**

**1. Тема дисертації :** «Модернізація установки виробництва аміносмол з розробкою сушарки та змішувача»

Науковий керівник дисертації: доцент., к.т.н. Гулієнко С. В.

Затверджені наказом по університету від “ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р. № \_\_\_\_\_

**2. Термін подання студентом дисертації:** «\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**3. Вихідні дані до проекту:** Продуктивність установки по випареній волозі – 300 кг/год, початкова вологість – 1200%, кінцева вологість – 6%.

**4. Зміст пояснювальної записки:**

а) основна частина: обґрунтувати вибір конструкцій сушарки та змішувача, виконати розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій, а саме, технологічний, параметричний, конструктивний, гідравлічний розрахунки, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкцій цих апаратів;

б) маркетинг стартап–проектів: створити стартап–проект модернізованого апарату;

в) охорона праці: провести аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які пов'язані з експлуатацією апарата з мішалкою та теплообмінника, запропонувати

заходи щодо обмеження їх дії, виконати відповідні розрахунки, викласти основні правила безпечної експлуатації установки та дій обслуговуючого персоналу у надзвичайних ситуаціях;

г) частина автоматичного керування: скласти та обґрунтувати схему автоматизованого керування установкою; скласти специфікацію приладів;

д) комп'ютерне моделювання процесів взаємодії: моделювання процесів взаємодії, симуляційний експеримент, що підтверджує запропоновану модернізацію

**5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):** принципова схема установки – А1; складальні креслення: сушарка – А1, змішувач – А1, корпус сушарки – А1, кришка – А2, перемішувачий пристрій – А2, ілюстрація технічної ідеї патенту, результати комп'ютерного моделювання процесів, симуляційний експеримент, що підтверджує запропоновану модернізацію – А1×2.

**6. Перелік публікацій:** три тези доповідей за темою магістерської дисертації

**7. Консультанти розділів проекту:**

Розділ	Ім'я ПРІЗВИЩЕ консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Андрій КОВТУН		
Розробка стартап-проєкту	Наталія ЮДІНА		
Автоматичний контроль і керування процесом	Олексій ЖУЧЕНКО		
Комп'ютерне моделювання процесів взаємодії	Микита БИШКО		

**8. Дата видачі завдання** 01 вересня 2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути зроблені відповідно до завдання	Терміни виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	2	3	4
1	Переддипломна практика. Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Добір матеріалів. Складання звіту з практики. (Під час проходження практики необхідно виконання креслеників орієнтовним обсягом – 8 форматів А1)	01.09.2025	
2	Патентне дослідження. Формування ідеї модернізації. Створення стартап-проєкту.	27.09.2025	
3	Обґрунтування актуальності проєкту. Опис установки. Схема установки. Вибір і опис конструкцій випарного та мембранного апаратів. Технічна характеристика установки, апаратів.	01.10.2025	
4	Виконання моделювання запропонованої модернізації	10.10.2025	
5	Параметричні розрахунки: визначення основних розмірів апаратів. Розрахунок гідравлічного опору апаратів	16.10.2025	
6	Розробка складальних креслень апаратів і їх складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апаратів	19.10.2025	
7	Розрахунки на міцність. Розробка програм і супроводжуючих документів. Виконання схем	21.10.2025	
8	Консультації відповідно до графіку з питань охорони праці, стартап-проєкту, автоматизації	05.11.2025	
9	Уточнення графічної частини проєкту і специфікацій	18.11.2025	
10	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проєкту діючим нормам за змістом і оформленням. Підготовка до захисту. Складання плану викладення доповіді, окремих питань	25.11.2025	
11	Попередній захист проєкту	08.12.2025	

1	2	3	4
12	Корегування проекту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту	10.12.2025	

**Студентка**

\_\_\_\_\_ Ангеліна ВАКУЛІНА  
(підпис)

**Керівник магістерської дисертації**

\_\_\_\_\_ Сергій ГУЛІЄНКО  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

УДК - 661.7

Магістерська дисертація на тему «Модернізація установки виробництва аміносмол з розробкою сушарки та змішувача» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Керівник С. В. Гулієнко. – К., 2025. Викон. – А. Д. Вакуліна – Бібліогр.: с. 193.

Пояснювальна записка складається зі вступу, восьми розділів, висновків шести додатків і списку посилань 51 з найменувань. Загальний обсяг записки становить 193 сторінок, з них 137 сторінок основного тексту, 28 рисунків, 25 таблиць.

Мета магістерської дисертації – є модернізація установки виробництва аміносмол з розробкою сушарки та змішувача.

Записка містить опис технологічного процесу, вибір типу апаратів, їх місце в технологічній схемі, технічну характеристику апаратів, обґрунтування вибору конструкцій апаратів, що проектуються і принцип дії їх основних складальних одиниць та деталей, порівняння основних показників розробленої конструкції апаратів з аналогами, патентне дослідження конструкцій апаратів. Наведено заходи, щодо охорони праці, рекомендації з монтажу та експлуатації. Проведено модернізацію установки сушіння та розроблено стартап проект.

Проведено розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій апаратів. Визначено рівень стандартизації та уніфікації. Розроблено автоматичну схему керування процесом.

**ВИРОБНИЦТВО АМІНОСМОЛ, СУШИЛЬНИЙ АПАРАТ, ЗМІШУЮЧИЙ ПРИСТРІЙ.**

## ABSTRACT

UDC - 661.7

Master's dissertation on the topic " Modernization of the Amino Resin Production Plant with the Development of a Dryer and Mixer" / Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute; Supervisor S. V. Gulienko. – K., 2025. Executor – A. D. Vakulina – Bibliogr.: p. 193.

The explanatory note consists of an introduction, eight chapters, conclusions, six appendices, and a list of 51 references. The total volume of the note is 193 pages, including 137 pages of main text, 28 figures, 25 tables.

The aim of the master's dissertation is the modernization of the amino resin production installation with the development of a dryer and mixer.

The note contains a description of the technological process, selection of the type of apparatuses, their place in the technological scheme, technical characteristics of the apparatuses, justification for the choice of the designed apparatus constructions and the operating principle of their main assembly units and parts, comparison of the main indicators of the developed apparatus design with analogues, patent research of apparatus constructions. Occupational safety measures, recommendations for installation and operation are provided. Modernization of the drying installation has been carried out and a startup project has been developed.

Calculations confirming the operability and reliability of the apparatus constructions have been performed. The level of standardization and unification has been determined. An automatic process control scheme has been developed.

AMINO RESIN PRODUCTION, DRYING MACHINE, MIXING MACHINE.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології  
Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності:** 133 Галузеве машинобудування

**освітня програма (спеціалізація):** Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання

**на тему: Модернізація установки виробництва аміносмол з розробкою  
сушарки та змішувача**

Київ – 2025

## Зміст

Вступ.....	14
1 Призначення та область застосування апарату .....	16
1.1 Опис технологічного процесу .....	16
2 Технічна характеристика апаратів.....	18
3 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата .....	19
3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей .....	19
3.2 Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами	22
3.3 Вибір матеріалів .....	25
3.4 Патентне дослідження .....	26
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції	46
4.1 Параметричний розрахунок сушарки .....	46
4.2 Параметричний розрахунок мішалки.....	58
4.3 Розрахунок перемішувального пристрою .....	60
4.5 Розрахунок турбінної мішалки .....	65
4.6 Розрахунок товщини циліндричної обичайки .....	66
4.7 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на вібростійкість.....	68
4.8 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на жорсткість	71
4.9 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на міцність ....	75
4.10 Конструктивний розрахунок товщини стінки еліптичної кришки .....	78

Відповідальна організація МАХНВ	Технічне узгодження Новохат О.А.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа КПІ ім. Ізгоря Сікорського ФАПЕ	Розробник документа Вакуліна А.Д.	Назва, додаткова назва Модернізація установки виробництва аміносмол з розробкою сушарки та змі- шувача	ЛМ41мп.04.201.001			
	Документ затверджено Гулієнко С.В.		Інд. змін	Дата видання 10.12.2025	Мова UA	Аркуш 10

4.11 Конструктивний розрахунок товщини стінки конічного днища .....	80
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	83
5.1 Характеристика виробничих факторів.....	84
5.2 Повітря робочої зони .....	85
5.3 Небезпека враження електричним струмом.....	87
5.4 Промислове освітлення .....	88
5.5 Виробничий шум.....	90
5.6 Вібрація .....	91
5.7 Пожежна безпека.....	92
5.8. Хімічний захист.....	93
6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апаратів .....	95
7 Рівень стандартизації та уніфікації .....	99
8 Розробка стартап-проекту .....	101
8.1. Опис ідеї стартап-проекту.....	101
8.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	105
8.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту .....	106
8.4. Розроблення ринкової стратегії проекту .....	117
8.5. Розроблення маркетингової програми стартап проекту .....	121
Висновки .....	128
Conclusion.....	129
Перелік посилань.....	130
Додаток А Автоматизація технологічного процесу сушіння аміносмол ....	137
Додаток Б Програмний розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки .....	148

Додаток В Наукові дослідження.....	152
Додаток Г Документація до патентного дослідження.....	160
Додаток Д Патенти, які використовувались в патентному дослідженні.....	165
Додаток Е Публікації автора.....	175

## Перелік скорочень, умовних позначень, одиниць та термінів

$\Gamma_d$  – симплекс подібності частинок до мішалки;

$\Gamma_D$  – симплекс подібності мішалки до апарата;

$\Gamma_{h_B}$  – глибина воронки, м;

$\Gamma_{h_M}$  – симплекс висоти встановлювання мішалки;

$\Pi$  – швидкість корозії, мм/рік;

$D_B$  – внутрішній діаметр апарата, м;

$d$  – діаметр, м;

$E$  – модуль пружності, МПа;

$F$  – площа, м<sup>2</sup>;

$F_1$  – ветрикальна сила, МН;

$f$  – площа поперечного перерізу, м<sup>2</sup>;

$F_{30B}$  – зовнішня осьова сила, Н;

$Fr$  – критерій Фруда;

$g$  – прискорення вільного падіння: 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$G$  – продуктивність, кг/с;

$G_V$  – об'ємна продуктивність, м<sup>3</sup>/с;

$Ga$  – критерій Галілея;

$H_p$  – висота рідини в апараті, м;

$h_1$  – висота циліндричної частини кришки, м;

$h_B$  – висота еліптичної частини кришки, м;

$K$  – коефіцієнт;

$K_N$  – критерій потужності;

$l$  – довжина, м;

$L$  – довжина, м;

$m$  – маса, кг;

$M$  – момент, Н·м;

$M_i$  - сукупні витрати на проведення модернізації устаткування, грн.  
 $n$  - частота обертання, об/с;  
 $n_b$  - кількість болтів;  
 $n_{pi}$  - коефіцієнт ефективності витрат;  
 $N$  - потужність, Вт;  
 $N_{заг}$  - загальна кількість складових частин;  
 $N_0$  - кількість оригінальних частин;  
 $P$  - тиск, Па;  
 $[P]$  - допустимий тиск, Па;  
 $[q]$  - допустимий тиск, МПа;  
 $q_{обт}$  - тиск обтискання, МПа;  
 $R$  - радіус, м;  
 $R_{зав}$  - захисне заземлення, Ом;  
 $Re$  - критерій Рейнольдса;  
 $S_p$  - симплекс подібності густини;  
 $S$  - товщина стінки;  
 $S_{ei}$  - перевищення експлуатаційних витрат, грн.;  
 $T$  - час циклу, с;  
 $Q$  - продуктивність, т/год;  
 $V$  - об'єм, м<sup>3</sup>;  
 $\bar{X}$  - масова частка твердої фази в суспензії, кг/кг;  
 $\tilde{X}$  - об'ємна частка твердої фази в суспензії, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  
 $\beta$  - коефіцієнт;  
 $\Delta\rho$  - різниця густин;  
 $\mu$  - динамічна в'язкість, Па·с (сП);  
 $\rho$  - густина, кг/м<sup>3</sup>;

## Вступ

Виробництво аміносмол отримало широке впровадження завдяки спектру виробів, які із них можуть виготовляються. Основним продуктом є клей, який застосовують під час виготовлення фанери, ДСП, а також композитні матеріали як наприклад деревно-стружкові плити та для меблевої й будівельної індустрій тощо. Окремі аміносмоли функціонують як «модифікатори»: скажімо, додавання невеликої кількості аміносмоли до текстильних матеріалів формує властивості "проти-і-носити". В автомобільному секторі аміносмоли підвищують зчеплення гуми до металу і тому шини стають міцнішими та зносостійкішими. Також варто відзначити, що цей матеріал зберігає міцність навіть при високій волозі та можуть підсилити папір, зберігаючи його структурну цілісність навіть у вологих умовах, що є критично значущим для пакувальних і медичних виробництв. Дані формувальні композиції маючи за основу різні аміносмоли часто використовуються при виготовленні деталей електроприладів чи наприклад корпусів вимикачів, можливе використання для кришок та пляшок, а також декоративних елементів, зокрема гудзиків. Важливою характеристикою аміносмол є вплив на затвердіння полімерних матеріалів каталізуючи їх це значно розширює межі застосування в композитах аміносмол.

Метою роботи визначено проектування та модернізацію сушарки і змішувача у межах заданої технологічної схеми. Потреба в оновленні зумовлена тим, що подальше цільове використання аміносмоли ускладнюється нерівномірністю та підвищеним вологовмістом вихідного порошку, який згодом задіюється у виробничому процесі.

Запропонована робота передбачає комплексну розробку та аналіз апарату для розпилювального сушіння та змішувального пристрою. На початковому етапі надається детальний опис будови цих агрегатів, зокрема їхніх основних компонентів та вузлів, а також послідовності їх складання. Окремо обґрунтовується вибір матеріалів для виготовлення конструкційних елементів. Важливою складовою є зіставлення технічних характеристик розробленої установки з показниками аналогічного

обладнання, що існує на ринку.

Подальша робота включає проведення патентного пошуку для визначення інноваційності рішення та формулювання відповідних заходів безпеки для персоналу. Інженерна частина зосереджена на виконанні параметричних розрахунків для визначення оптимальних режимів роботи, а також на розрахунках міцності критичних деталей та провідних вузлів апарату. На основі отриманих даних розробляються практичні рекомендації щодо монтажу та експлуатації обладнання.

Окремо аналізується рівень стандартизації та уніфікації як самих агрегатів (сушарки та змішуючого пристрою), так і процесів їх встановлення та обслуговування. Економічний блок містить техніко-економічне обґрунтування запропонованої модернізації, що підтверджує її доцільність.

Результати роботи втілюються в пакет конструкторської документації, до якого входять технологічна схема, складальні креслення сушарки та змішувача з детальним зображенням основних вузлів. Кінцевим етапом є комп'ютерне моделювання технологічних процесів та проведення імітаційного експерименту, мета якого — наочне підтвердження ефективності та працездатності запропонованих конструктивних рішень і удосконалень.

Завдання на дипломний проект одержано вересні 2025 року під час проходження переддипломної практики.

# 1 Призначення та область застосування апарату

## 1.1 Опис технологічного процесу

Процес синтезу аміносмол вимагає ретельного контролю параметрів реакції, серед яких ключовими є молярне співвідношення вихідних речовин, кислотність (рН) реакційного середовища, тривалість та температурний режим процесу [1]

Сам синтез зазвичай здійснюється періодичним способом, переважно у водному розчині. Реакційні компоненти завантажують у реактор у певній послідовності, після чого кислотність коригують шляхом додавання лужних або кислотних каталізаторів. Початкові умови підбирають з метою максимального сприяння утворенню метилольних похідних. Після завершення етапу змішування параметри можуть змінюватися для управління процесом полімеризації; зокрема, для його ініціювання часто підвищують кислотність середовища [1].

Реакційний процес може бути зупинений на певній стадії для отримання стабільного сиропоподібного продукту. Цей проміжний продукт знаходить застосування як адгезив або смола для ламінування, а також слугує основою для створення формувальних композитів при змішуванні з наповнювачами. Наприклад, його комбінують з деревною стружкою. Далі сироп може зазнавати подальшої хімічної модифікації, такої як алкілування, в результаті чого утворюються аміносмоли з підвищеною гідрофобністю. Такі смоли використовуються при виробництві фарб, лакофарбових матеріалів та захисних плівок [2].

Технологічний ланцюг отримання карбамід- та меламіно-формальдегідних смол (Рисунок 1.1) складається з трьох основних ступенів: синтезу полімерного сиропу, приготування формувальних сумішей та перетворення смоли методом розпилення.

Блок розпилення виконує критично важливу функцію, де рідка фаза смоли перетворюється на сухий порошок. Цей готовий продукт використовується для ви-

робництва прес-матеріалів, клеїв або покриттів. Для підвищення економічної ефективності необхідно мінімізувати енергоспоживання ключового обладнання цього блоку та забезпечити максимальну вихідну продуктивність, що гарантує отримання якісного продукту за прийнятною собівартістю.

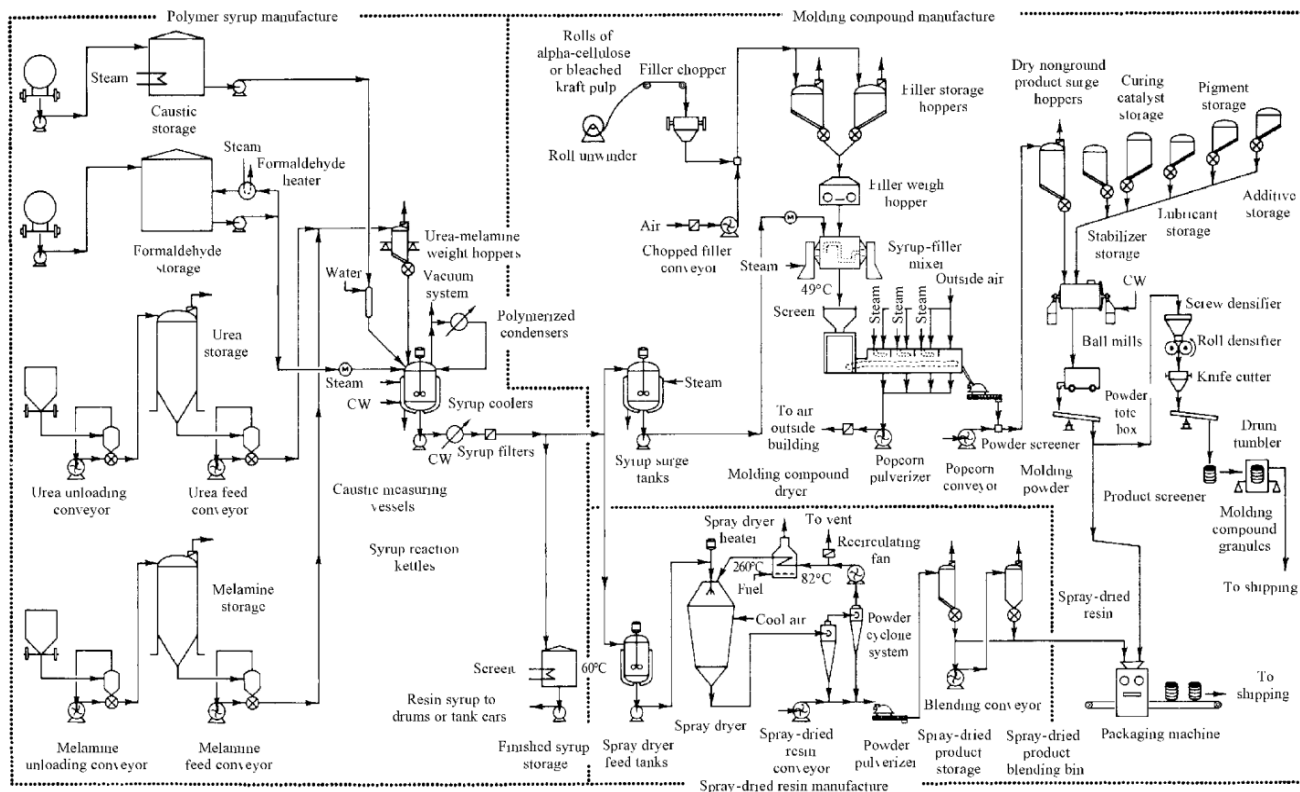


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва карбамід-формальдегідних та меламіно-формальдегідних смол. CW – холодна вода [1].

Найбільш перспективним шляхом оптимізації вважається модернізація змішувального пристрою та розпилювальної сушарки. Таке вдосконалення дозволить знизити енерговитрати, покращити якісні показники кінцевого продукту та зменшити екологічне навантаження завдяки більш рівномірному розподілу частинок. На завершальному етапі частинки смоли подаються до циклонів для відокремлення та подрібнюються перед фасуванням [2].

## 2 Технічна характеристика апаратів

Сушарки:

Продуктивність сушарки по випареній волозі $W$ , кг/с	0,083
Початкова вологість розчин $W_0$ , %	1200
Кінцева вологість $W_k$ , %	6
Габаритні розміри:	
Внутрішній діаметр апарата, м	1,1
Висота циліндричної частини, м	1.256
Оптимальна температура теплоносія при вході в камеру сушіння $t_1$ , °C	170
Допустима температура теплоносія при вході в випарну ступінь $t_1^I$ , °C	250
Температура теплоносія на виході із сушильної камери $t_2$ , °C	150
Робочий тиск $p$ , МПа	0,1

Перемішуючого пристрою:

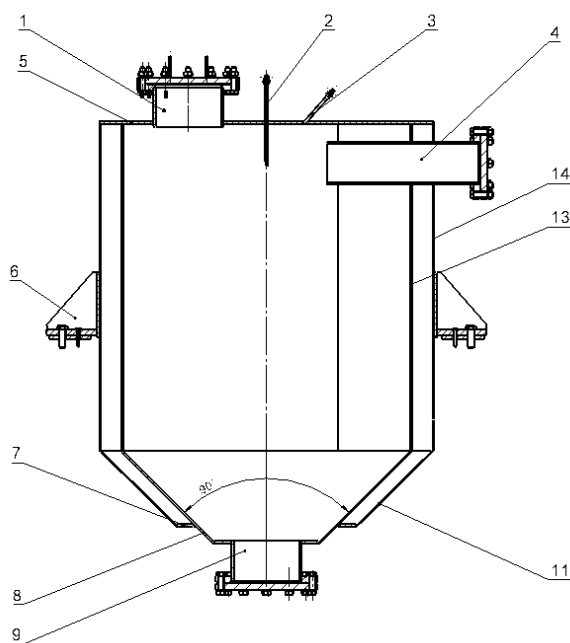
Задана продуктивність по сировині $G$ , кг/с	$50,231 \cdot 10^{-3}$ ;
Концентрація твердої сировини, %	7,7;
Час перемішування $\tau_{роб}$ , с	900;
Діаметр гвинтової мішалки $d_m$ , м (мм)	0,25 (250);
Висота рідини в апараті $H_p$ , м	1,4
Частота обертання мішалки $n$ , об/с	2,268;
Відцентрований критерій Рейнольдса $Re_{ц}$	7198,715;
Симплекс геометричної подібності діаметра апарата $\Gamma_D$	4

### 3 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата

#### 3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей

Розпилювальна сушарка.

Обрана розпилювальна сушарка представлена вертикальною ємністю (рисунок 3.1). В якості робочого органу використовується форсунка. Конструкція апарату відноситься до обладнання для сушіння суспензій, та пастоподібних матеріалів. Технічне рішення дозволяє забезпечити рівномірний розподіл сушильного реагента по всій висоті робочої камери, збільшити час перебування диспергованих частинок у зоні сушіння та зменшити їх контакт зі стінками апарату [3].



1 – люк; 2 – патрубок з розпилювальною форсункою; 3,4 – патрубки для подачі гарячого повітря; 5 – кришка; 6 – опорна лапа; 7 – заглушка оболонки; 8 – дно корпусу; 9 – патрубок для відводу; 11 – дно оболонки; 13 – обичайка корпусу; 14 – обичайка оболонки;

Рисунок 3.1 – Схема розпилювальної сушарки

Сушильна камера складається з чотирьох основних секцій: верхньої циліндричної частини, центральної циліндричної секції та нижньої конічної ділянки та зовнішньої оболонки і зовнішньої оболонки. Верхня частина обладнана патрубком для подачі сушильного реагента та розпилювальним пристроєм, а саме форсункою. На циліндричній ділянці розташований додатковий тангенціальний патрубок підведення теплоносія (гарячого повітря). До нижньої конічної секції приєднано вузол вивантаження готової продукції. Між оболонкою і корпусом циркулюватиме вода для запобігання перегрівання цільового продукту, оскільки при нагріванні аміносоли можуть полімеризуватись, а це не оборотний процес [3].

Технологічний процес відбувається наступним чином: вихідний продукт диспергується за допомогою розпилювача у робочий об'єм циліндричної частини камери. Сушильний агент подається через верхній розподільний патрубок [4]. Частинки продукту, захоплені потоком теплоносія, здійснюють обертальний рух навколо осі апарату з одночасним переміщенням у нижню частину камери [3].

Основою системи розпилення є форсунка, від технічних характеристик якої безпосередньо залежить продуктивність всієї сушильної установки [4].

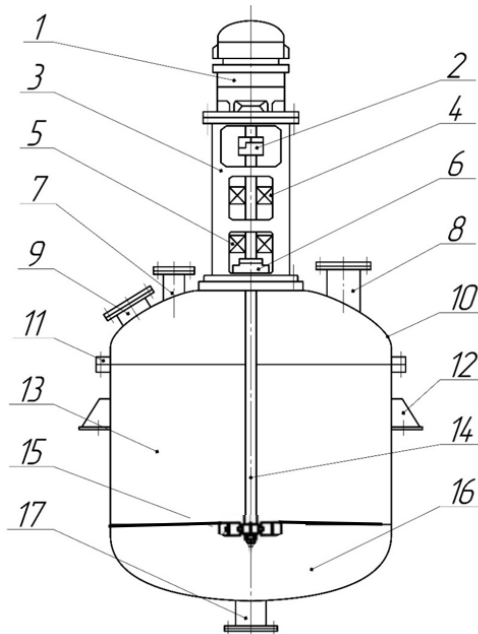
#### Мішалка

Апарати об'ємного типу, оснащені пристроями для перемішування, знайшли широке застосування у якості реакторів для здійснення хіміко-механічних процесів за участю рідкої фази, зокрема для виробництва суспензій [5].

Обраний перемішувальний апарат (рисунок 3.2) представлений вертикальною ємністю, всередині якої розміщена мішалка; вісь її обертання співпадає з центральною віссю апарата.

Ключовий динамічний вузол обладнання – це привід (мотор-редуктор) 1. Його нижній фланець монтується на стійці приводу 3, виконаній з технологічними вікнами, що забезпечує доступ для огляду, а також для проведення монтажних та регулювальних робіт з такими вузлами, як муфта 2 та підшипники 4, 5. З'єднання вихідного валу редуктора 1 з валом мішалки 14, що проходить через весь апарат,

здійснюється за допомогою муфти 2. Вал 14 спирається на два підшипники: опорно-упорний 4 та радіальний 5, при цьому конструкція передбачає його підвішування на верхньому опорно-упорному підшипнику 4. До нижнього кінця валу кріпиться турбінна мішалка 15.



1 - мотор-редуктор; 2 - муфта; 3 - стійка приводу; 4 - опорно-упорний підшипник; 5 - радіальний підшипник; 6 - ущільнювальний пристрій; 7 – штуцер входу розчину; 8 – штуцер входу сировини; 9 - люк; 10-кришка; 11 – фланці кришки та корпусу; 12-опорна лапа; 13- обичайка; 14 - вал мішалки; 15 - турбінна мішалка; 16 – днище; 17-штуцер виходу продукту.

Рисунок 3.2 – Схема перемішувального апарата.

Стійка приводу 3 розташовується на кришці апарата 10. Для її фіксації на кришці виготовляється опорна бобишка, яка з'єднується зі стійкою болтовим кріпленням [3]. Герметичність апарата в місці виходу валу через кришку забезпечується спеціальним ущільнювальним пристроєм 6.

Еліптична кришка 10 кріпиться до корпусу фланцевим з'єднанням 11. На ній розміщені оглядовий люк 9, що забезпечує доступ до внутрішніх компонентів під

час монтажу та обслуговування, а також штуцери для подачі розчину 7 та сировини 8.

Вибір еліптичного днища 16 обґрунтований його раціональною формою з точки зору сприйняття тиску, а також тим, що невисока в'язкість суспензії не вимагає обов'язкового застосування конічного днища для ефективного зливу продукту через вихідний штуцер 17. Апарат фіксується на опорних лапах 12 [5].

### **3.2 Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами**

#### **Сушарка**

Сушіння є популярним і поширеним серед методів зневоднення матеріалів. Об'єктами цього процесу можуть виступати різноманітні речовини на різних етапах технологічної переробки. Усі сушильні апарати класифікують за низкою ознак [2]:

За принципом підведення теплової енергії розрізняють: конвективні, контактні, високочастотні (мікрохвильові), радіаційні (інфрачервоні) та сублимаційні установки.

За рівнем тиску в робочій камері: апарати, що працюють при атмосферному тиску, та вакуумні сушарки.

За організацією робочого процесу: установки періодичної та безперервної дії.

За типом теплоносія: апарати з використанням нагрітого повітря та установки, що використовують продукти згоряння палива.

За напрямком руху теплоносія відносно матеріалу: прямоточні, протиточні та установки з перехресними потоками.

За способом нагріву теплоносія: сушарки з паровим, електричним та газовим нагрівальними пристроями.

За конструктивними особливостями: барабанні, тунельні, трубчасті, шахтні, скребкові, розпилювальні, вальцеві, стрічкові та інші типи апаратів. Порівняльні характеристики сушарок наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Порівняльна характеристика сушарок

Технічна характеристика	Барабанна сушарка	Розпилювальна сушарка	Стрічкова сушарка	Вакуумна сушарка	Шахтна сушарка
Продуктивність по випареній волозі, кг/с	0,457 (3)	0,812 (5)	0,385 (2)	0,294 (1)	0,421 (3)
Вологість матеріалу, %: Початкова/Кінцева	7-10/1-2 (3)	60/7 (5)	31,4/6 (3)	25/3 (2)	15/2 (3)
Температура теплоносія, К	493 (3)	443 (5)	423 (2)	403 (1)	473 (4)
Конструктивні розміри, м	D=2,0; L=8,0 (3)	D=2,5; L=4,67 (5)	6,1x3,5x12,2 (2)	D=1,8; L=6,5 (4)	3,5x3,5x15,0 (1)
Енерго-ефективність, кВт/кг вологи	1,25 (3)	0,89 (5)	1,45 (2)	1,65 (1)	1,38 (3)
Сума балів	15	25	11	9	12

Для процесу сушіння аміносмол найбільш оптимальним рішенням виступають розпилювальні сушарки. Технологічність та стабільна робота є сновними перевагами даного типу обладнання а також простота процесів диспергування та сушіння, отримання однорідного порошкоподібного продукту, мінімальне теплове вплив на матеріал завдяки ефективному розподілу частинок у потоку теплового носія, висока розчинність готового продукту та збереження термочутливих компонентів. Важливою перевагою є можливість повного відокремлення від вже відпрацьованої суміші та висушених частинок [4].

До недоліків розпилювальних сушарок слід віднести значні габаритні розміри та високу металомісткість конструкції, а також відносно низький коефіцієнт корисної дії.

Висновок: Проведений порівняльний аналіз п'яти типів сушильних апаратів демонструє перевагу розпилювальної сушарки за сукупністю ключових експлуатаційних показників. Апарат цього типу характеризується найвищою продуктивністю по випареній волозі, здатністю ефективно видаляти значну початкову вологість, оптимальною температурою теплоносія, що забезпечує м'який тепловий режим, найкращими габаритними параметрами та найвищою енергоефективністю.

Враховуючи технологічні вимоги до процесу сушіння аміносмол, які вимагають інтенсивного видалення вологи при збереженні якості термочутливого продукту, розпилювальна сушарка є найбільш доцільним вибором. Її переваги підтвержені максимальною сумою балів у порівняльній таблиці, що робить її оптимальним рішенням для запропонованої технологічної схеми [4].

### Мішалка

Для проведення порівняльного аналізу та оцінки різних конструкцій перемішувальних пристроїв використовують такі критерії, як ступінь перемішування, інтенсивність та ефективність роботи мішалки. Найбільш прийнятними для процесу суспендування визнано гвинтові, турбінні, лопатеві та якірні мішалки (рисунок 2.3) [5]

Діапазони ефективного застосування мішалок залежно від в'язкості рідинного середовища та концентрації твердих часток, а також значення їхніх колових швидкостей наведено згідно з джерелом [4]. Відомості щодо відносної інтенсивності та ефективності роботи запозичено з [2] та систематизовано у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 — Порівняльна характеристика мішалок

Основні технологічні показники	Тип мішалки, (бали)				
	гвинтова	турбінна відкрита	турбінна закрита	лопатєва	якірна
Діапазон в'язкості, Па·с	0,001-10 (3)	0,1-100 (5)	0,1-50 (4)	0,1-25 (2)	1-3 (1)
Колова швидкість, м/с	3-8 (3)	4-15 (5)	3-12 (4)	1,5-5 (2)	0,5-1,5 (1)
Відносна інтенсивність	1,00 (3)	1,85 (5)	1,42 (4)	0,76 (2)	0,51 (1)
Відносна ефективність	0,94 (3)	1,00 (5)	0,98 (4)	0,78 (2)	0,14 (1)
Стійкість суспензії	3	5	4	2	1

Висновок: За результатами комплексного порівняння технологічних характеристик перемішувальних пристроїв, відкрита турбінна мішалка демонструє найвищі експлуатаційні показники. Вона характеризується найширшим діапазоном ро-

боти за в'язкістю (0,1-100 Па·с), найвищою коловою швидкістю (4-15 м/с) та оптимальним поєднанням інтенсивності та ефективності перемішування. Максимальна сума балів (25) та найкращі показники стійкості суспензії підтверджують, що саме відкрита турбінна мішалка є найбільш ефективним рішенням для процесів суспендування, що забезпечує високу якість перемішування та стабільність технологічного процесу.

### 3.3 Вибір матеріалів

Для виготовлення сталевих зварних апаратів застосовуються напівфабрикати, що постачаються металургійною галуззю у формі листового, сортового та фасонного прокату, труб, а також спеціальних поковок і виливків. До цих матеріалів висуваються вимоги щодо хімічної та корозійної стійкості в заданому середовищі при експлуатаційних параметрах, вони повинні володіти хорошою зварюваністю, відповідними міцнісними та пластичними характеристиками в робочих умовах, допускати механічну обробку як у холодному, так і у гарячому стані, а також мати можливо низьку собівартість [6].

Основні компоненти апарату, що знаходяться у безпосередньому контакті з суспензією, – а саме обичайка, еліптичне днище, еліптична кришка, штуцери, фланці, вал та турбінна мішалка – виконуються зі сталі 10X17H11M2T згідно з [6]. Сталь 10X17H13M2T є нержавіючим сплавом, який характеризується підвищеною стійкістю до температурних коливань та різноманітних зовнішніх впливів, включно з агресивними хімічними середовищами [6].

Експлуатаційно-технічні властивості сплаву безпосередньо визначаються його хімічним складом. Висока частка хрому дозволяє класифікувати цю сталь як «харчову» та надає їй дзеркального блиску. Значна концентрація нікелю забезпечує матеріалу антикорозійні властивості, включаючи зони зварних з'єднань, схильних до міжкристалітної корозії. Додавання титану у невеликій кількості істотно підвищує механічну міцність сплаву. Варто відзначити високу хімічну стійкість, яка дає

зможу застосовувати матеріал у прямому контакті з киплячими кислотами, такими як сульфатна, фосфорна та 10%-ва оцтова. Крім того, матеріал демонструє високу стабільність та тривалий термін служби за температури +600°C [6].

Опорні лапи виготовляються з вуглецевої сталі марки Ст3 [7]. Для болтів застосовується вуглецева сталь марки 35Х, що відповідає ДСТУ EN ISO 4014:2022. Гайки виробляються з вуглецевої сталі марки 15 згідно з вимогами ДСТУ EN ISO 4032:2022 [8]. Пружні шайби виготовляються зі сталі 3Х13 згідно з ДСТУ EN ISO 7089:2022 [9]. Прокладки виготовляються з пароніту, що регламентується ДСТУ EN ISO 1514-1:2022 [10].

### 3.4 Патентне дослідження

Проведене патентне дослідження з метою визначення патентної актуальності та чистоти розробки сушильного та змішуючого апаратів.

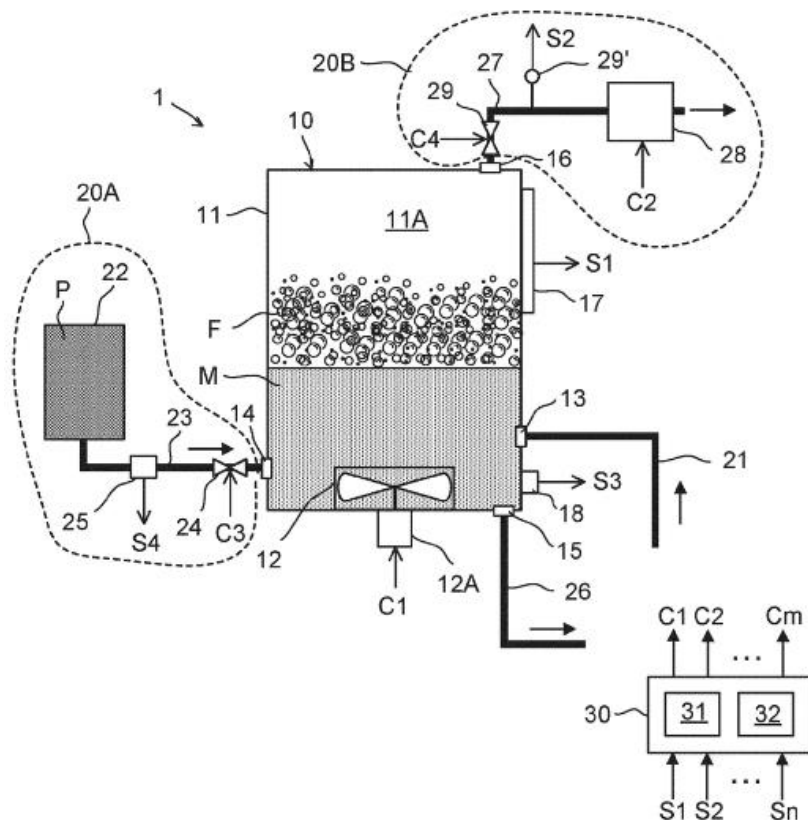
Патентне дослідження для змішувального апарату.

Обмеження утворення піни під час змішування інгредієнтів [11].

Схема даного змішувального апарату зображена на рисунку 3.3. Даний апарат відноситься до змішувачів з вакуумним пристроєм та контролем піноутворення. В загальному випадку процес змішування у апараті проходить наступним чином. Рідкі та сипкі інгредієнти, що містять повітря, подаються в мішувальну камеру. Мішалка високого зсуву інтенсивно перемішує їх, що призводить до виділення повітря та утворення піни. Одночасно вакуумна система відкачує повітря з верхньої частини камери, знижуючи тиск нижче атмосферного, що сприяє видаленню зайвого газу з суміші.

Рідкі та сипкі інгредієнти подаються в камеру 11А через канали 13, 14. Змішувальний пристрій 12 інтенсивно перемішує їх, утворюючи суміш. Одночасно вакуумна система 20В, під'єднана до порту 16, створює в камері 11А тиск нижчий за

атмосферний (вакуум). Це сприяє видаленню повітря, що міститься в інгредієнтах, та покращує якість суміші.



10 – змішувач; 11 – резервуар; 11А – змішувальна камера; 12 – змішувальний пристрій; 12А – приводний блок; 13, 14, 15 – рідинне сполучення; 16 – вакуумний пристрій; 17,18 – датчик; 20А – пристрій подачі; 22 – джерело подачі; 21, 23, 26, 27 – труба; 24 – випускний клапан; 25 – витратомір; 29 – переливний канал; 30 – пристрій керування; 31 – схема обробки; 32 – комп’ютерна пам’ять;

Рисунок 3.3 – змішувач з вакуумним пристроєм та контролем піноутворення [11]

Інтенсивне змішування під вакуумом призводить до утворення піни. Сенсорна система 17 постійно моніторить рівень піни в камері. Коли піна досягає заданого верхнього рівня, датчики передають сигнал S1 на пристрій керування 30. У відповідь, пристрій керування посилає команду C2, C4 вакуумній системі 20B зменшити рівень вакууму (підвищити тиск) у камері 11А, що призводить осадження

піни. Після стабілізації рівня піни система автоматично відновлює більш глибокий вакуум для продовження ефективного видалення повітря [11].

Переваги:

1. Ефективне видалення повітря із суміші, що підвищує якість продукту.
2. Автоматичний контроль піноутворення без використання хімічних антипінних агентів.
3. Стабільність процесу завдяки замкнутому циклу керування.
4. Підвищення продуктивності шляхом запобігання втратам продукту через піну.

Недоліки:

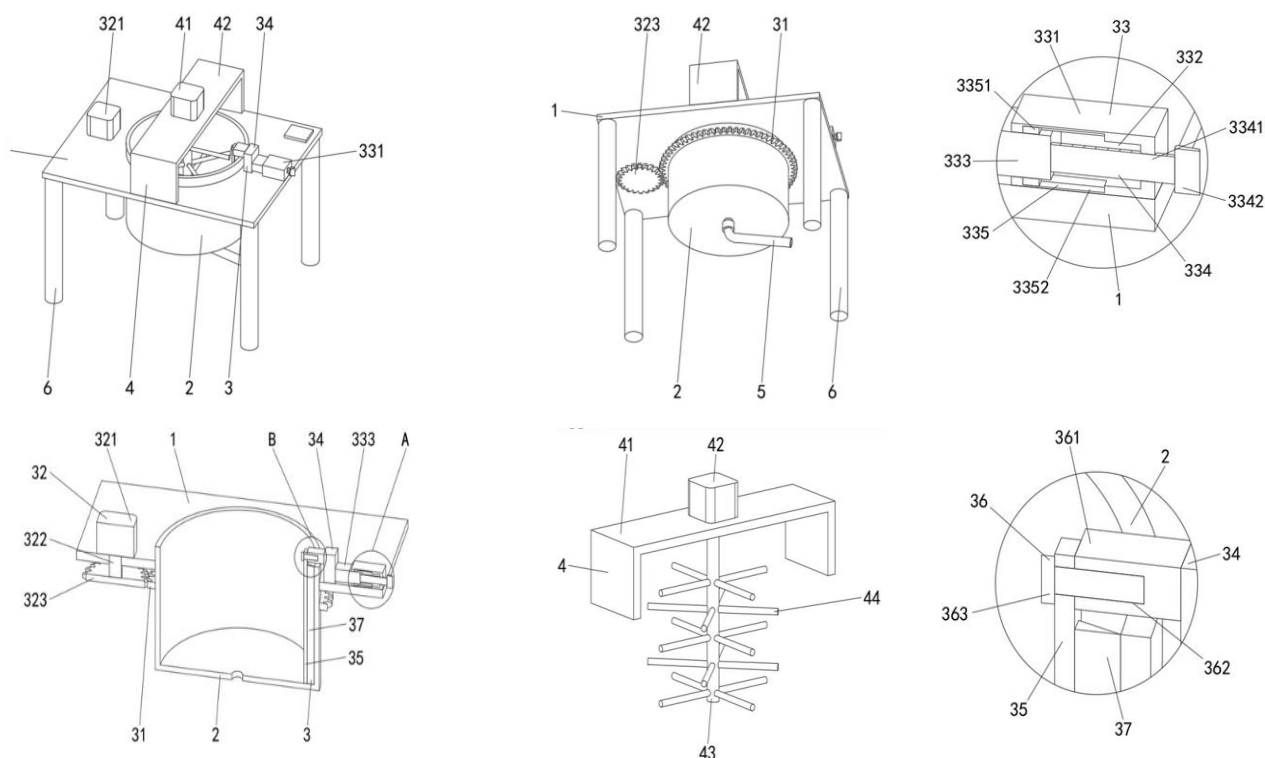
1. Висока вартість обладнання через наявність вакуумної системи та автоматики.
2. Складність у обслуговуванні та ремонті.
3. Потенційний ризик потрапляння рідини у вакуумну систему у разі несправності

Змішувач піску для смоли для обробки клею для лиття та спосіб використання змішувача піску для смоли [12].

Даний змішувач для піску для обробки клею для лиття, що містить нижню пластину та змішувальний барабан, причому змішувальний барабан обертається з'єднаний з верхньою частиною нижньої пластини та простягається до її дна, механізм очищення розташований на верхній частині нижньої пластини, а механізм перемішування розташований на верхній частині нижньої пластини. . Схему конструкції наведено на рисунку 3. 4.

Принцип роботи даної конструкції наступний. Коли змішувач запускається, мішалний пристрій 4, що складається з валу 43 та лопатей 44, починає обертання, інтенсивно перемішуючи суміш. Одночасно приводний механізм 32, що складається з двигуна 321 та зубчастої передачі 323, починає обертати барабан 2 у проти-

лежному напрямку через зубчастий вінець 31. У процесі обертання барабана, скребок 37, жорстко закріплений на монтажній плиті 35, безперервно зіскрібає прилипли суміш з його внутрішніх стінок.



1 – нижня пластина; 2 – змішувальний барабан; 3 – механізм очищення; 4 – механізм перемішування; 5 – живильна труба; 6 – опорний стрижень 31 – зубчастий вінець; 32 – привідний вузол; 33 – вузол регулювання положення; 34 – рухомий блок; 35 – монтажна пластина; 36 – розбиральний вузол; 37 – скребок; 41 – U-подібна рама; 42 – двигун постійного струму для перемішування; 43 – вал перемішування; 44 – стрижень для перемішування; 321 – привідний двигун постійного струму; 322 – обертовий вал; 323 – шестерня; 331 – нерухомий блок; 332 – нерухомий паз; 333 – блок регулювання; 334 – модуль обертання; 335 – обмежувальний модуль 361 – розбиральний блок; 362 – різбовий паз; 363 – кріпильний болт; 3341 – різбовий стрижень; 3342 – ручка; 3351 – обмежувальний блок; 3352 – обмежувальний паз;

Рисунок 3.4 – змішувач піску для смоли для обробки клею для лиття [12]

Коли скребок 37 зношується і між ним і стінкою барабана утворюється зазор, оператор вручну обертає маховик 3342 механізму регулювання положення 33, що пересуває весь вузол кріплення скребка вперед, відновлюючи щільний контакт. При повному зносі скребок можна легко замінити шляхом відкручування фіксуючого болта 363 у розбірному вузлі 36 [12].

Таким чином, завдяки синхронній роботі механізму перемішування та механізму очищення з протилежним обертанням, досягається висока ефективність приготування суміші та підтримується чистота робочої камери, що запобігає перехресному забрудненню рецептур та підвищує стабільність якості продукції.

#### Переваги:

1. Висока якість перемішування завдяки зустрічному обертанню барабана та мішалок.
2. Автоматичне безперервне очищення внутрішньої поверхні барабана під час роботи.
3. Легкість заміни скребка завдяки модульній конструкції вузла кріплення.

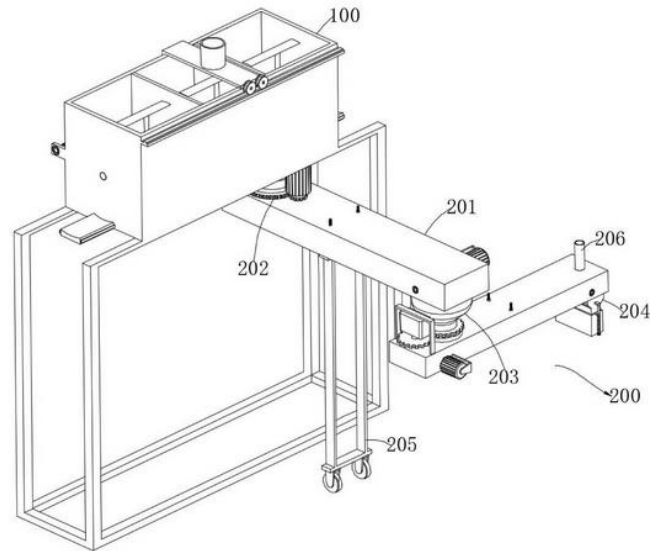
#### Недоліки:

1. Відносна складність конструкції через наявність двох приводів (перемішування та обертання барабана) та механізму регулювання.
2. Не автоматизований процес регулювання положення скребка;
3. Підвищені енерговитрати через роботу двох двигунів і механізму обертання всього барабана.

Змішувач піску на основі фуранової смоли для лиття та спосіб його використання [13].

Даний апарат є спеціалізованим змішувачем для ливарного виробництва, розробленим для роботи з фурановими смолами. Він використовується на ливарних підприємствах для приготування формувальних сумішей, які потім застосовуються для створення ливарних форм та стрижнів. Конструкція апарата дозволяє значно

підвищити ефективність технологічного процесу шляхом організації безперервного циклу змішування та подачі матеріалу. Схематична діаграма загальної конструкції змішувача піску на основі фуранової смоли для лиття згідно з цим винаходом зображена на рисунку 3.5 [13].



100 – механізм перемішування; 201 – транспортувальний компонент;  
202 – перший керуючий компонент; 203 – другий керуючий компонент; 204 – розвантажувальний компонент; 205 – випускний отвір для газу; 206 – випускний штуцер для рідини;

Рисунок 3.5 – це схематична діаграма загальної конструкції змішувача піску на основі фуранової смоли для лиття згідно з цим винаходом [13]

Сировина подається через подаючу трубу в одну з камер змішувального бака, розділеного внутрішніми перегородками. Одночасно загальний мішальний механізм, що складається з вала та лопатей, інтенсивно перемішує вміст усіх камер. Після завершення циклу змішування в одній камері, система переміщення за допомогою гвинтового приводу та U-подібної плити переміщує розвантажувальну раму під відповідну камеру. Після відкриття заслінки готова суміш через поворотний вузол потрапляє на стрічковий транспортер. Два транспортери, розташовані під кутом, забезпечують гнучку подачу суміші безпосередньо в ливарну форму.

Для підвищення якості суміші на транспортерах встановлено спеціальний розподільний механізм з регульованими плитами та гребками, який розбиває грудки та забезпечує рівномірне розподілення матеріалу.

#### Переваги:

1. Висока продуктивність завдяки багатокамерній конструкції змішувача, що дозволяє здійснювати змішування, розвантаження та завантаження паралельно в різних камерах;
2. Багатоетапний процес дозволяє регулювати концентрацію цільового компоненту при масообміні;
3. Гнучка конфігурація лінії подачі матеріалу, що дозволяє адаптуватися до різноманіття ливарних форм завдяки поворотним транспортерним вузлам.

#### Недоліки:

1. Значна технологічна складність всієї системи;
2. Високі експлуатаційні витрати на електроенергію через необхідність роботи численних приводів одночасно;
3. Підвищені вимоги до регулярного технічного обслуговування через велику кількість механічних вузлів, що зношуються;
4. Великі габаритні розміри та вага обладнання, що вимагає значних виробничих площ та потужного фундаменту;

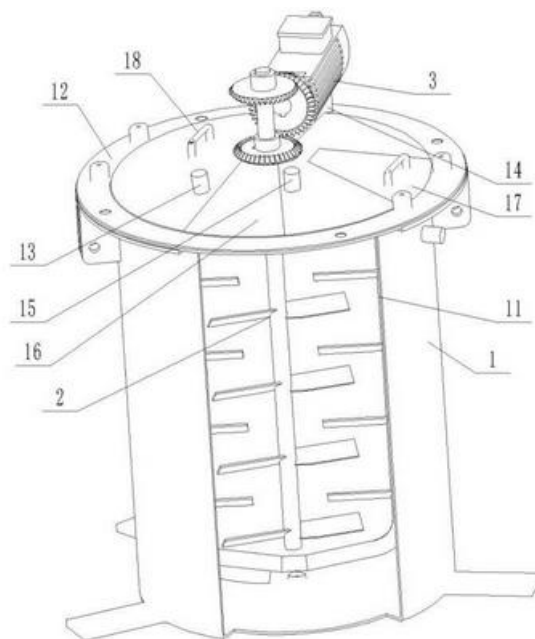
Пристрій для подачі, змішування та перемішування для виробництва пластикової клейової смоли [14].

Даний апарат є спеціалізованим змішувачем для полімерної промисловості, призначеним для інтенсивного перемішування твердих пластикових частинок з рідкими смолами. Його ключовою особливістю є унікальна система газообігу, яка вирішує проблему прилипання в'язкої смоли до стінок апарата та забезпечує ідеальну однорідність суміші.

Принцип роботи заснований на комбінації механічного перемішування та пневматичного впливу. Основними компонентами є герметичний змішувальний

барабан з багатошаровими стінками, подвійний мішальний механізм з зустрічним обертанням та замкнута система циркуляції газу. Схема пристрою для подачі та змішування твердих частинок виготовлених з пластикової клейкої смоли зображена на рисунку 3.6 [14].

Технологічний процес відбувається наступним чином. Після завантаження сировини через завантажувальний люк та герметизації апарата, включається нагрівальний шар барабана для плавлення смоли. Одночасно запускається мішальний механізм, який за допомогою внутрішнього та зовнішнього вала з лопатями обертається в протилежних напрямках, інтенсивно перемішуючи суміш.



1 – корпус барабану; 2 – мішалка; 3 – двигун; 11 – корпус циліндра; 12 – кришка; 13 – відвід повітря; 14 – кріплення; 15 – балансувальний клапан; 16 – оглядове вікно; 17 – люк подачі; 18 – ручка;

Рисунок 3.6 – Схема пристрою для подачі та змішування твердих частинок виготовлених з пластикової клейкої смоли [14]

Під час цього процесу частина рідкої смоли неминуче прилипає до внутрішніх стінок.

У цей момент вмикається система газообігу: насос створює розрідження в робочій камері та надлишковий тиск в газовому просторі між шарами стінки барабана.

Стиснене повітря через спеціальні конічні отвори під високим тиском "здуває" прилиплі краплі смоли, утворюючи на їх поверхні бульбашки, які лопаються та розпорошують смолу в центральну зону перемішування.

Додатково, потік газу формує захисну повітряну плівку на внутрішній поверхні, що запобігає подальшому налипанню [14].

Переваги:

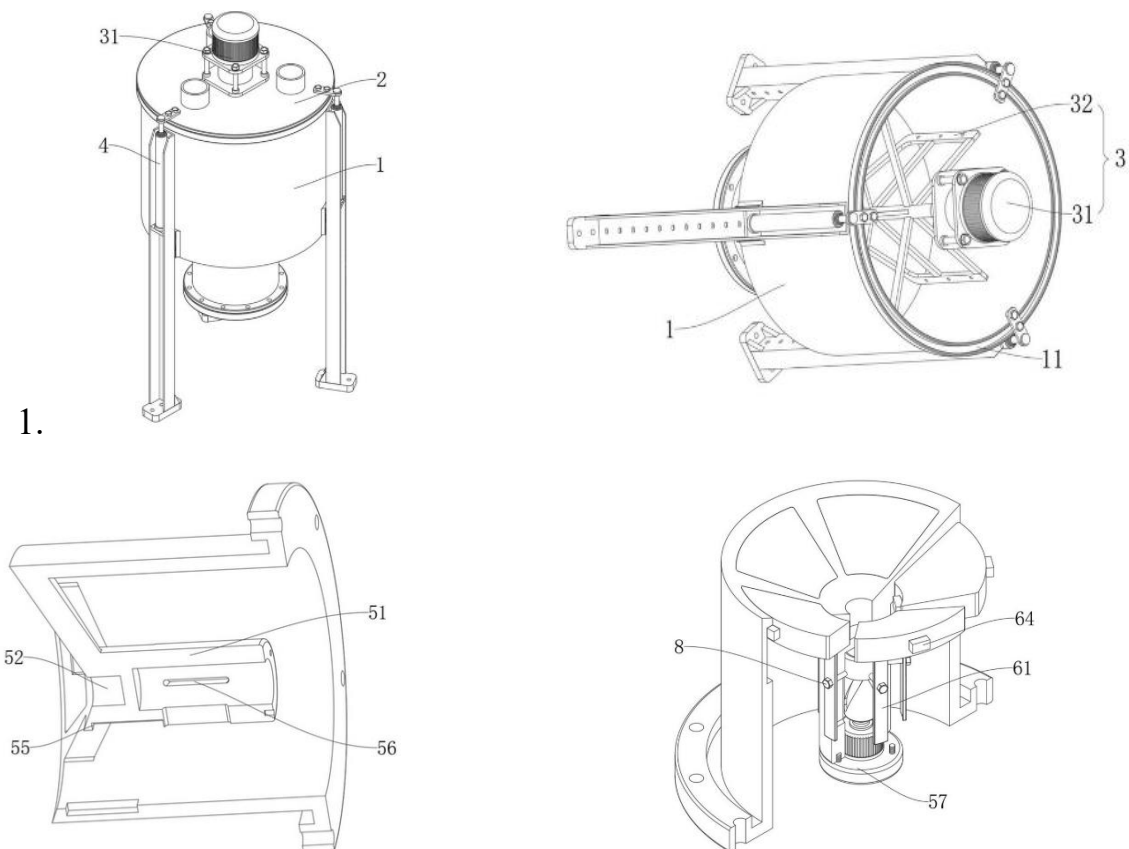
1. Високий ступінь однорідності готової суміші завдяки поєднанню механічного та пневматичного перемішування;
2. Герметична конструкція дозволяє працювати з летючими сполуками та забезпечує стабільність температурного режиму.

Недоліки:

1. Підвищені енерговитрати через необхідність живлення системи нагріву, двох приводів мішалки та повітряного насосу;
2. Високі вимоги до якості матеріалів для внутрішнього шару барабана, що контактує з абразивними частинками та хімічно активними смолами.
3. Технологічна складність конструкції, обумовлена наявністю багатошарового барабана, подвійного приводу мішалки та системи газообігу.

Змішувальна машина для виробництва та обробки фарби, стійкої до високих температур [15].

Даний апарат є змішувачем для виробництва жаростійкої фарби, основним призначенням якого є ефективне та однорідне перемішування компонентів фарби зображений на рисунку 3.7. Він використовується у лаківницькій промисловості для приготування складних сумішей, що містять смоли, пігменти, добавки та розчинники.



1 – змішувальний барабан; 2 – кришка; 3 – вузол перемішування; 4 – підйомний стрижень; 8 – гвинт; 11 – паз монтажного кільця; 31 – двигун перемішування; 32 – рама перемішування; 51 – опорна конструкція; 52 – порожнина; 55 – напрямний паз; 56 – ковзуючий отвір; 57 – опорна основа; 61 – пластина; 64 – ковзуючий блок;

Рисунок 3.7 – Схема змішувача для виробництва та обробки високотемпературної фарби [15]

Принцип роботи заснований на комбінації механічного перемішування та інтелектуального контролю вивантаження. Ключовою особливістю апарата є вбудований контрольний механізм у вихідному отворі, який складається з розвантажувальної гирки, розділових елементів та приводу.

Під час процесу змішування розділові пластини повністю блокують вихідні отвори, запобігаючи передчасному потраплянню матеріалу в зону вивантаження. Коли змішування завершено, привод опускає пластини, відкриваючи канали для виходу готової фарби [15].

Додатково, регульовані скребки на мішалній рамці забезпечують ефективно очищення стінок від прилиплого матеріалу.

#### Переваги:

1. Висока якість змішування завдяки повній ізоляції робочої камери під час процесу, що запобігає втраті матеріалу та забезпечує його повне оброблення.
2. Покращена стабільність роботи мішалного вала за рахунок додаткової опори в нижній частині апарата, що зменшує вібрації та знос.;
3. Зручність обслуговування завдяки механізму підйому кришки з допомогою гідравлічного штока, що спрощує очищення та огляд внутрішньої порожнини.

#### Недоліки:

1. Складність виготовлення;
2. Потенційне засмічення рухомих елементів контрольного механізму;
3. Обмежена продуктивність при роботі з дуже в'язкими матеріалами, які можуть утруднювати роботу розділових пластин та повністю блокувати вихідні отвори.

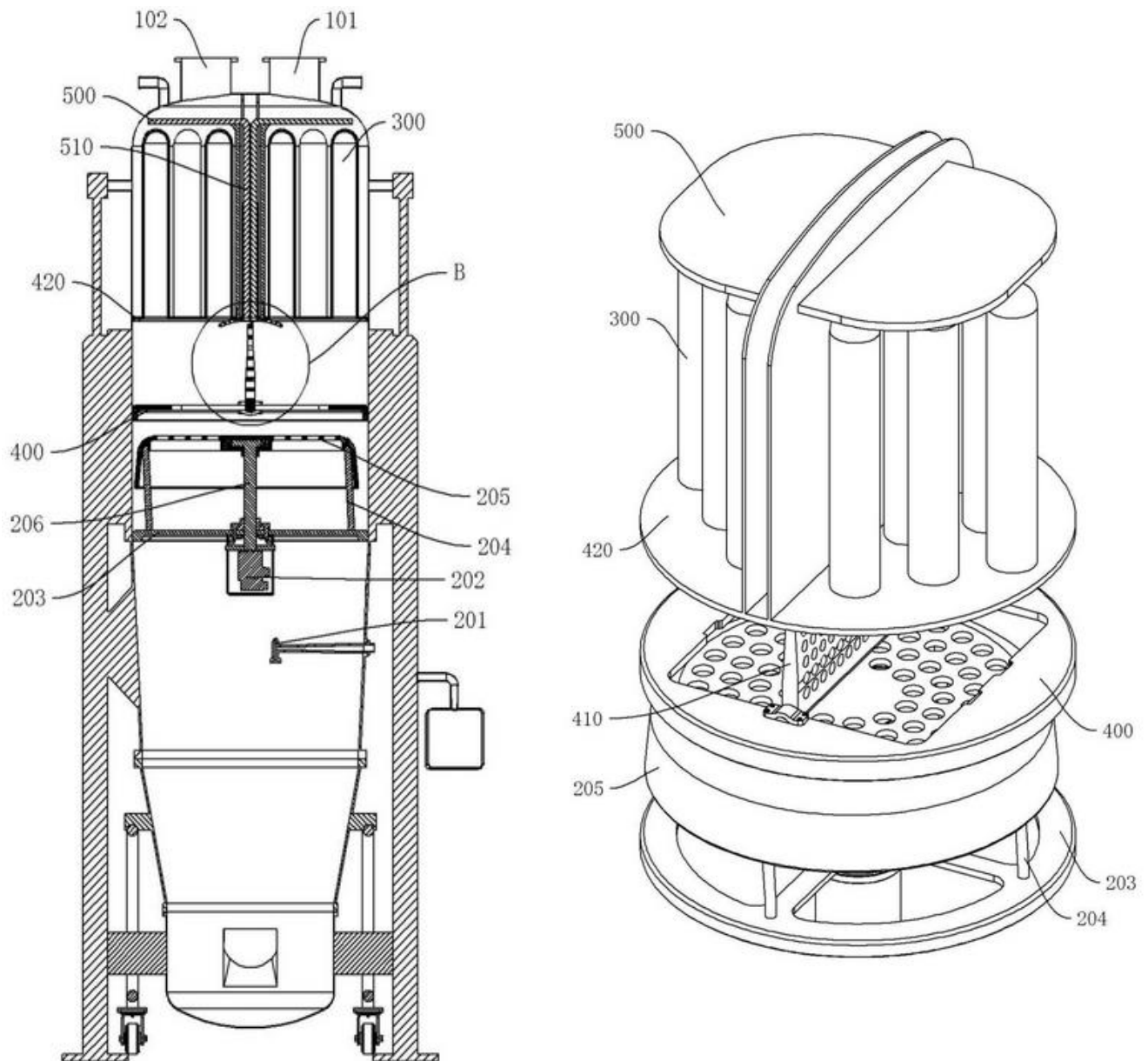
Патентне дослідження для розпилювальної сушарки.

Гранулятор сушіння з псевдозрідженим шаром [16].

Сушилку-гранулятор з псевдозрідженим шаром, призначена для одночасного виконання процесів сушіння та гранулювання порошкоподібних матеріалів. Вона знаходить застосування у фармацевтичній, хімічній та харчовій промисловості для отримання гранул з заданими характеристиками.

Особливістю роботи цієї установки є інтегрована система фільтрації та подрібнення, яка забезпечує стабільність технологічного процесу. Конструкція апарата включає сушильну камеру, розділену на фільтрувальний відсік та камеру киплячого шару. Ключовим технічним рішенням є двостороння фільтрувальна система з регульованими камерами, що дозволяє компенсувати нерівномірне засмічення

фільтр-тканин. Структурна схема гранулятора з псевдозрідженим шаром наведена на рисунку 3.8 [16].



101 – перший вихідний отвір для повітря; 102 – другий вихідний отвір для повітря; 201 – розпилювач; 202 – другий двигун; 203 – кріпильна рама; 204 – гумова колона; 205 – дробильний диск; 206 – ексцентриковий вал; 300 – фільтрувальний мішок; 400 – вентиляційна пластина; 410 – обертова пластина; 420 – з'єднувальна рама; 500 – притискна пластина; 510 – штовхач;

Рисунок 3.8 – Структурна схема гранулятора з псевдозрідженим шаром [16]

Механізм роботи ґрунтується на динамічному регулюванні газових потоків.

Під час роботи спеціальний регулюючий механізм автоматично змінює об'єм повітряних камер залежно від ступеня засмічення фільтрів, підтримуючи рівномірний тиск у камері киплячого шару. Це запобігає порушенню рівномірності кипіння матеріалу. У режимі очищення відбувається по чергове струшування фільтр-тканин з одночасним подрібненням відокремлених агломератів, що падають, перед їх поверненням у робочу зону.

Переваги:

1. Підвищення якості гранул через подрібнення великих агломератів, що утворюються на фільтрах під час очищення;
2. Рівномірний розподіл газового потоку через киплячий шар, що забезпечує стабільність режиму псевдозрідження;
3. Можливість проведення відновлення фільтрів без зупинки основного процесу сушіння-гранулювання.

Недоліки:

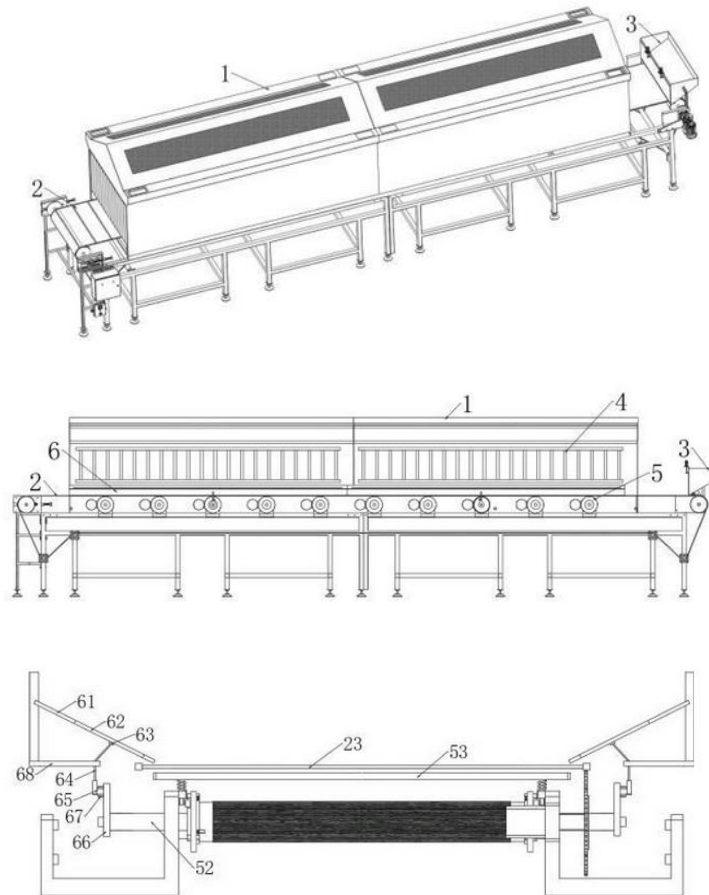
1. Значна технологічна складність конструкції, пов'язана з наявністю механізму регулювання, двох фільтрувальних блоків та подрібнювального пристрою;
2. Підвищені експлуатаційні витрати через споживання енергії приводами;
3. Необхідність регулярного технічного обслування через роботу апарату при високій температурі та забрудненні пилом.

Спосіб та пристрій для сушіння порошкоподібних китайських ліків [17].

Розглянута установка призначена для термічної обробки порошкоподібних матеріалів, зокрема лікарських рослинних екстрактів, з метою видалення надлишкової вологи.

Технологічний процес ґрунтується на поєднанні конвективного теплопереносу та механічної диспергації матеріалу. Конструкція включає стрічковий транспортер з секційними комірками, герметичну камеру з нагрівальними елементами та

систему імпульсного підйому матеріалу. Схема пристрою для сушіння порошкоподібних ліків зображена на рисунку 3.9 [17].



1 – корпус; 2 – передавальний пристрій; 3 – розвантажувальний механізм;  
 4 – нагрівач; 5 – металевий механізм; 6 – бічний екрануючий механізм; 23 – м'яка  
 тканина; 52 – обертовий вал; 53 – рама; 61 – похила рама; 62 – еластична тканина;  
 63 – горизонтальна планка; 64 – м'яка широка планка; 65 – Г-подібний блок;  
 66 – нерухомий блок; 67 – згинальний блок; 68 – горизонтальна пластина;

Рисунок 3.9 – Схема пристрою для сушіння порошкоподібних ліків [17]

Порошкоподібний матеріал рівномірно розподіляється на тканинних сегментах конвеєра через дозатор. Під час руху через прогрітий корпус спеціальні качаючі механізми періодично підкидають тканину разом з матеріалом, забезпечу-

ючи його диспергування в повітряному потоці. Це сприяє інтенсивному випаровуванню вологи та запобігає утворенню злипшень. Бічні екрани з еластичної тканини повертають розсіяні частинки назад на стрічку, зменшуючи втрати сировини [17].

Переваги:

1. Інтенсифікація процесу сушіння за рахунок збільшення площі контакту частинок з газовим потоком.
2. Рівномірність термообробки через періодичне перемішування матеріалу;
3. Універсальність застосування для різних видів порошкоподібних матеріалів.

Недоліки:

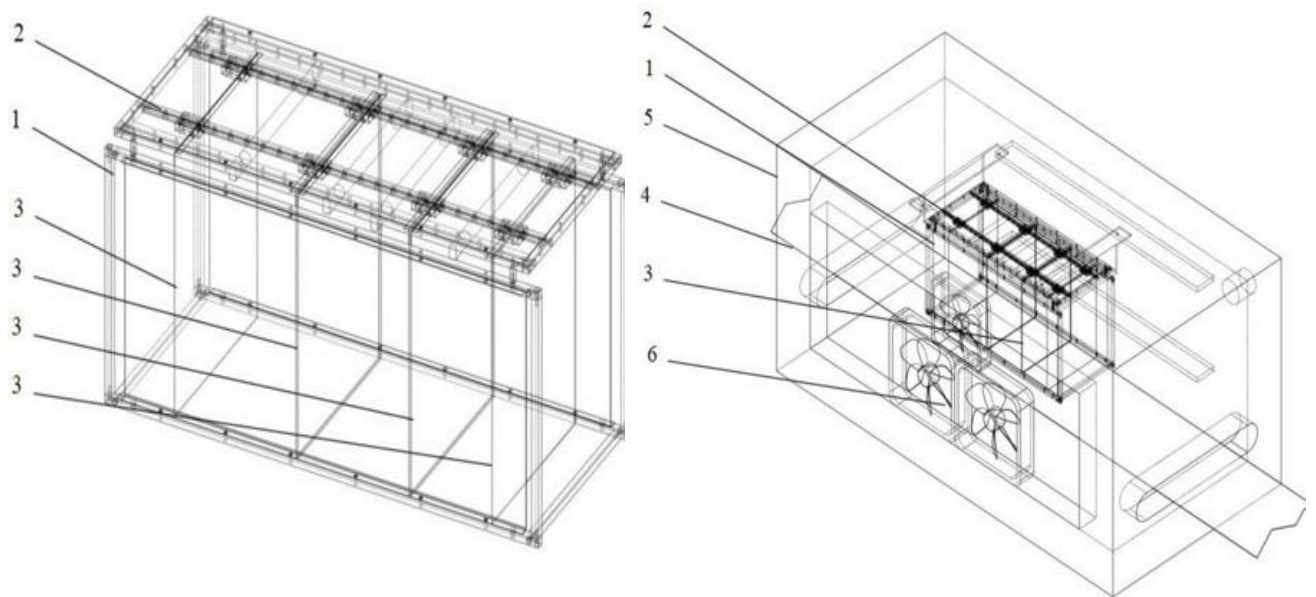
1. Обмеження продуктивності через циклічний характер процесу;
2. Високі питомі енерговитрати на одиницю продукції;
3. Ризик механічного пошкодження крихких частинок при багаторазовому підкиданні;

Пристрій, обладнання та метод сушіння полюсних наконечників [18].

Сушильна установка для обробки електродних стрічок у виробництві літєвих акумуляторів. Вона призначена для видалення розчинника з електродного покриття після нанесення активного шару на металевий струмоприймач. Схема пристрою для сушіння електродів зображена на рисунку 3.10.

Технологічний процес ґрунтується на багатоступінчастому сушінні з регульованими параметрами. Рухома система відбивних пластин дозволяє формувати кілька зон сушіння з різною інтенсивністю теплового впливу. Електродна стрічка транспортується через послідовно розташовані зони сушіння, де на неї діє інфрачервоне випромінювання заданої потужності. Відбивні пластини перенаправляють теплові потоки, забезпечуючи оптимальний розподіл температури по поверхні матеріалу [18].

Положення пластин регулюється автоматично відповідно до технологічних вимог конкретного типу електрода.



1 – корпус; 2 – перший розсувний вузол; 3 – відбивна пластина; 4 – полюсний наконечник; 5 – сушильна коробка; 6 – вентилятор;

Рисунок 3.10 – Схема пристрою для сушіння електродів [18]

#### Переваги:

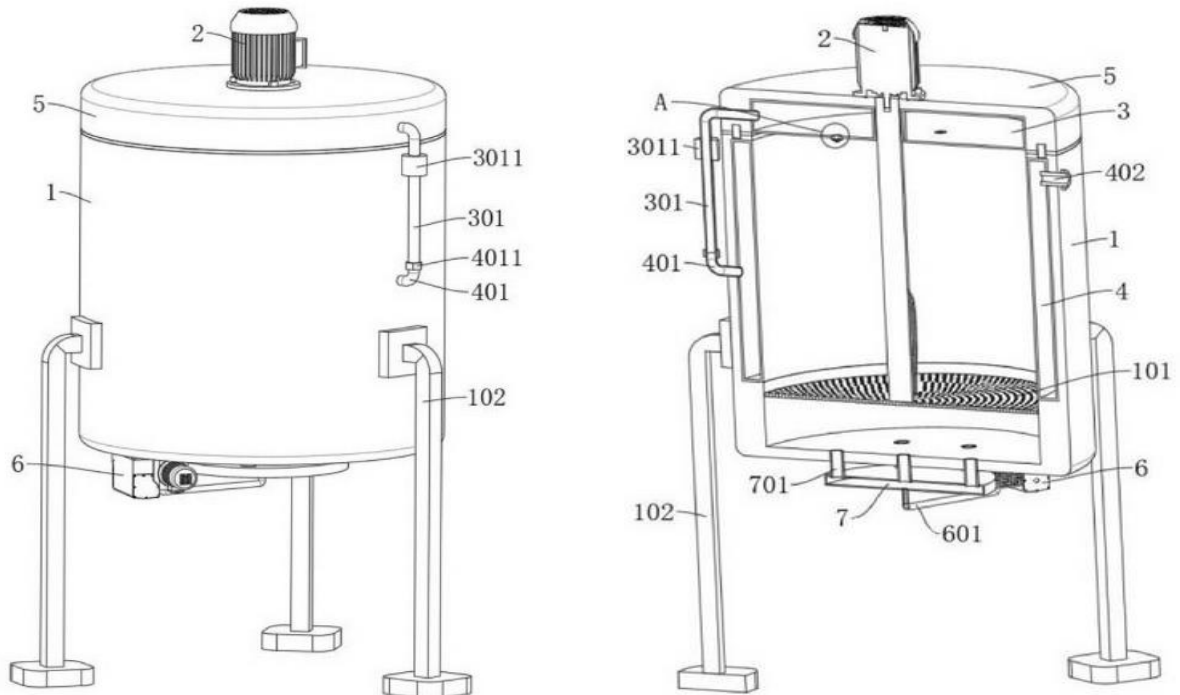
1. Зниження енергоспоживання завдяки оптимізації теплових режимів;
2. Адаптивність до різних типів електродних матеріалів та їх геометрії;
3. Можливість високого контролю температурних режимів для різних ділянок сушіння.

#### Недоліки:

1. Необхідність високої точності позиціонування рухомих компонентів;
2. Підвищені вимоги до обслуговування механічних частин через їхнє інтенсивне використання;
3. Механічна складність системи переміщення

Пристрій для сушіння з постійною температурою для виробництва екологічного біологічного пластифікатора [19].

Схема пристрою для сушіння з постійною температурою для виробництва екологічного біологічного пластифікатора зображена на рисунку 3.11.



1 – сушильний бак; 2 – двигун; 3 – емність для матеріалу; 4 – повітряна подушка; 5 – кришка баку; 6 – насос із постійною температурою гарячого повітря; 7 – повітроділяюча плита; 101 – сітчаста плита; 102 – опорна рама; 301 – порожнина; 401 – напрямний паз; 402 – ковзуючий отвір; 3011 – клапан тиску; 4011 – з'єднувальний вузол;

Рисунок 3.11 – Схема пристрою для сушіння з постійною температурою для виробництва екологічного біологічного пластифікатора [19]

Пристрій призначений для термічного сушіння матеріалу пластифікатора біологічного походження в процесі його виробництва. Основна сфера застосування – технологічні лінії виробництва будівельних хімічних добавок, зокрема екологічних пластифікаторів для бетонних сумішей, де необхідно забезпечити видалення вологи з гранульованого продукту з підвищеною липкістю. Схема пристрою

для сушіння з постійною температурою для виробництва екологічного біологічного пластифікатора Функціонування засноване на комбінації пневматичної сепарації, механічного подрібнення та конвективного тепломасообміну [19].

Основні компоненти включають: сушильну камеру з розташованою всередині перфорованою плитою; систему подачі термостабілізованого повітряного потоку через нижні розпилювальні сопла; обертовий вал з гнучкими елементами для дезінтеграції агломератів; еластичну оболонку на внутрішній поверхні камери з можливістю циклічного надування; допоміжну ємність з сорбційним матеріалом у верхній зоні апарата [19].

#### Переваги:

1. Ефективне подрібнення злипих грудоч матеріалу завдяки синхронній дії обертових гнучких шнурів та періодичного надування бортової повітряної подушки.;
2. Додаткове підсушування дрібних частинок у верхньому шарі шляхом використання теплоти, що виділяється при взаємодії пари з сорбентом;
3. Зменшення енерговитрат на подрібнення за рахунок попереднього аеродинамічного фракціонування матеріалу в потоці гарячого повітря.

#### Недоліки:

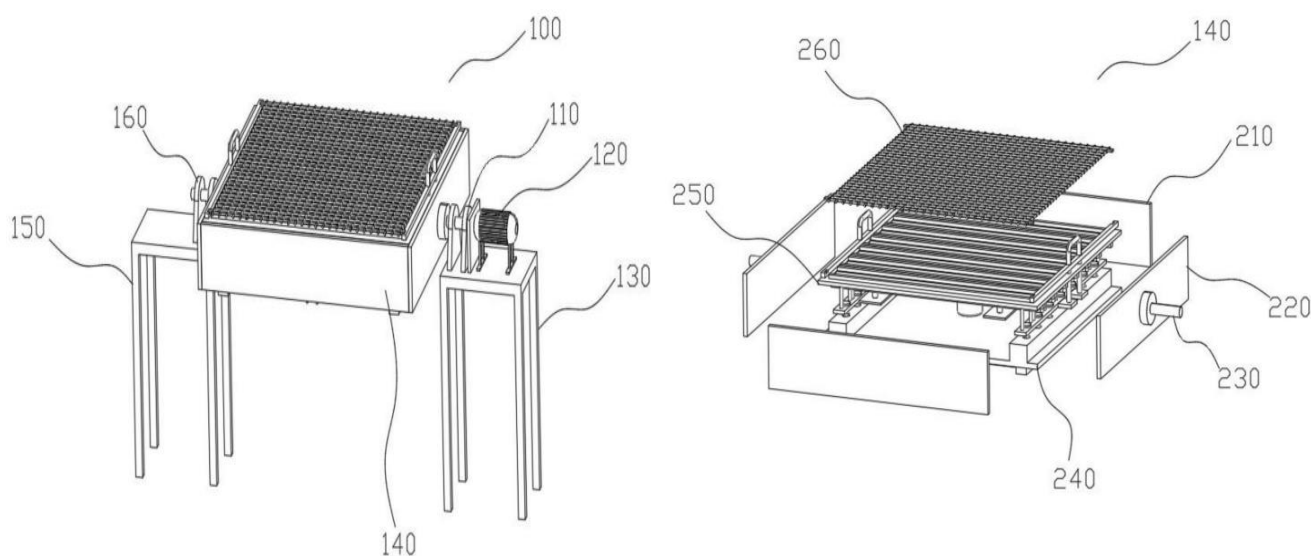
1. Високі експлуатаційні витрати;
2. Обмежена продуктивність для сировинних матеріалів з вологістю понад 40% через ризик вторинного злипання часток;
3. Можливість пошкодження крихких гранул при неправильному підборі швидкості обертання ударних елементів

Пристрій та спосіб сушіння для переробки китайських лікарських трав [20].

Пристрій призначений для рівномірного термічного сушіння нарізаних пластинчастих матеріалів, зокрема лікарських рослинних засобів, у процесі їх промислової переробки. Він забезпечує контрольоване перевертання продукту для усунення нерівномірного просушування. Сфера застосування охоплює фармацевтичні

та харчові виробництва, де необхідно обробляти пластівчасті матеріали з мінімальними механічними пошкодженнями [20].

Функціонування базується на механічному перевертанні пластів матеріалу шляхом локального підйому однієї зі сторін обмежувального паза. Ключові компоненти включають: модульну раму з верхньою та нижньою плитами; систему паралельних поздовжніх пазів з роздільними опорними елементами (нерухомим та рухомим), що формують робочі комірки; пневмогідрравлічний привід синхронного підйому рухомих опорних елементів; механізм регулювання кута нахилу робочої платформи; допоміжні захисні екрани та бічні огорожувальні пластини. Схема змішувача для виробництва та обробки високотемпературної фарби зображена на рисунку на рисунку 3.12 [20].



100 – корпус; 110 – перша опорна плита; 120 – електродвигун; 130 – перша опорна рама; 140 – монтажна основа; 150 – друга опорна рама; 160 – друга опорна плита; 210 – друга бічна з'єднувальна плита; 220 – перша бічна з'єднувальна плита; 230 – обертовий вал; 240 – нижня плита; 250 – верхня плита; 260 – сітчаста плита;

Рисунок 3.12 – Схема змішувача для виробництва та обробки високотемпературної фарби [20]

#### Переваги:

1. Синхронне перевертання всіх оброблюваних зразків за один технологічний цикл;
2. Мінімізація ручного втручання та усунення ризику пропуску окремих елементів при перевертанні;

Можливість адаптації кута нахилу робочої поверхні для оптимізації процесів сушіння та вивантаження

#### Недоліки:

1. Обмежена універсальність для матеріалів з нестандартною геометрією або високою крихкістю;
2. Складність конструкції механізму блокування у вивантажувальному положенні;
3. Залежність якості перевертання від точності позиціонування матеріалу в обмежувальних пазах.

#### Висновок:

Провівши патентне дослідження виявлено, що більшість сучасних конструкцій мають більш складну конструкцію і вирішують більше проблеми по продуктивності чи інтенсивності процесу по його рівномірності, це часто призводить до більших енерговитрат, складності виготовлення, складності експлуатації тощо.

Також сучасні апарати часто є для широкого застосування, що часто супроводжується допрацюванням під специфіку виробництва різними методами. Розроблені апарати мають перевагу саме через свою простоту і комплексне рішення проблем сушіння і перемішування аміносмол.

Конструктивна достатність під заданий процес і чітко адаптовані під специфіку виготовлення порошку аміносмол робить розпилювальну сушарку і турбінний перемішувач практично доцільними і економічно вигідними.

## 4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції

### 4.1 Параметричний розрахунок сушарки

Мета розрахунку: визначення об'єму, площі теплообміну та основних геометричних та конструктивних параметрів розпилювального сушильного пристрою апарата (рисунок 4.1).

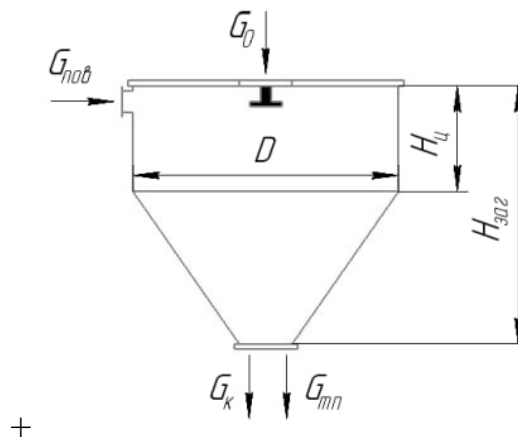


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема розпилювального сушильного пристрою

Вихідні дані:

Продуктивність сушарки по випареній волозі $W$ , кг/с	0,083
Початкова вологість розчин $W_0$ , %	1200
Кінцева вологість $W_k$ , %	6
Оптимальна температура теплоносія на вході в сушильну камеру $t_1$ , °С	170
Допустима температура теплоносія на вході в випарну ступінь $t_1^I$ , °С	250
Температура теплоносія на виході із сушильної камери $t_2$ , °С	150
Температура розчину на вході в сушильну камеру, °С	0,1

Алгоритм розрахунку беремо [21].

Матеріальний баланс

По вологості кіркоутворення визначаємо вологість на виході з випарної ступені, %:

$$W_2 = W_k + 50\% = 6 + 50 = 56$$

Кількість абсолютно сухого продукту в розчинні, кг/с:

$$G_{cn} = \frac{G \cdot 100}{W_0 + 100} = \frac{0,083 \cdot 100}{1200 + 100} = 6,384 \cdot 10^{-3}$$

Вага води, що міститься в кінцевому продукті, кг/с:

$$W_3 = \frac{W_k + G_{cn}}{100} = \frac{6 + 6,384 \cdot 10^{-3}}{100} = 0,0601$$

Продуктивність апарата по товарному продукту, кг/с:

$$W_{mn} = G_{cn} + W_3 = 6,384 \cdot 10^{-3} + 0,0601 = 66,447 \cdot 10^{-3}$$

Продуктивність випарної ступені по випаруваній волозі, кг/с:

$$W^I = \frac{(W_0 + W_2) \cdot G_{cn}}{100} = \frac{(1200 + 56) \cdot 6,384 \cdot 10^{-3}}{100} = 0,0801$$

Продуктивність сушильної ступені по випаруваній волозі, кг/с:

$$W^{II} = G - W^I = 0,083 - 0,0801 = 2,817 \cdot 10^{-3}$$

Продуктивність сушильної ступені по розчину, кг/с:

$$G^{II} = W^{II} + G_{cn} = 2,817 \cdot 10^{-3} + 6,384 \cdot 10^{-3} = 9,201 \cdot 10^{-3}$$

Визначення діаметру камери апарата

Для розподілення розчину на I та II ступені застосування відцентрового вискового розпилювача.

Характеристики пристрою:

Діаметр диска d, м	0,12
Число обертів дисків n, об/хв	15000
Кількість перегородок, шт	24
Висота перегородок, м	0,008

Середній діаметр краплі розпилення випарної степені для розпилювачів даного типу визначають за формулою Фрасера, мкм

$$\delta_0 = 6,9 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{1}{n}\right)^{0,6} \cdot \left(\frac{1}{\gamma}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{G \cdot \gamma \cdot \nu}{d}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{\sigma}{x}\right)^{0,1} =$$

$$= 6,9 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{1}{1800}\right)^{0,6} \cdot \left(\frac{1}{1029}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{0,056 \cdot 1029 \cdot 1,8 \cdot 10^{-6}}{0,12}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{75 \cdot 10^{-4}}{0,192}\right)^{0,1} = 10,6$$

де  $\sigma=75 \cdot 10^{-4}$  - поверхневий натяг розчину, кг/м;

$\nu=1,8 \cdot 10^{-4}$  - в'язкість, м<sup>2</sup>/с;

$\gamma=1029$  - густина розчину, кг/м<sup>3</sup>;

$x=24 \cdot 0,008=0,192$  - змочений діаметр диска, м

Радіус факела розпилення в випарній камері визначаємо за критеріальним рівнянням:

$$R_\phi = 0,33 \cdot \delta_0 \cdot S \cdot Re^{0,35} \cdot Gu^{-0,4} \cdot Ko^{-0,2}$$

Для вирішення цього рівняння необхідно визначити температуру теплоносія в камері. Температура теплоносія на вході в випарну степені  $t_1^I$  для термочутливих продуктів становить 150-250°C. В першому наближенні приймаємо  $t_1^I=200^\circ\text{C}$ . На виході з камери при вказаних умовах температура  $t_2^{II}$  близька до температури мокрого термометра і становить 44-50°C. Орієнтовно приймаємо  $t_2^{II}=46^\circ\text{C}$ .

Тоді, температура теплоносія °C

$$t_{cp} = \frac{t_1^I + t_2^{II}}{2} = \frac{200 + 46}{2} = 123$$

$$\Delta t_{cp} = t_{cp} - t_2^{II} = 123 - 46 = 77$$

Фізичні константи теплоносія - в'язкість газу  $\nu_r=25,8 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, його густина  $\gamma_r=0,892$  кг/м<sup>3</sup> і питома теплоємність  $c_r=0,241$  ккал/(кг град) визначенні по середній температурі газу.

Кутова швидкість диска  $\omega_0$  визначається за формулою, м/с:

$$u_0 = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,12 \cdot 15000}{60} = 94,248$$

Теплота пароутворення  $r$  і густина розчину визначаються за температурою розчину в камері та становлять:  $r=571$  ккал/кг,  $\gamma=1029$  кг/м<sup>3</sup>.

Визначаємо значення критеріїв, що враховуються при розрахунку радіуса факела:

Симплекс густини

$$S = \frac{\gamma}{\gamma_r} = \frac{1029}{0,892} = 1,154 \cdot 10^3$$

Критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{u_0 \delta_0}{\nu_r} = \frac{94,248 \cdot 10,6 \cdot 10^{-6}}{25,8 \cdot 10^{-6}} = 108,68$$

Критерій Гухмана

$$Gu = \frac{\Delta t_{cp}}{T} = \frac{77}{273+200} = 0,163$$

Критерій Коссовича

$$Ko = \frac{(273+t_{cp})C_r}{W_0 \cdot r} = \frac{(273+123) \cdot 0,241}{1400 \cdot 571} = 1,194 \cdot 10^{-4}$$

Підставивши отриманні значення критеріїв в рівняння радіуса факела, м:

$$R_\phi = 0,33 \cdot 10,657 \cdot 10^{-6} \cdot 1,154 \cdot 10^3 \cdot 108,68^{0,35} \cdot 0,163^{-0,4} \cdot (1,194 \cdot 10^{-4})^{-0,2} = 0,736$$

Для позначення надійного зрошення факелом розпилення стінок випарної камери, як встановлено нашими дослідями, діаметр випарної камери варто приймати рівним  $1,2-1,6R_\phi$ , м:

$$D = 1,5 \cdot R_\phi = 1,5 \cdot 0,736 = 1,103$$

Приймаємо  $D=1,1$  м.

Середній діаметр краплі розпилення в сушильній камері визначається за формулою Фрасера, м:

$$\delta_0 = 6,9 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{1}{n}\right)^{0,6} \cdot \left(\frac{1}{\gamma}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{G \cdot \gamma \cdot \nu}{d}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{\sigma}{X}\right)^{0,1} =$$

$$=6,9 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{1}{15000}\right)^{0,6} \cdot \left(\frac{1}{1029}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{0,083 \cdot 1029 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4}}{0,12}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{75 \cdot 10^{-4}}{0,192}\right)^{0,1} = 2,975 \cdot 10^{-5}$$

де (вологість  $W^{II}=2,817 \cdot 10^{-3}\%$  і температура  $t_2^{II}=46^\circ\text{C}$ )

$\sigma=71,7 \cdot 10^{-4}$  - поверхневий натяг розчину, кг/м;

$\nu=1,8 \cdot 10^{-4}$  - в'язкість, м<sup>2</sup>/с;

$\gamma=1029$  - густина розчину, кг/м<sup>3</sup>;

$x=0,12$  - змочений діаметр диска, м

Радіус факела сушильної ступені:

$$R_{\text{ф}}=0,33 \cdot \delta^{II} \cdot S^{II} \cdot (\text{Re}^{II})^{0,35} \cdot (\text{Gu}^{II})^{-0,4} \cdot (\text{Ko}^{II})^{-0,2}$$

По вихідним даним температура теплоносія на вході в сушильну ступінь дорівнює  $t_1^I=170^\circ\text{C}$ , на виході  $t_2^I=105^\circ\text{C}$ . Тоді,  $^\circ\text{C}$ :

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_1^I + t_2^I}{2} = \frac{170 + 105}{2} = 137,5$$

Середньоарифметична різниця температур в сушильній ступені визначається за формулою,  $^\circ\text{C}$ :

$$\Delta t_{\text{cp}}^{II} = \frac{(t_1^{II} - t_M^{II}) - (t_2^{II} - t_M^{II})}{2,3 \cdot \lg \frac{t_1^{II} - t_M^{II}}{t_2^{II} - t_M^{II}}} = \frac{(170 - 45) - (105 - 45)}{2,3 \cdot \lg \frac{170 - 45}{105 - 45}} = 88,659$$

де  $t_M^{II}$  - визначається за  $d_0^{II}$  і  $t_1^I$  з I – d - діаграми,  $t_M^{II}=45^\circ\text{C}$ .

За  $\Delta t_{\text{cp}}^{II}$  визначаємо фізичні константи теплоносія:

$c_r=0,241$  ккал/(кг град);

$\nu_r^{II}=1,45 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с;

$\gamma_r=0,892$  кг/м<sup>3</sup>

Теплоту пароутворення розчину знаходимо  $t_M^{II}=45^\circ\text{C}$

$r^{II}=572$  ккал/кг

Підставивши отриманні значення критеріїв в рівняння радіуса факела, маємо

Симплекс густини

$$S^{II} = \frac{\gamma}{\gamma_r^{II}} = \frac{1029}{1,12} = 918,75;$$

Критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{u_0 \delta^{II}}{\nu_r^{II}} = \frac{11,3 \cdot 10,657 \cdot 10^{-6}}{1,45 \cdot 10^{-6}} = 83,051;$$

Критерій Гухмана

$$Gu = \frac{\Delta t_{cp}^{II}}{T} = \frac{88,659}{273+200} = 0,187$$

Критерій Коссовича

$$Ko = \frac{(273+t_{cp})_0^{II} c_r}{W_0^{II} \cdot r^{II}} = \frac{(273+88,659) \cdot 0,241}{1400 \cdot 572} = 1,088 \cdot 10^{-4}$$

Підставивши отриманні значення критеріїв в рівняння радіуса факела, маємо

$$R_\phi = 0,33 \cdot 10,657 \cdot 10^{-6} \cdot 918,75 \cdot 83,051^{0,35} \cdot 0,187^{-0,4} \cdot (1,088 \cdot 10^{-4})^{-0,2} = 0,184 \text{ м}$$

За результатами розрахунків, діаметр сушильної камери апарата варто визначити із співвідношення:

$$D^{II} = 3,5 \cdot R_\phi = 3,5 \cdot 0,184 = 1,012$$

Приймаємо  $D^{II} = D_k = 1,1 \text{ м}$ .

Визначення втрат теплоти в навколишнє середовище

Втрати теплоти в навколишнє середовище через стінки випарної і сушильної камер апарата знаходимо за методикою, приймаючи висоту випарної та сушильної камер, що прирівнюється в першому наближенні до діаметру камери.

В результаті розрахунку знаходимо величину втрати теплоти на 1 кг випареної вологи в випарній камері  $q_5^I = 12,5 \text{ ккал/кг}$  і в сушильній камері  $q_5^{II} = 64 \text{ ккал/кг}$ .

Графоаналітичний метод розрахунку сушильної ступеня апарата

Для побудови дійсного процесу сушіння в  $I - d$  діаграмі потрібно визначити витрати 1 кг теплоти випареної вологи рисунок 4.2.

$$\Delta^{II} = Q_1^{II} + q_m^{II} + q_5^{II}$$

де  $Q_1^{II}$  - теплота, що внесена з розчином, який надходить на розпилювач другої ступені, приймається рівним температурі мокрого термометра випарної ступені, так як теплоємність розчину дорівнює одиниці, ккал/кг:

$$Q_1^{II} = t_m^I \cdot c = 45 \cdot 0,24 = 10,8$$

$q_m^{II}$  - витрата теплоти на нагрівання продукту, ккал/кг;

$$q_m^{II} = \frac{G_{mn} c_m (t_2^{II} - t_m^I)}{W^{II}} = \frac{3,704 \cdot 10^{-3} \cdot 0,33 \cdot (105 - 45)}{3,519 \cdot 10^{-3}} = 20,842$$

$c_m = 0,33$  – теплоємність висушеного матеріалу, ккал/(кг град);

$q_5^{II} = 64$  – втрати теплоти в навколишнє середовище через стінку камери, ккал/кг;

$$\Delta^{II} = Q_1^{II} + q_m^{II} + q_5^{II} = 10,794 + 20,842 + 64 = -74,049$$

Побудова процесів сушильної ступені на  $I - d$  діаграмі виконується від точки  $A_0$  (стан зовнішнього повітря при  $t_0 = 20^\circ C$  і  $\phi_0 = 70\%$ ). З точки  $A_0$  проводимо вертикаль до перетину з ізотермою  $t_1 = 170^\circ C$  і отримуємо точку  $B^{II}$  (стан повітря на вході в сушильну камеру). Лінія  $A_0 B^{II}$  – процес нагрівання повітря в калорифері. Будуємо лінію теоретичного процесу сушіння, проводимо з точки  $B^{II}$  пряму, паралельну  $I = const$  до перетину з ізотермою  $t_2^{II} = 105^\circ C$ , що характеризує закінчення сушіння (точка  $C_T$ ).  $B^{II} C_T^{II}$  - лінія теоретичного процесу сушіння (рисунок 4.2).

Далі будуємо лінію дійсного процесу, яка має пройти через точки  $B^{II}$  і  $E^{II}$ . Положення допоміжної точки  $E^{II}$  визначаємо побудовою. Для цього на лінії теоретичного процесу вибираємо довільно точку  $e$ , з якої опускаємо перпендикуляр на лінію  $A^{II} B^{II}$  в точку  $n$ . Знаючи величину  $\Delta = -74,049$  ккал на 1 кг ваги, а також масштаб діаграми, можна знайти величину відрізка  $e E^{II}$ , м:

$$e E^{II} = e_n \frac{\Delta}{T} = 114 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{-74,049}{500} = -0,017$$

Знак мінус означає, що  $e E^{II}$  варто відкласти вниз від точки  $e$ .

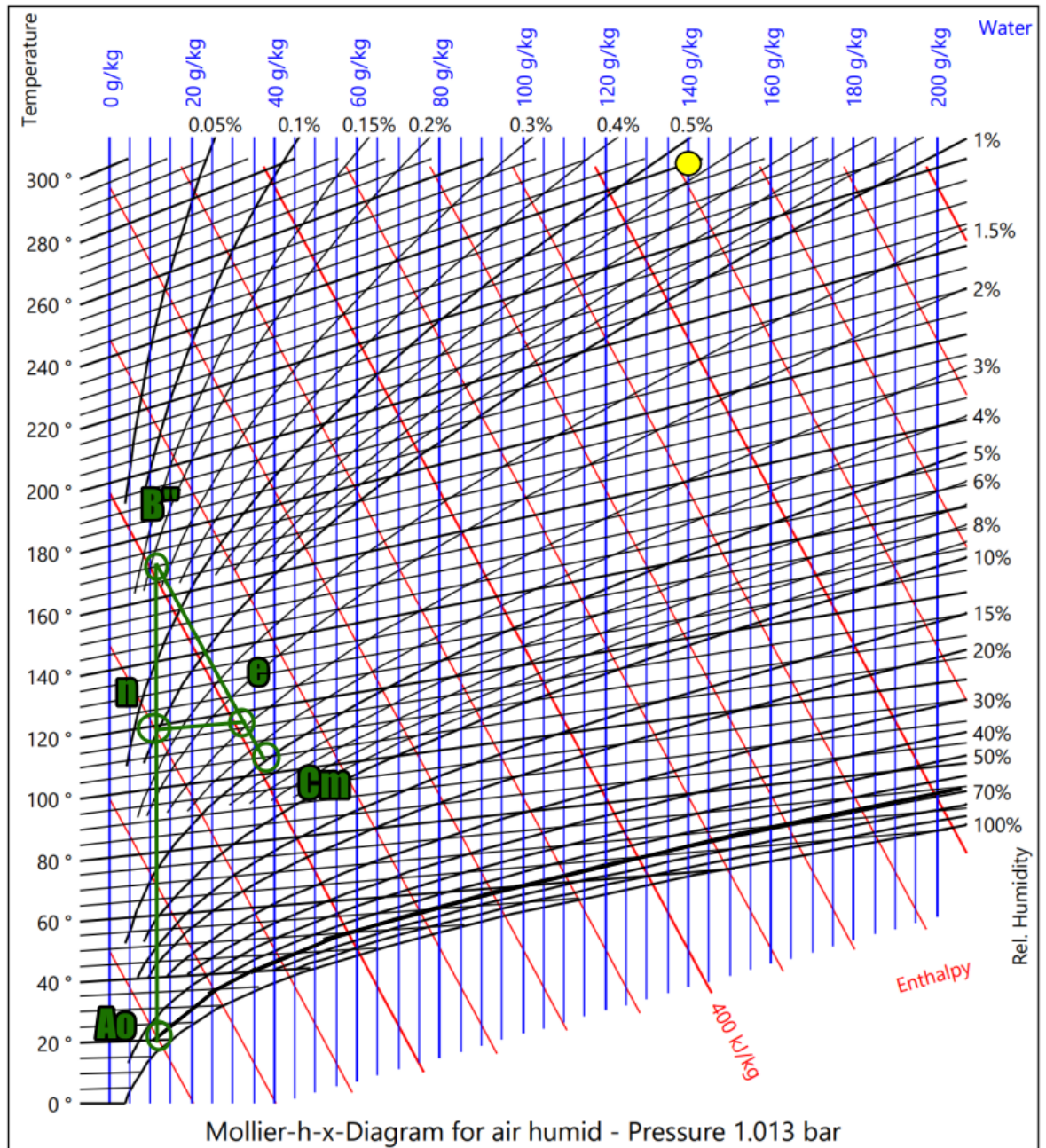


Рисунок 4.2 – Побудова випарно-сушильного процесу в  $I - d$  діаграмі [22]

Тут  $e_p = 114$  мм (для обраної нами точки C);

$$m = \frac{M_I}{M_d} \cdot 1000 = \frac{0,1}{0,2} \cdot 1000 = 500$$

$M_I$  і  $M_d$  – масштаб  $I - d$  діаграми відповідно до  $I$  і  $d$ .

Проводимо лінію дійсного процесу до перетину з ізотермою  $t_2^{II} = 105^\circ\text{C}$  в точці  $C^{II}$ .  $B^{II}C^{II}$  – лінія діючого процесу. По  $I - d$  діаграмі  $d_2^{II} = 10$  г/кг.

Визначаємо графічно питому витрату повітря і тепла на сушіння, кг/кг:

$$l^{II} = \frac{1000}{d_2 - d_0} = \frac{1000}{71 - 10} = 16,393$$

$$D^{II} C^{II} = 119 \text{ мм (виміряні по } I - d \text{ діаграмі).}$$

Витрата повітря на секунду кг/с:

$$L^{II} = W^{II} \cdot l^{II} = 3,519 \cdot 10^{-3} \cdot 16,393 = 0,058$$

**Графоаналітичний метод розрахунку випарної степені апарату.** Побудова процесу сушіння в випарній степені виконуємо від точки  $C^I$ , яка визначається на  $I - d$  діаграмі за температурою теплоносія на виході з випарної степені  $t_2^I = 45^\circ\text{C}$  і його відносну вологість  $\varphi_2 = 85\%$  при  $d_2^I = 33$  г/кг.

Маючи значення кінцевого вологовмісту теплоносія в випарній степені, визначається, яку частину вологи, що видаляється з сушильної камери відпрацьований теплоносій сушильної степені, кг/с:

$$W_2^I = \frac{L^{II} (d_2^I - d_2^{II})}{1000} = \frac{0,058 \cdot (71 - 33)}{1000} = 2,192 \cdot 10^{-3}$$

Кількість вологи, що повинна випаровуватись в випарній камері додатково вводимо теплоносій, складе кг/с:

$$W_1^I = W^I - W_2^I = 0,081 - 2,192 \cdot 10^{-3} = 0,078$$

Питома витрата цього теплоносія:

$$l^I = \frac{1000}{d_2 - d_0} = \frac{1000}{71 - 10} = 16,393$$

Загальна витрата повітря, додатково вводимо в випарну камеру, складає, кг/с:

$$L^I = W^I \cdot l^I = 0,081 \cdot 16,393 = 1,32$$

Як і для визначення потрібної початкової температури теплоносія виконуємо побудову випарного процесу на  $I - d$  діаграмі. Як і для сушильної степені, визначаємо витрати тепла на 1 кг випареної вологи, ккал/кг:

$$\Delta^I = Q_1^I + q_m^I + q_5^I = 44,82 + 0,911 + 12,5 = 58,231$$

Де  $q_5^I = 12,5$  ккал/кг

$$Q_1^{II} = t_p \cdot c_g = 45 \cdot 0,241 = 10,845$$

$$q_m^I = \frac{G_{mn} c_M (t_2^{II} - t_M^I)}{W^I} = \frac{3,704 \cdot 10^{-3} \cdot 0,33 \cdot (105-45)}{0,081} = 0,911$$

$$\Delta^{II} = Q_1^{II} + q_m^I + q_5^I = 44,828 + 0,911 + 12,5 = 58,23$$

**Визначення об'єму сушильної камери.** Об'єм сушильної камери визначається за інтенсивністю тепло-масообміну в камері, що описують критеріальними рівняннями теплообміну

$$Nu_V = 160 K_G Ar^{0,2} Re^{-0,4}$$

$Nu_V$  - критерій теплообміну в об'ємі камери,

$$Nu_V = \frac{\alpha_V \delta^2}{\lambda}$$

$K_G$  - критерій заповнення камери факелом розпилення розчину;

$$K_G = \frac{G \mu_\phi}{S \gamma_p u} = \frac{0,056 \cdot 0,525}{0,864 \cdot 0,892 \cdot 94,248} = 4,054 \cdot 10^{-4}$$

де  $S$  - площа перерізу камери, м<sup>2</sup>

$$S = \frac{\pi D_k}{4} = \frac{\pi \cdot 1,1}{4} = 0,864$$

$\mu_\phi$  - коефіцієнт заповнення перерізу камери факелом,

$$\mu_\phi = \frac{R_\phi}{R_k} = \frac{0,184}{0,35} = 0,563$$

$Ar$  - критерій Архімеда,

$$Ar = \frac{g \delta_0^3 (\gamma_p - \gamma_\Gamma)}{\gamma_p \nu_\Gamma^2} = \frac{9,81 \cdot 10,657 \cdot 10^{-6} (1,029 - 1,12) \cdot 10^3}{1,029 \cdot 10^3 \cdot 1,696 \cdot 10^{-5}} = 4,123 \cdot 10^{-5}$$

$Re$  - критерій Рейнольдса, що характеризує гідродинаміку руху розпилених краплин в камері,

$$Re = \frac{u_\Gamma \delta_0}{\nu_\Gamma} = \frac{94,248 \cdot 1,066 \cdot 10^{-5}}{0,075} = 0,013$$

$u_\Gamma$  - швидкість газу по перерізу камери, м/с

$$u_\Gamma = \frac{L_2^{II} V_{пит}}{S} = \frac{0,058 \cdot 1,12}{0,864} = 0,075$$

Підставляємо в формулу значення отриманих критеріїв:

$$Nu_V = 160 \cdot 4,054 \cdot 10^{-7} \cdot 0,58^{0,2} \cdot 0,013 = 7,808 \cdot 10^{-4},$$

Звідки

$$\alpha_V = \frac{Nu_V \lambda}{\delta_0^2} = \frac{7,808 \cdot 10^{-4} \cdot 2,97 \cdot 10^{-2}}{10,066 \cdot 10^{-5}} = 2,176$$

де  $\lambda = 2,97 \cdot 10^{-2}$  - теплоота газу при  $t_{cp} = 137,5^\circ\text{C}$ ;

Об'єм сушильної камери визначається з залежності  $\text{см}^3$ :

$$V_K = \frac{Q_r}{\alpha_V t_{cp}} \cdot \frac{4190}{3600} = \frac{0,268 \cdot 4190}{2,176 \cdot 137,5 \cdot 3600} = 1,041 \cdot 10^3$$

де  $Q_r$  - по годинна витрата теплоти на випаровування вологи і підігрівання матеріалів в сушильній степені.

$$Q_r = W^{II} (595 + 0,47 \cdot t_2^{II} - \theta_1^{II}) + c_T G_{cp} (t_2^{II} - \theta_1^{II}) = \\ = 3,519 \cdot 10^{-3} (595 + 0,47 \cdot 105 - 45) + 0,33 \cdot 6,41 \cdot 10^{-3} (105 - 45) = 0,268$$

Тут  $t_2^{II} = 105^\circ\text{C}$  - температура теплоносія на виході з камери,

$\theta_1^{II} = 45^\circ\text{C}$  - температура розчину, що надходить на розпилення,

$c_T = 0,33$  - теплоємність сухого продукту;

Оскільки середньоарифметична різниця температур розчину  $\Delta t_{cp}^{II} = 88,659^\circ\text{C}$ , то  $V_K^{II} = 1,989 \cdot 10^3 \text{ см}^3$ .

Прийнявши висоту циліндричної частини рівну 1/3 загальної висоти камери, складаємо рівняння

$$V_K = \frac{0,785 D_K H}{3} + \frac{1}{3} \cdot 0,785 D_K^2 \cdot \frac{2}{3} H$$

Звідки, м:

$$H = \frac{V_K}{\frac{0,785}{3} \cdot D_K + \frac{1}{3} \cdot 0,785 D_K^2 \cdot \frac{2}{3}} = \frac{1,989}{\frac{0,785}{3} \cdot 1,1^2 + \frac{1}{3} \cdot 0,785 \cdot 1,1^2} = 3,769$$

Висота циліндричної частини, м:

$$H_{ц} = \frac{1}{3} H = \frac{1}{3} \cdot 3,769 = 1,256$$

**Визначення об'єму випарної камери.** Визначимо уточнений радіус факела в випарній камері з урахуванням отриманої температури теплоносія на вході в камеру.

Початкову температуру суміші теплоносія випарної ступені зворотного теплоносія сушильної суспензії визначаємо за співвідношенням, °С:

$$t_{\text{см}}^I = \frac{L^I t_1^I + L^{II} t_2^{II}}{L^I + L^{II}} = \frac{1.32 \cdot 250 + 0,058 \cdot 46}{1.32 + 0,058} = 241,457$$

Коли середня різниця температур між теплоносієм і розчином може бути визначена за формулою, °С

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{W^I r}{2.3(L^I + L^{II})c \cdot \lg \frac{t_{\text{см}} - t_M}{(L^I + L^{II})c - t_{\text{см}}}} =$$

$$= \frac{0,081 \cdot 571}{2,3(0.132 + 0,058) \cdot 0,996 \cdot \lg \frac{241,457 - 45}{(1.32 - 0,058) \cdot 0,996}} = - 0.196$$

Середня температура теплоносія в камері складає, °С:

$$\Delta t_{\text{ср}}^I = t_M + \Delta t_{\text{ср}} = 45 + 77 = 122$$

Фізичні константи теплоносія в камері:

$$c_M = 0,241 \text{ ккал/(кг град) ,}$$

$$\nu_T = 21,59 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\gamma_T = 986 \text{ кг/м}^2 .$$

Уточнений радіус факела в випарній камері

$$R_{\phi} = 0,33 \cdot \delta^{II} \cdot S^{II} \cdot (\text{Re}^{II})^{0,35} \cdot (\text{Gu}^{II})^{-0,4} \cdot (\text{Ko}^{II})^{-0,2}$$

а оскільки:

Симплекс густини

$$S = \frac{\gamma}{\gamma_T} = \frac{1029}{986} = 1044$$

Критерій Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{u_0 \delta_0}{\nu_T} = \frac{11,3 \cdot 1,66 \cdot 10^{-5}}{2,159 \cdot 10^{-5}} = 5,578$$

Критерій Гухмана

$$Gu = \frac{\Delta t_{cp}}{T} = \frac{-0.196}{473} = -4,142 \cdot 10^{-4}$$

Критерій Коссовича

$$Ko = \frac{(273+t_{CM}^I)c_r}{W_0 \cdot r} = \frac{(273+241,457) \cdot 0,241}{1400 \cdot 571} = 1,551 \cdot 10^{-4}$$

Підставивши отриманні значення критеріїв в рівняння радіуса факела, маємо, м:

$$R_\phi = 0,33 \cdot 1,066 \cdot 10^{-5} \cdot 1,044 \cdot 5,578^{0,35} \cdot (-4,142 \cdot 10^{-5})^{-0,4} \cdot (1,551 \cdot 10^{-4})^{-0,2} = 1,543$$

Висновки: визначено розміри апарата

#### 4.2 Параметричний розрахунок мішалки

Мета розрахунку – визначити основні розміри та тип перемішувального апарата та мішалки (рисунок 4.3).

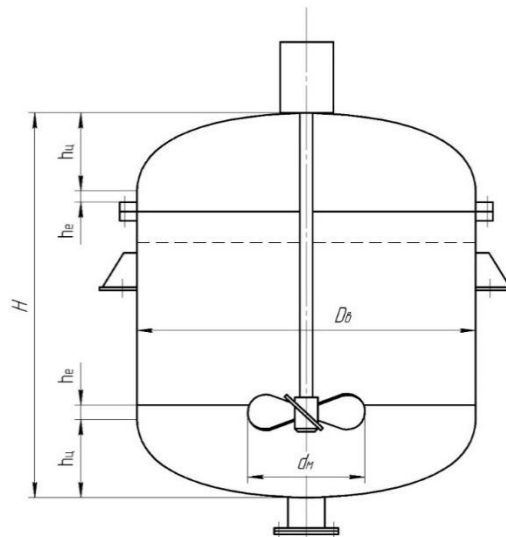


Рисунок 4.3 – Схема перемішувального апарата

Вхідні дані:

Задана продуктивність по сировині  $G$ , кг/с

$50,231 \cdot 10^{-3}$ ;

концентрація твердої сировини, % 7,7;

час перемішування  $\tau_{роб}$ , хв 15;

Алгоритм розрахунку беремо [23]

Визначимо необхідну ємність апарату періодичної дії, за формулою продуктивності апарату,  $\text{м}^3/\text{с}$ :

$$G_{Vc} = \varphi_{зап} \cdot \frac{V_a}{T_{роб}} \quad (4.1)$$

де  $\varphi_{зап} = 0,8$  – коефіцієнт заповнення;

$V_a$  – об'єм апарата,  $\text{м}^3$ ;

$T_{роб}$  – час робочого циклу, знаходимо за формулою:

$$T_{роб} = \tau_{роб} + \tau_{дод} = 15 + 10 = 30 \text{ хв} = 1500 \text{ с}$$

де  $\tau_{роб}$  – час перемішування;  $\tau_{дод}$  – додатковий час процесу (завантаження, вивантаження, чистка, тощо).

Виражаємо об'єм апарата з (1),  $\text{м}^3$ :

$$V_a = \frac{G_{Vc} \cdot T_{роб}}{\varphi_{зап}} \quad (4.2)$$

де  $G_{Vc}$  – об'ємна продуктивність суспензії, що виготовляється,  $\text{м}^3/\text{с}$ :

$$G_{Vc} = G_{V.т} + G_{V.р} \quad (4.3)$$

де  $G_{V.т}$  – об'ємна продуктивність по твердій частині,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$$G_{V.т} = \frac{G}{\rho_t} = \frac{50,231 \cdot 10^{-3}}{1450} = 0,346 \cdot 10^{-4}$$

$G_{V.р}$  – об'ємна продуктивність по рідкій частині,  $\text{м}^3/\text{с}$ :

$$G_{V.р} = \frac{G_p}{\rho_p} = \frac{\frac{1 - \bar{X}}{\bar{X}} \cdot G}{\rho_p} = \frac{1 - 0,077}{0,077} \cdot 3}{1029} = 5,85 \cdot 10^{-4}$$

де  $G_p$  – масова витрата рідини, береться пропорційно заданої концентрації;

$\bar{X} = 0,077$  концентрація твердої частини;

$\rho_p = 1029 \text{ кг}/\text{м}^3$  – густина рідкої частини суміші;

$\rho_T = 1450 \text{ кг/м}^3$  - густина твердої частини суміші, при розрахунку береться середнє значення густини речовин, які доцільно переробляти наведеною установкою. Маємо  $\text{м}^3/\text{с}$ :

$$G_c = 0,346 \cdot 10^{-4} + 5,85 \cdot 10^{-4} = 6,198 \cdot 10^{-4}$$

Підставляючи отримані значення у (5.2) маємо,  $\text{м}^3$ :

$$V_a = \frac{6,198 \cdot 10^{-4} \cdot 1500}{0,8} = 1,162$$

Згідно ГОСТ 20680-86 «Апарати з механічними перемішувальними пристроями вертикальні» обираємо апарат типу 0 з еліптичним днищем та знімною еліптичною кришкою (рисунок 1.4) [22].

Згідно до розрахованого об'єму приймаємо апарат номінальним об'ємом  $1.25 \text{ м}^3$ , внутрішній діаметр апарата  $D_b = 1000 \text{ мм}$ , висота апарата  $H = 1750 \text{ мм}$ .

За ГОСТ 6533-78 «Днища еліптичні відбортовані сталеві для апаратів та котлів» визначаємо інші конструктивні параметри днища апарату.

Внутрішній діаметр  $D_b = 1000 \text{ мм}$ , висота циліндричної частини  $h_{ц} = 25 \text{ мм}$ , висота еліптичної частини  $h_{е} = 250 \text{ мм}$ ; об'єм  $V_{дн} = 0,1499 \text{ м}^3$ .

Висновок:

За результатами розрахунків було обрано апарат з номінальною ємністю  $1.25 \text{ м}^3$ , внутрішнім діаметром  $D_b = 1000 \text{ мм}$ , висотою  $H = 1750 \text{ мм}$ , діаметр мішалки  $d_m = 250 \text{ мм}$ .

### 4.3 Розрахунок перемішувального пристрою

Метою розрахунку є визначення параметрів перемішувального пристрою таких як: глибина вирви рідини, потужність та тип приводу [24].

Вхідні дані з попередніх розрахунків:

діаметр турбінної мішалки $d_m$ , м	0,25;
висота рідини в апараті $H_p$ , м	1,4;
частота обертання мішалки $n$ , об/с	2,268;

відцентрований критерій Рейнольдса  $Re_{\text{ц}}$

7198,72;

симплекс геометричної подібності діаметра апарата  $\Gamma_D$

4;

Розрахункова схема перемішувального пристрою наведена на рисунку 4.4.

При перемішуванні в апаратах без відбивних перегородок необхідно, щоб глибина воронки при обраній частоті не досягала маточини перемішувального пристрою.

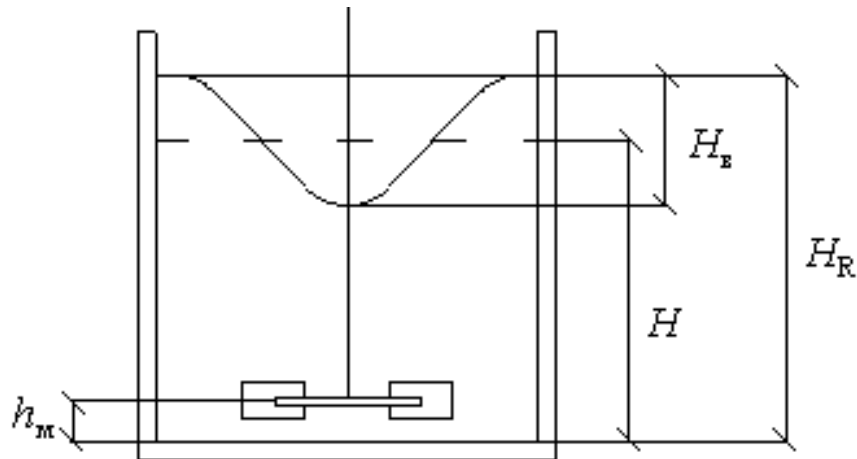


Рисунок 4.4 – Розрахункова схема перемішувального пристрою [24]

Глибину воронки для турбінного перемішувального пристрою визначають за рівнянням [24]:

$$\Gamma_{h_b} = 0,31 \cdot Re_{\text{ц}}^{0,26} \cdot Fr_{\text{ц}}^{0,69} \cdot \Gamma_D^{-0,51} \cdot \Gamma_{h_m}^{0,15} \quad (5.4)$$

де  $Fr_{\text{ц}}$  – критерій Фруда, визначається за формулою:

$$Fr_{\text{ц}} = \frac{n^2 \cdot d_m}{g} = \frac{2,268^2 \cdot 0,25}{9,81} = 0,131;$$

$\Gamma_{h_m}$  – симплекс висоти встановлювання мішалки визначаються за формулою:

$$\Gamma_{h_m} = \frac{h_m}{d_m} = \frac{0,25}{0,25} = 1$$

де  $h_m$  - висота розміщення мішалки від днища апарата, приймаємо рівній діаметру мішалки.

Підставляючи значення у (5.4) отримаємо, м:

$$\Gamma_{h_B} = 0,31 \cdot (7198,715)^{0,69} \cdot 0,131^{0,69} \cdot 4^{-0,51} \cdot 1^{0,15} = 0,379$$

Відстань від глибини воронки до маточини мішалки, м:

$$H_p - h_m - \Gamma_{h_B} = 1,4 - 0,25 - 0,379 = 0,771$$

Оскільки глибина воронки менша за висоту робочої рідини, та знаходиться значно вище маточини мішалки – негативні ефекти пов’язані з виникненням воронки практично виключаються, тобто встановлення відбивних перегородок не обов’язково.

Потужність, що витрачається на перемішування в даному випадку можна розрахувати за формулою:

$$N = K_N \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_m^5 \quad (5.5)$$

де  $K_N$  – критерій потужності, або критерій Ейлера для найбільш вивчених конструктивних варіантів в літературі наводяться експериментальні криві залежності  $K_N$  від  $Re_c$  (див. рисунок 4.5).

Метод розрахунку потужності з використанням таких кривих цілком надійний та забезпечує необхідну точність.

Таким чином за кривою 2 на рисунку 4.5, що стосується гвинтових перемішувальних пристроїв в апаратах без відбивних перегородок та  $\Gamma_D = 4$  при  $Re_c = 7198,715$  визначаємо, що  $K_N = 1,8$ .

Підставляючи відомі значення у (5.5) отримаємо, Вт:

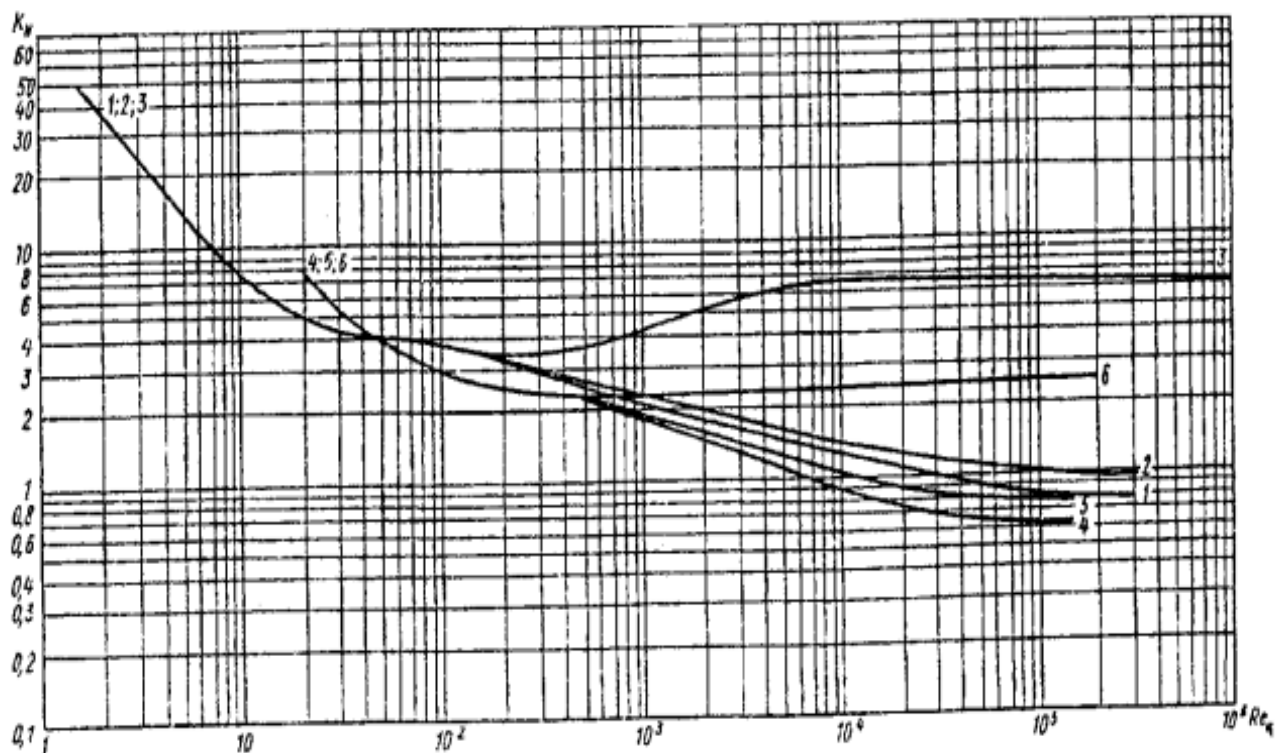
$$N = 1,8 \cdot 909,297 \cdot 2,268^3 \cdot 0,25^5 = 18,64$$

Згідно з ОСТ 26-01-1225-75 за значенням швидкості обертання

$n = 2,268$  об/с = 136,08 об/хв, та потужності, що витрачається на перемішування  $N = 18,64$  Вт – обираємо привід: типу 1 виконання 1 (див. рисунок 5.4) з електродвигуном МП01-10, що забезпечує частоту обертання валу до  $n = 160$  об/хв, та потужність до  $N = 1,5$  кВт.

Виконавчі розміри приводу [25] обираємо для габариту 2, що відповідає граничному осьовому навантаженню до 1000 кг·с при 200 об/хв:  $d=40$  мм;  $H=1460$  мм

(не більш);  $H_1=850$  мм;  $H_3=20$  мм;  $H_4=7$  мм;  $l=320$  мм (не менше);  $l_1=550$  мм;  $0l_2=500$  мм;  $S=16$  мм (не менше);  $S_1=20$  мм;  $S_2=22$  мм;  $d_1=17$  мм;  $d_2=50$  мм;  $d_3=120$  мм;



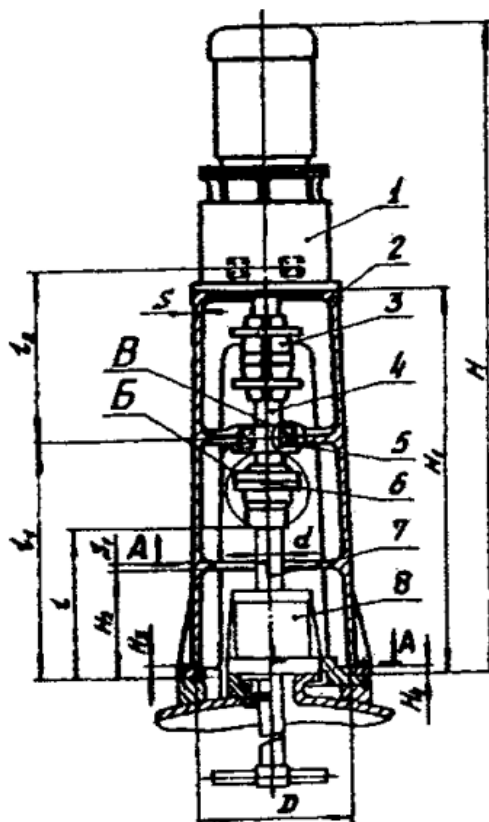
- 1 – турбінний перемішувальний пристрій відкритого типу  $\Gamma_D = 3$ ;
  - 2 – турбінний перемішувальний пристрій відкритого типу  $\Gamma_D = 4$ ;
  - 3 – турбінний перемішувальний пристрій відкритого типу  $\Gamma_D = 3 - 4$ ;
  - 4 – турбінний перемішувальний пристрій закритого типу  $\Gamma_D = 3$ ;
  - 5 – турбінний перемішувальний пристрій закритого типу  $\Gamma_D = 4$ ;
- Рисунок 4.5 – Експериментальні криві залежності  $K_N$  від  $Re_{ц}$  [24]

В приводу використовуються радіальні кулькові підшипники: один типу 314 за ГОСТ 8338 та один роликовий радіальний 8315 за ГОСТ 6874, що вказує на комбіноване навантаження вузла.

Для надійної ізоляції токсичного середовища апарата застосовано подвійне торцеве ущільнення ТД95-6.

Загальна маса конструкції приводу становить 270 кілограмів не більше.

Схема приводу за ОСТ 26-01-1225-75 тип 1 виконання 1 зображена на рисунку 4.6.



1 – мотор-редуктор; 2 – стійка; 3 – муфта за ОСТ 26-01-1227-75; 4 – вал проміжний; 5 – підшипник за ГОСТ 8545-57;

6 – втулка за ОСТ 26-01-1226-75; 7 – вал шпинделя; 8 – ущільнення;

Рисунок 4.6 – Схема приводу за ОСТ 26-01-1225-75 тип 1 виконання 1 [24]

Висновок: за результатами розрахунків було визначено, що при заданих умовах перемішування виникає досить невелика воронка, а значить можна не встановлювати відбивні перегородки.

Також за розрахованою частотою обертання та потужністю було обрано стандартний привід, а саме:

Привід 11-1-40-1,5/160-А ОСТ26-01-1255-75.

## 4.5 Розрахунок турбінної мішалки

Метою розрахунку є визначення типу та розмірів нормалізованої турбінної мішалки за заданих умов перемішування.

Конструкція турбінного перемішувального пристрою наведена на рис. 4.7

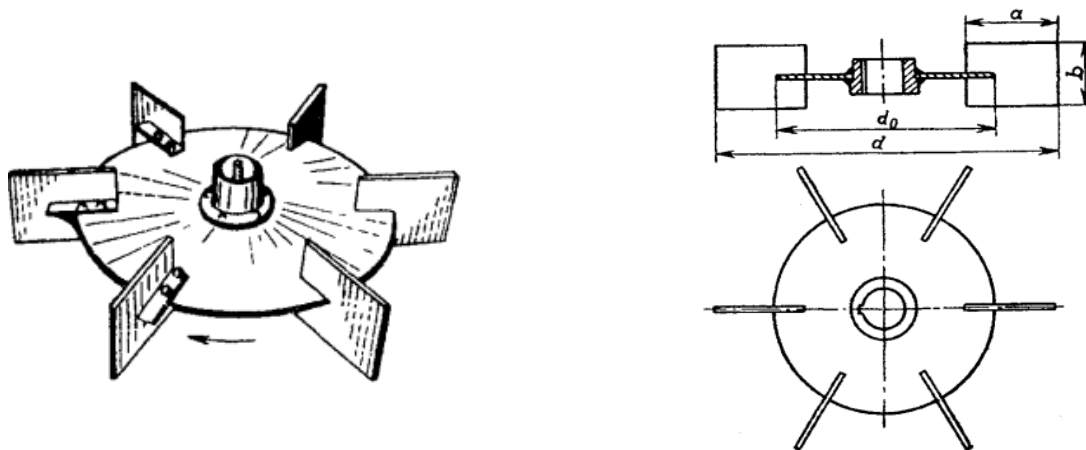


Рисунок 4.7 – Конструкція турбінного перемішувального пристрою

Вхідні дані:

матеріал	сталь 10X17H13M2T;
внутрішній діаметр апарата $D_v$ , м	1;
діаметр турбінної мішалки $d_m$ , м	0,25;
потужності, що витрачається на перемішування $N$ , Вт	1500;
частота обертання $n$ , об/с	2,268;
допустиме напруження сталі $[\sigma]$ , МПа [с.15]	184.

Методика розрахунків відповідно до [26].

Відповідно до МН 5874-66 [24, с.189] для діаметра мішалки  $d_m = 250$  мм обираємо наступні параметри:

$d_0 = 188$  мм;  $d_1 = 125$  мм;  $b_t = 50$  мм;  $a_t = 65$  мм;  $s = 4$  мм;  $s_1 = 4$  мм;  
маса – 4,86 кг.

Розрахунковий згинальний моменти, Н·м, що діють на одну лопать гвинта, визначаються у напрямі паралельної осі вала та у напрямі перпендикулярно осі вала :

$$M_u = \frac{0,027 \cdot (x - 0,5 \cdot d_m) \cdot N}{x} \cdot \frac{N}{n} =$$

$$= \frac{0,298 \cdot (0,35 \cdot 0,8 - 0,5 \cdot 0,13)}{0,8} \cdot \frac{1583}{2,98} = 42,57$$

де  $d_c$  – діаметр маточини, м.;  $N$  – розрахункова потужність, Вт;  
 $n$  – частота обертання мішалки,  $c^{-1}$ ;

$$x = 0,75 \cdot \frac{(0,5 \cdot d_m)^4 - (0,5 \cdot d_m - b_t)^4}{(0,5 \cdot d_m)^3 - (0,5 \cdot d_m - b_t)^3} =$$

$$= 0,75 \cdot \frac{(0,5 \cdot 0,13)^4 - (0,5 \cdot 0,13 - 0,05)^4}{(0,5 \cdot 0,13)^3 - (0,5 \cdot 0,13 - 0,05)^3} = 0,49$$

Номінальна розрахункова товщина лопаті гвинта  $s_{л}$ , м, у місці з'єднання її з маточиною визначається за формулою:

$$s_{л} = \sqrt{\frac{6 \cdot M_u}{a_t \cdot \sigma_{ст}}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 39,57 \cdot 10^{-6}}{0,17 \cdot 184}} = 0,042 \text{ м}$$

З урахуванням збільшення товщини для компенсації корозії і ерозії остаточно приймаємо розрахункова товщина лопаті гвинта  $s_{л} = 5$  мм.

Висновок: за результатами розрахунків було прийнято гвинтовий перемішувальний пристрій за МН 5874-66, та відповідно до напружень було обрано товщину лопатей 5.

#### 4.6 Розрахунок товщини циліндричної обичайки

Метою розрахунку є визначення товщини стінки циліндричної обичайки корпусу апарата який працює під внутрішнім надлишковим тиском, яка задовольняє умовам міцності апарата [25].

Схема до розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки наведена на рисунку 4.8.

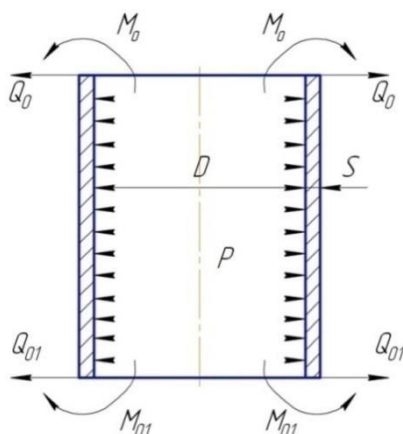


Рисунок 4.8 – Схема до розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки

Вихідні дані:

Допустиме напруження обичайки, $[\sigma]$ , МПа	163
Діаметр апарата, $D$ , м	1
Коефіцієнт міцності зварного шва, $\varphi$	0,9
Внутрішній тиск, $p$ , МПа	0,1
Матеріал	12X18H10T

Методика розрахунку наведена в [25].

Блок-схема розрахунку, таблиця з ідентифікаторами, підстановка та обрахунок числових даних виконані в середовищі MathCad (див. додаток Б).

Товщина стінки обичайки, м:

$$S_R = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p} \quad (5.1)$$

Виконавча товщина стінки обичайки, мм:

$$S = c_1 + c_2 + S_R \quad (5.2)$$

де  $c_2 = 0,8$  – прибавка для компенсації мінусового допуску, мм

$c_1 = 6$  – прибавка для компенсації ерозії і корозії, мм.

Сума прибавок до розрахункових товщин стінок, мм:

$$C = c_1 + c_2 \quad (5.3)$$

Для розрахунку перемішуючого пристрою, приймаємо товщину листа  $S = 10$  мм, оскільки колона сприймає також вітрові навантаження.

Допустимий тиск в обичайці, МПа:

$$p_{\text{доп}} = \frac{2 \cdot \varphi[\sigma] \cdot (S - C)}{D + S - C} \quad (5.4)$$

Перевіряємо умову міцності:

$$p < p_{\text{доп}} \quad (5.5)$$

Умова виконується.

Висновок: у результаті проведеного розрахунку було визначено: товщину стінки циліндричної обичайки  $S = 10$  мм і допустимий тиск  $p_{\text{доп}} = 0,936$  МПа.

#### 4.7 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на віброс- тійкість

Метою розрахунку є визначення розрахункового діаметру вала, який задовольняє умовам вібростійкості, та знайти першу критичну кутову швидкість вала.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.10.

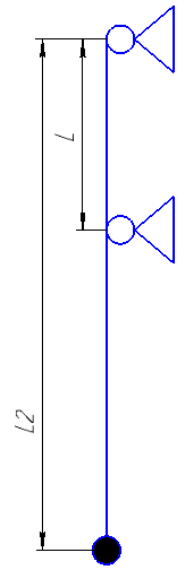


Рисунок 4.9 – Схема до розрахунку вала механічного перемішуючого пристрою на віброс-тійкість

Вихідні дані:

Матеріал валу	сталь 10X17H13M2T
довжина вала $L$ , м	1,250;
кількість деталей в прольоті $n_d$	1;
координати центрів ваги мішалки, $l_1$ , м	0,950;
маса мішалки $m_{11}$ , кг	4,86;
густина матеріалу вала $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	7950;
частота обертання вала $n$ , об/с	2,268
модуль пружності матеріалу вала $E$ , МПа	2,15;
коефіцієнт, що враховує умову вібростійкості $\xi$	0,7;
коефіцієнт, що враховує умову закріплення $\eta$	48
коефіцієнт приведення маси вала, $q$	0,5.

Розрахунок вала механічного переміщуючого пристрою наведено в літератур [24].

Відносна координата центра тяжіння мішалки в прольоті

$$\bar{a}_1 = \frac{l_1}{L} = \frac{1,125}{1,515} = 0,76$$

Безрозмірний динамічний прогин в центрі тяжіння мішалки

$$\bar{y}_{l1} = \sin(\pi \cdot \bar{l}_1) = 0,685$$

Кутова швидкість вала, с<sup>-1</sup>

$$\omega = \pi \cdot \frac{n \cdot 60}{30} = 3,14 \cdot \frac{2,268 \cdot 60}{30} = 50,161$$

Безрозмірний коефіцієнт

$$f = \frac{8 \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot L^2}{\xi^2 \cdot \eta \cdot E} = \frac{8 \cdot 7950 \cdot 14,243^2 \cdot 1,250^2}{0,7^2 \cdot 48 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}} = 4,161 \cdot 10^{-6}$$

Приведена маса мішалки в прольоті, кг

$$m_{np} = m_1 \cdot \bar{y}_{l1}^2 = 3,92$$

Перший підкореневий одночлен, м<sup>2</sup>

$$A_1 = q \cdot f \cdot L^2 = 0,5 \cdot 4,161 \cdot 10^{-6} \cdot 1,250^2 = 3,251 \cdot 10^{-6}$$

Другий підкореневий одночлен, м<sup>4</sup>

$$A_2 = \frac{8 \cdot m_{\text{пр}} \cdot f \cdot L}{\pi \cdot \rho} = \frac{8 \cdot 2,283 \cdot 4,161 \cdot 10^{-6} \cdot 1,250}{3,14 \cdot 7950} = 3,806 \cdot 10^{-9}$$

Розрахунковий діаметр вала, м

$$d_p = \sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2}} = \sqrt{3,251 \cdot 10^{-6} + \sqrt{(3,251 \cdot 10^{-6})^2 + 3,806 \cdot 10^{-9}}} = \\ = 0,008$$

Маса 1 м довжини вала, кг

$$m_L = \frac{\pi \cdot d_p^2 \cdot \rho}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,008^2 \cdot 7950}{4} = 9,985$$

Відносна приведена маса деталі, кг

$$\overline{m}_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{пр}}}{m_L \cdot L} = \frac{2,283}{9,985 \cdot 1,250} = 0,183$$

Корінь частинного рівняння

$$\alpha = f(\overline{m}_{\text{пр}}) = 0,8$$

Момент інерції перерізу вала, м<sup>4</sup>

$$J = \frac{\pi \cdot d_p^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,008^4}{64} = 1,963 \cdot 10^{-4}$$

Перша критична кутова швидкість, с<sup>-1</sup>:

$$\omega_{\text{кр1}} = \left(\frac{\alpha}{L}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m_L}} = \left(\frac{0,8}{1,250}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^{11} \cdot 1,963 \cdot 10^{-4}}{9,985}} = 2606,274 .$$

Перевіримо виконання умови вібростійкості

$$\frac{\omega}{\omega_{\text{кр}}} \leq 0,7,$$

$$\frac{14,243}{2606,274} = 0,005 < 0,7$$

Умова виконується

Висновок: вал перемішуючого пристрою задовольняє умову вібростійкості та може експлуатуватися за даних умов. – приймаємо діаметр допустимий 40 мм.

## 4.8 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на жорсткість

Метою розрахунку є визначити максимальні сумарні зміщення вала від осі обертання в небезпечних по жорсткості перерізах: в місцях встановлення ущільнювальних пристроїв; в місцях де зазори між деталями, що обертаються та нерухомими деталями - малі.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.11.

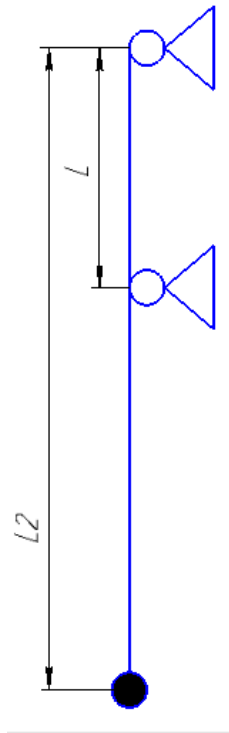


Рисунок 4.11 – Схема до розрахунку вала механічного перемішуючого пристрою на жорсткість

Вихідні дані:

довжина вала $L$ , м	1,515;
кількість деталей в прольоті $n_d$	1;
координати центрів ваги мішалок $l_1$ , м	0,950;
маса мішалки $m_{11}$ , кг	4,86;
частота обертання вала $n$ , об/хв	2,268;

кутова швидкість $\omega$ , $\text{с}^{-1}$	14,243;
густина матеріалу вала $\rho$ , $\text{кг/м}^3$	7950;
модуль пружності матеріалу вала $E$ , Мпа	$2,06 \cdot 10^{11}$ ;
початкова вгнутість вала в точці приведення $\varepsilon$ в, м	$0,5 \cdot 10^{-3}$ ;
радіальні зазори в опорах $\Delta a$ , $\Delta b$ , м	$0,03 \cdot 10^{-3}$ , $0,04 \cdot 10^{-3}$ ;
допустимі зміщення в небезпечних по жорсткості перерізах, [Azi]=[Az1j], м	$0,25 \cdot 10^{-3}$ ;
в місцях встановлення деталей, [Ali], м	$1 \cdot 10^{-2}$ ,

Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою наведено в літератур [24].

Ексцентриситет маси деталі в прольоті

$$e_1 = \frac{10^{-3}}{\sqrt{\omega}} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{14,243}} = 2,65 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Відносна координата небезпечного по жорсткості перерізу в прольоті

$$\bar{Z}_1 = \frac{Z_i}{L} = \frac{0,1}{1,250} = 0,08 \text{ м.}$$

Безрозмірний динамічний прогин в небезпечному по жорсткості перерізі в прольоті

$$\bar{y}_{z1} = f(\bar{Z}_1),$$

де  $\bar{y}_{l1} = \sin(\pi \cdot \bar{Z}_1)$ .

Відносна координата центра тяжіння мішалки в прольоті

$$\bar{l}_1 = \frac{l_1}{L} = \frac{0,950}{1,250} = 0,76$$

Безрозмірний динамічний прогин вала в місці встановлення деталі

$$\bar{y}_{l1} = f(\bar{l}_1)$$

де  $\bar{y}_{l1} = \sin(\pi \cdot \bar{l}_1)$ .

Приведений ексцентриситет маси деталі, м

$$e_{1np} = \frac{e_1}{\bar{y}_{l1}} = \frac{2,65 \cdot 10^{-4}}{0,685} = 3,866 \cdot 10^{-3}$$

Маса 1 м довжини вала, кг

$$m_L = \frac{\pi \cdot d_p^2 \cdot \rho}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,04^2 \cdot 7950}{4} = 9,985$$

Приведена маса вала, кг

$$m_{впр} = 0,5 \cdot m_L \cdot L = 0,5 \cdot 9,985 \cdot 1,250 = 6.241$$

Приведена маса деталі, кг

$$m_{1пр} = 0,5 \cdot m_L \cdot \bar{y}_{l1}^2 = 0,5 \cdot 9,985 \cdot 0,685^2 = 2,346$$

Зміщення перерізу вала в точці приведення В, пов'язане с зазорами в опорах

$$\Delta_B = \frac{(\Delta_A + \Delta_B)}{2} = \frac{(0,026 \cdot 10^{-3} + 0,03 \cdot 10^{-3})}{2} = 2,8 \cdot 10^{-5}$$

Приведений (до точки В) ексцентриситет мас деталей

$$e_{пр} = \frac{\sum(m_{инп} \cdot e_{инп})}{m'_{впр} + \sum m_{инп}} = \frac{(2,346 \cdot 3,866 \cdot 10^{-4})}{6,241 + 2,346} = 1,056 \cdot 10^{-4}.$$

Осьовий момент інерції перерізу вала, м<sup>4</sup>

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,04^4}{64} = 1,256 \cdot 10^{-7}$$

Відносна приведена маса деталей

Корінь частого рівняння:

$$\alpha_1 = f(\bar{m}_{пр}, \bar{L}) = 2,854$$

Перша критична кутова швидкість, с<sup>-1</sup>:

$$\omega_{кр} = \left(\frac{\alpha_1}{L_1}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m_l}} = \left(\frac{2,854}{1,25}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^{-11} \cdot 1,256 \cdot 10^{-7}}{9,985}} = 39134,827$$

Динамічний прогин вала в точці приведення, м

$$y_B = \frac{e_{пр}}{(\omega_{кр}/\omega)^2 - 1} = \frac{3,866 \cdot 10^{-4}}{(39134,827/14,243)^2 - 1} = 5,121 \cdot 10^{-11}$$

Зміщення перерізу вала в точці закріплення деталі, викликане зазорами в опорах, м:

$$\Delta_{li} = (\Delta_A + \Delta_B) \cdot \bar{l}_i - \Delta_A = (0,03 \cdot 10^{-3} + 0,04 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,95 - 0,03 \cdot 10^{-3} = 2,72 \cdot 10^{-5}$$

на консолі, м:

$$\begin{aligned}\Delta_{l1j} &= (\Delta_A + \Delta_B) \cdot (\bar{l}_i + L)/L - \Delta_A \\ &= (0,03 \cdot 10^{-3} + 0,04 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,95 + 1,250)/1,250 - 0,03 \cdot 10^{-3} \\ &= 7,256 \cdot 10^{-5}\end{aligned}$$

Зміщення небезпечного перерізу вала, викликане зазорами в опорах в прольоті, м

$$\begin{aligned}\Delta_{Z1} &= (\Delta_A + \Delta_B) \cdot Z_i - \Delta_A = (0,03 \cdot 10^{-3} + 0,04 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,8 - 0,03 \cdot 10^{-3} \\ &= -2,152 \cdot 10^{-5}\end{aligned}$$

на консолі, м:

$$\begin{aligned}\Delta_{Z1j} &= (\Delta_A + \Delta_B) \cdot (Z_{1j} + L)/L - \Delta_A \\ &= (0,03 \cdot 10^{-3} + 0,04 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,41 + 1,250)/1,250 - 0,03 \cdot 10^{-3} \\ &= 4,837 \cdot 10^{-5}\end{aligned}$$

Зміщення перерізу вала в точці кріплення деталі, викликане початковою вгнутістю вала в прольоті:

$$\varepsilon_{l1} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{li} = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,685 = 1,028 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

на консолі

$$\varepsilon_{l1j} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{l1j} = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Зміщення небезпечного по жорсткості перерізу вала, викликане початковою вгнутістю вала в прольоті, м

$$\begin{aligned}\varepsilon_{Z1j} &= \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{Zi}, \\ \varepsilon_{Z1} &= 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,045 = 6,75 \cdot 10^{-5} \\ \varepsilon_{Z11} &= 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01 = 1,5 \cdot 10^{-5}\end{aligned}$$

Сумарне динамічне зміщення перерізу вала в точці приведення В, м

$$A_B = y_B + \varepsilon_B + \Delta_B = 5,121 \cdot 10^{-11} + 1,5 \cdot 10^{-3} + 0,04 \cdot 10^{-3} = 1,53 \cdot 10^{-3}$$

Сумарне динамічне зміщення перерізу вала в центрі маси деталі в прольоті, м:

$$\begin{aligned}A_{l1} &= y_B \cdot \bar{y}_{li} + \varepsilon_{li} + \Delta_{li} + e_i = 5,121 \cdot 10^{-11} \cdot 0,685 + 51,028 \cdot 10^{-3} + \\ &+ 2,72 \cdot 10^{-5} + 2,65 \cdot 10^{-4} = 1,32 \cdot 10^{-3}\end{aligned}$$

на консолі, м:

$$A_{l1j} = y_B \cdot \bar{y}_{l1j} + \varepsilon_{l1j} + \Delta_{l1j} + e_{1j} = 5,121 \cdot 10^{-11} \cdot 1 + 1,5 \cdot 10^{-3} + 7,256 \cdot 10^{-5} + 2,65 \cdot 10^{-4} = 1,838 \cdot 10^{-3}$$

Сумарне динамічне зміщення небезпечного перерізу вала в прольоті

$$A_{Zi} = y_B \cdot \bar{y}_{Zi} + \Delta_{Zi} + \varepsilon_{Zi} = 5,121 \cdot 10^{-11} \cdot 0,045 - 2,152 \cdot 10^{-5} + 1,5 \cdot 10^{-5} = -6,52 \cdot 10^{-6}$$

на консолі, м

$$A_{Z1j} = y_B \cdot \bar{y}_{Z1j} + \Delta_{Z1j} + \varepsilon_{Z1j} = 5,121 \cdot 10^{-11} \cdot 0,01 + 4,837 \cdot 10^{-5} + 1,5 \cdot 10^{-5} = 1,159 \cdot 10^{-4}$$

Перевіримо виконання умови жорсткості в прольоті, м

$$\begin{aligned} A_{Zi} &\leq [A_{Zi}], \\ A_{li} &\leq [A_{li}], \\ A_{Z1} &= -6,52 \cdot 10^{-6} < 0,4 \cdot 10^{-3}, \\ A_{li} &= 1,32 \cdot 10^{-3} < 0,4 \cdot 10^{-2}, \end{aligned}$$

Умови жорсткості виконуються.

Після проведених розрахунків можемо зробити висновок, що вал можливо використовувати при заданих умовах експлуатації.

#### 4.9 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на міцність

Метою розрахунку є визначити найбільш небезпечний по міцності переріз вала, визначити еквівалентні напруження в небезпечних перерізах, розрахувати допустимі напруження з урахуванням дії знакоперемінних напружень, часткових значень коефіцієнтів запасу міцності, коефіцієнтів концентрації напружень та порівняння еквівалентних напружень в небезпечних перерізах з допустимими.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.12.

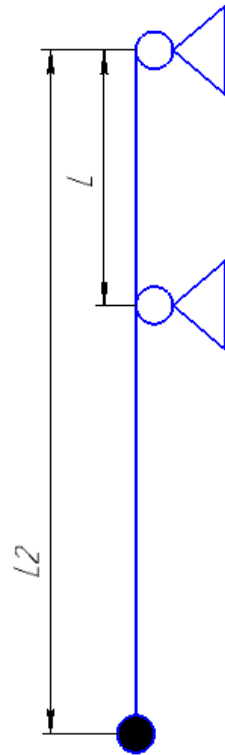


Рисунок 4.12 – Схема до розрахунку вала механічного перемішуючого пристрою на міцність

Вихідні дані:

довжина прольоту $L$ , м	1,250;
кількість деталей в прольоті $n_d$	1;
координата центра ваги деталі в прольоті $l_1$ , м	0,950;
координати центрів ваги мішалок $l_{11}$ , м	0;
координати небезпечного перерізу в прольоті $Z_1$ ,	0,1;
маса муфти $m_1$ , кг	16,3;
маси мішалок $m_{11}$ , кг	3,8;
частота обертання вала $n$ , об/хв,	200;
кутова швидкість обертання $\omega$ , с <sup>-1</sup>	20,923;
густина матеріалу вала $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	7850;
модуль пружності матеріалу вала $E$ , МПа	$2,1 \cdot 10^{11}$ ;
початкова вгнутість вала в точці приведення $\varepsilon$ в, м	$1,5 \cdot 10^{-3}$ ;
радіальні зазори в опорах $\Delta a$ , м	$0,03 \cdot 10^{-3}$ ;

$\Delta b$ , м	$0,04 \cdot 10^{-3}$ ;
допустимі зміщення в небезпечних по жорсткості перерізах [Azi]=[Az1j], м	$0,4 \cdot 10^{-3}$ ;
в місцях встановлення деталей [Ali]=[Al1j], м	$1 \cdot 10^{-2}$ ;
потужність, що витрачається однією мішалкою $N_m$ , Вт	1800;
ефективний коефіцієнт концентрації напружень для першого небезпечного перерізу $K_{\sigma z11}$	2,43;
ефективний коефіцієнт концентрації напружень для другого небезпечного перерізу $K_{\sigma z12}$	1,46;
мінімальний запас міцності на витривалість $n_{min}$	2;
сумарне динамічне зміщення вала в центрах мас деталей:	
$A_{11,м}$	$1,706 \cdot 10^{-3}$ ;
$A_{12, м}$	$23,178 \cdot 10^{-3}$ .
Зосереджена відцентрова сила, яка діє на деталь, $F_{11}$	18,736

Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на міцність наведено в літературі [24].

Приведена відцентрова сила маси вала, що обертається, Н

$$F_{Bnp} = m_{Bnp} \cdot \omega^2 \cdot A_B = 6,241 \cdot 14,243^2 \cdot 1,53 \cdot 10^{-3} = 1,937$$

Реакція опори А, Н

$$R_A = \frac{(\sum_{j=1}^{n_{1D}} F_{1j} \cdot l_{1j} + F_{Bnp} \cdot L_1)}{L} = \frac{(1,302 \cdot 0,95 + 1,937 \cdot 1,25)}{1,25} = 4,011$$

Реакція опори В, Н

$$R_B = \frac{(\sum_{j=1}^{n_{1D}} F_{1j} \cdot (l_{1j} + L) + F_{Bnp} \cdot (L_1 + L))}{L} =$$

$$= \frac{(1,302 \cdot (1,250 + 1,250) + 1,937 \cdot (1,95 + 1,250))}{1,250} = 8,291$$

$$M_{z1s} = F_{Bnp} \cdot (L_1 - z_{1s}) +$$

$$+ \sum_{j=1}^{n_{1D}} F_{1j} \cdot (l_{1j} - z_{1s}) = 1,302 \cdot (1,95 - 0) + 1,937 \cdot (1,95 - 0) = 88,706$$

$$M_{kpz1s} = w^{-1} \cdot \sum_{j=1}^{n_{1D}} N_{1j} = 14,243^{-1} \cdot 1500 = 105,315$$

Момент опору небезпечних по міцності перерізів вала, м<sup>3</sup>:

$$W_{Z1s} = \frac{\pi \cdot d_{Z1s}^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,06^3}{32} = 2,121 \cdot 10^{-5}$$

Еквівалентні напруження в небезпечних по жорсткості перерізах, МПа:

$$\sigma_{Z1s}^3 = \frac{\sqrt{M_{Z1s}^2 + M_{kpz1s}^2}}{W_{Z1s}} = \frac{\sqrt{88,706^2 + 105,31^2}}{2,121 \cdot 10^{-5}} = 4,978$$

Допустиме напруження на міцність в небезпечних перерізах прольоту, МПа:

$$[\sigma_{Z1s}] = \frac{\varepsilon_M \cdot \sigma_{-1}}{K_{\sigma Z1s} \cdot n_{min}}$$

$$[\sigma_{Z11}] = \frac{0,68 \cdot 252}{2,43 \cdot 2} = 35,259$$

Умова міцності:

$$\sigma_{Z1s}^3 \leq [\sigma_{Z1s}] \sigma_{Z11}^3,$$

$$\sigma_{Z11}^3 = 4,978 < 35,259.$$

Умова міцності виконується

Висновок: Розрахунки показали, що еквівалентні напруження в небезпечних перерізах вала набагато менші ніж допустимі.

#### 4.10 Конструктивний розрахунок товщини стінки еліптичної кришки

Метою розрахунку є визначення товщини стінки еліптичного днища кришки апарата, яка задовольняє умовам міцності апарата.

Розрахункова схема днища наведена на рисунку 4.13.

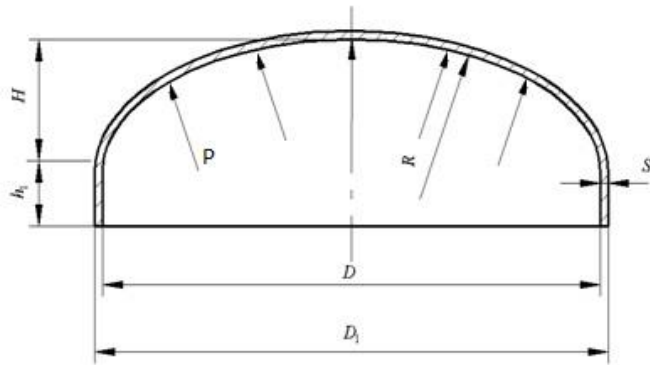


Рисунок 4.13 – Розрахункова схема еліптичного днища

Блок-схема розрахунку, таблиця з ідентифікаторами, підстановка та обрахунок числових даних виконані в середовищі MathCad (див. додаток Б).

Методика розрахунку наведена в [25]

Вихідні дані:

Внутрішній тиск, $p$ , МПа	0,1
діаметр апарата, $D$ , м	1
допустиме напруження матеріалу, $[\sigma]$ , МПа	138
Матеріал	12X18H10T

Товщина стінки, м:

$$S_R = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5p} \quad (5.119)$$

Виконавча товщина стінки обичайки, мм:

$$S = c_1 + c_2 + S_R \quad (5.120)$$

де  $c_2 = 0,8$  – прибавка для компенсації мінусового допуску, мм

$c_1 = 6$  – прибавка для компенсації ерозії і корозії, мм.

Сума прибавок до розрахункових товщин стінок, мм:

$$C = c_1 + c_2 \quad (5.121)$$

Для розрахунку приймаємо товщину листа приймаємо

$S = 10$  мм.

$$H = 0,25 \cdot D \quad (5.122)$$

Виконуємо перевірку на допустимий тиск, МПа:

$$p_{\text{доп}} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \quad (5.123)$$

Перевіряємо умову міцності:

$$p < p_{\text{доп}} \quad (5.124)$$

Висновок: у результаті проведеного розрахунку визначено: товщину стінки днища  $S = 10$ , мм, висоту еліптичної частини днища  $H=0,25$  м, допустимий тиск  $p_{\text{доп}} = 0,965$  МПа.

#### 4.11 Конструктивний розрахунок товщини стінки конічного днища

Метою розрахунку є визначення товщини стінки конічного днища сушильного апарату, яка задовольняє умовам міцності.

Розрахункова схема конічного днища наведена на рисунку 4.14.

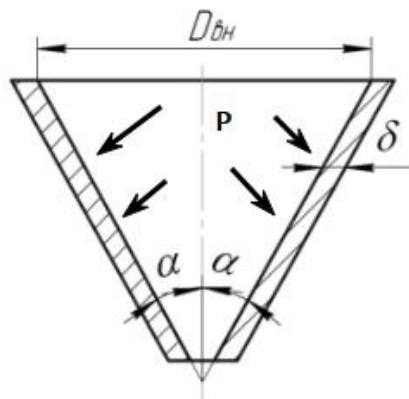


Рисунок 4.14 – Розрахункова схема конічного днища

Методика розрахунку наведена в [25].

Вихідні дані:

Внутрішній тиск, $p$ , МПа	0,1
Діаметр апарату, $D$ , м	1,1
допустиме напруження матеріалу, $[\sigma]$ , МПа	163
Матеріал	12X18H10T
Кут, $a_k$	45

Розрахункова товщина стінки кінчного днища, м:

$$S_{kR} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\delta] \cdot \varphi_p - p} \cdot \frac{1}{\cos(a_k)} = \frac{0,1 \cdot 1,1}{2 \cdot 163 \cdot 1 - 0,1} \cdot \frac{1}{\cos 45^\circ} = 6,425 \cdot 10^{-4}$$

де  $\varphi_p = 1$  – розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва

Додаток до розрахункової товщини для компенсації ерозії:

$$C_e = 0$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії:

$$C_1 = 2 \cdot 10^{-3}$$

Виконавча товщина стінки днища у першому наближенні:

$$S_{1k} = S_{kR} + C_1 + C_0 = 2,643 \cdot 10^{-3} = 3,455 \cdot 10^{-3}$$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску:

$$C_2 = 2,3 \cdot 10^{-4}$$

Технологічний додаток до розрахункової товщини:

$$C_3 = 0$$

Відношення суми додатків  $C_2$  і  $C_3$  до товщини  $S_{k1}$ :

$$\frac{C_2 + C_3}{S_{1k}} = \frac{2,3 \cdot 10^{(-4)} + 0}{3,455 \cdot 10^{-3}} = 0,067$$

Сума додатків до розрахункової товщини становить  $0,038 < 0,05$ , тому

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 2 \cdot 10^{-3} + 2,3 \cdot 10^{-4} + 0 = 2,23 \cdot 10^{-3}$$

Виконавча товщина стінки днища:

$$S_k = S_{kR} + C + C_0 = 6,425 \cdot 10^{-4} + 2,23 \cdot 10^{-3} + 0,812 \cdot 10^{-3} = 3,12 \cdot 10^{-3}$$

Обираємо  $C_0 = 0,339 \cdot 10^{-3}$ , через те, що найближча товщина листового прокату

становить  $3,12 \cdot 10^{-3}$  мм.

Перевірка умов застосування розрахункових формул

$$0,001 \leq \frac{Sk \cdot \cos(a_k)}{D} \leq 0,05$$

$$0,001 \leq \frac{3,212 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3}}{1,1} \leq 0,05$$

$$0.001 \leq 1,534 \cdot 10^{-3} \leq 0,05$$

Умова застосування розрахункових формул виконується, приймаємо товщину днища  $S = 0,006$  м.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск. МПа:

$$P_{\text{доп}} = \frac{2 \cdot [\delta] \cdot \varphi_p - p(S_k - C)}{\frac{D}{\cos(\alpha_k)} + (S_k - C)} = \frac{2 \cdot 163 \cdot 1 - 0,1(3,12 \cdot 10^{-3} - 2.23 \cdot 10^{-3})}{\frac{1,1}{\cos 45^\circ} + (3,12 \cdot 10^{-3} - 2.23 \cdot 10^{-3})} = 0,95$$

Перевіряємо умову міцності:

$$p < p_{\text{доп}}$$

$$0,1 < 0,95$$

Умова міцності виконується

Висновок: умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінки кінцевого днища  $S = 6$  мм.

## 5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Сучасне виробництво аміносмол із застосуванням інноваційного обладнання потребує комплексного підходу до організації безпечних умов праці, що регламентується основним документом у цій сфері.

Відповідно до вимог чинного законодавства, кожен етап технологічного процесу має бути організований з дотриманням принципів профілактики виробничого травматизму та професійних захворювань, це вимагає обов'язковий контроль мікроклімату приміщень, забезпечення працівників засобами індивідуального захисту тощо [27].

Особливу увагу при проектуванні виробничої лінії приділено відповідності сушарки та змішувача вимогам сучасних стандартів безпеки. Це включає не лише технічні характеристики обладнання, але й організацію робочих місць, що забезпечує мінімізацію фізіологічних навантажень на персонал та сприяє безпечному виконанні обов'язків персоналом [28]

Для даного виробництва обґрунтовано обрано категорію робіт 1а, що враховує специфіку технологічних операцій з обробки полімерних матеріалів. Легкий характер праці підтверджується відсутністю необхідності постійного переміщення великих вантажів та організацією робочих зон згідно з принципами ергономіки [29].

Створення безпечного середовища також передбачає реалізацію триступеневої системи захисту, що включає необхідні технічні рішення – вбудовані системи безпеки обладнання, організаційні заходи, а саме чіткі процедури та інструкції, а також індивідуальний захист завдяки спеціальним засобам для працівників [27].

Усі заплановані рішення базуються на принципі проактивного управління ризиками, що дозволяє не лише усувати існуючі небезпеки, але й запобігати потенційним загрозам.

## 5.1 Характеристика виробничих факторів

Впровадження нової технології виробництва аміносмол із застосуванням сушарки та змішувача в приміщенні площею 500 м<sup>2</sup> формує комплекс виробничих факторів, що безпосередньо впливають на організацію робочих процесів та стан безпеки забезпечення здорових та безпечних умов праці є пріоритетним завданням. Розділ розроблено відповідно до [27].

**Тепловий фактор.** Сушарка, яка призначена для термічної обробки полімерних матеріалів, функціонує в умовах високих температур. Це обумовлює надлишкове тепловиділення у виробничий простір, що створює ризик порушення теплообміну в організмі працівників. Для запобігання перегріву та можливого теплового ураження необхідно впровадити систему контролю мікроклімату, обладнати робочі зони ефективною припливно-витяжною вентиляцією, а також передбачити раціональний режим праці та відпочинку [28].

**Хімічний фактор.** Технологічний процес синтезу аміносмол пов'язаний із застосуванням хімічних речовин, що володіють токсичними та подразнюючими властивостями. Під час операцій сушіння та змішування існує ймовірність виділення в повітряну середу парів, газів або дрібнодисперсних частинок, які можуть впливати на органи дихання, зір та шкірні покриви [29]. Обов'язковими заходами протидії є: оснащення обладнання системами місцевої витяжної вентиляції, забезпечення персоналу спеціальним одягом, взуттям, рукавицями, захисними окулярами та засобами індивідуального захисту органів дихання [30].

**Шумове навантаження.** Робота змішувального обладнання та допоміжних механізмів сушарки (вентилятори, насоси) супроводжується генеруванням шуму. Постійний вплив цього фізичного чинника може спричинити втому, погіршення комунікації та слухові порушення [31]. Для зниження рівня шуму необхідно вжити інженерних заходів, таких як віброізоляція агрегатів, установка шумопоглинальних екранів. У разі, якщо рівень шуму перевищує допустимі норми, працівники повинні

бути забезпечені засобами індивідуального захисту слуху (протишумові навушники, беруші) [32].

**Електробезпека.** Сушарка та змішувач є електроспоживачами, що зумовлює наявність небезпеки ураження електричним струмом. Особливу увагу слід приділити стану електромережі та обладнання в умовах можливого підвищення вологості повітря [33]. Для запобігання електротравматизму необхідно передбачити надійне захисне заземлення (занулення) всіх електроспоживачів, застосовувати прилади з підвищеною ступенню захисту, а також організувати періодичні перевірки ізоляції кабелів та цілісності заземлювальних контурів [34].

**Пожежна безпека.** Виробничий процес, пов'язаний із використанням сировини, що може горіти, та високотемпературним обладнанням, підвищує ризик виникнення пожежі [35]. Для забезпечення пожежної безпеки необхідно: суворо дотримуватися технологічного регламенту, обладнати приміщення автоматичною системою пожежогасіння та необхідною кількістю вогнегасників, здійснювати регулярний огляд електрообладнання для виключення іскріння, а також забезпечити дотримання правил зберігання легкозаймистих матеріалів [36].

## 5.2 Повітря робочої зони

Технологічний процес пов'язаний із нагріванням, сушінням та активним перемішуванням полімерних компонентів, що супроводжується виділенням тепла, вологості, дрібнодисперсного пилу та хімічних парів, які можуть суттєво вплинути на стан повітря та здоров'я персоналу [28].

Основні фактори повітряного середовища для даного виробництва:

**Температурний контроль:** Обладнання сушарки є джерелом інтенсивного тепловиділення, що призводить до підвищення температури повітря в робочій зоні. Для запобігання теплового стресу у працівників необхідне підтримання оптимальних температурних умов, що забезпечується системами загальнообмінної вентиляції та кондиціонування [28].

Контроль вологості: Процес сушіння сировини та готового продукту супроводжується активним випаровуванням вологи. Надмірна вологість може призвести до утворення конденсату на поверхнях обладнання та конструкцій, створюючи підвищену небезпеку ковзання та погіршуючи умови видимості. Необхідна організація ефективного вологовідведення [37].

Концентрація шкідливих речовин: Під час операцій сушіння та змішування існує високий ризик виділення в повітря летких органічних сполук, парів формальдегіду, амінів та дрібнодисперсного пилу аміносмол. Для підтримання концентрацій цих речовин в межах гранично допустимих (ГДК) обов'язковим є обладнання технологічних агрегатів системами місцевої витяжної вентиляції з фільтрами повітря. Регулярний моніторинг якості повітря є обов'язковим заходом [29].

Швидкість руху повітря: Для запобігання локальному накопиченню шкідливих домішок навколо сушарки та змішувача необхідно забезпечити рівномірну циркуляцію повітряних потоків. Оптимальна швидкість руху повітря сприяє ефективному розсіюванню парів та пилу, зменшуючи їх вплив на працівників [28].

У таблиці 5.1 наведено нормативні та очікувані фактичні параметри мікроклімату для даного виробництва, що відповідають категорії робіт Ia (легкі фізичні роботи з енерговитратами до 139 Вт).

Таблиця 5.1. Допустимі та очікувані параметри мікроклімату в робочій зоні Ia

Сезон року	Категорія робіт	Температура повітря, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Ia	22-24	60-40	0,1
Теплий	Ia	23-25	60-40	0,1

Оскільки аміносмоли та їх сировина можуть мати токсичні та алергенні властивості, при проведенні технічного обслуговування, ремонту або у разі аварійних ситуацій з можливим надмірним виділенням шкідливих речовин необхідно використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання та зору [30]

Альтернативним та ефективним рішенням замість повітряного апарата МПА може бути використання сучасних фільтрувальних респіраторів із багатофункціональними картриджами, які забезпечують захист від органіч парів, неорганічних газів, кислих газів, парів аміаку та пилу. Такі засоби є більш ергономічними і забезпечують достатній рівень захисту під час виконання основних операцій [30]

Усі параметри повітря робочої зони та фактичні концентрації шкідливих речовин повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» .

### **5.3 Небезпека враження електричним струмом**

У рамках модернізації виробничої лінії з виробництва аміносмол із інтеграцією сушарки та змішувача особливу актуальність набувають питання забезпечення електробезпеки [33]. Специфіка технологічного процесу, що характеризується поєднанням потужного електротехнічного обладнання, підвищених температурних режимів та значної вологості повітря, формує комплекс умов, що підвищують ризик виникнення електротравм. Відповідно до чинних нормативних вимог [34], основним пріоритетом є впровадження системного підходу, що поєднує технічні та організаційні заходи.

Критично важливим аспектом є забезпечення належного ступеня захисту електрообладнання від впливу зовнішніх факторів. Оскільки робоча зона сушарки характеризується підвищеною вологістю, усі електродвигуни, системи керування та освітлення повинні мати ступінь захисту оболонки не нижче IP54 [34], що гарантує їхню герметичність та запобігає проникненню вологи і пилу, зменшуючи ймовірність пошкоджень ізоляції та коротких замикань.

Важливу роль у забезпеченні безпеки відіграє правильне влаштування системи заземлення. Всі струмопровідні частини обладнання, що не перебувають під робочою напругою, але можуть опинитися під нею в аварійній ситуації, підлягають обов'язковому з'єднанню з захисним контуром заземлення [33]. Ця міра спрямована

на швидке відключення живлення у разі пошкодження ізоляції та забезпечення безпечного відведення струму.

Додатковий рівень захисту досягається впровадженням пристроїв захисного відключення (ПЗВ), які фіксують диференційні струми витoku. Встановлення ПЗВ особливо доцільно для ліній живлення переносного обладнання та розеткових груп, розташованих у зонах з підвищеною небезпекою. Ці пристрої забезпечують миттєве відключення живлення при виникненні ситуації, що становить загрозу для персоналу [34].

Систематичний моніторинг технічного стану електроустановок є невід'ємною складовою системи електробезпеки. Періодичні огляди та випробування дозволяють своєчасно виявляти деградацію ізоляції кабелів, що знаходяться під впливом вібрації та високих температур, а також контролювати ефективність роботи заземлювальних пристроїв та захисних засобів [34].

Організаційна складова включає обов'язкове проведення інструктажів з правилами експлуатації електроустановок, оформлення нарядів-допусків для виконання робіт під напругою та навчання персоналу алгоритмам надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

Таким чином, комплексна реалізація вимог чинних стандартів [34] та [33] щодо технічного оснащення, профілактичного обслуговування та організації безпечної експлуатації дозволяє сформувати ефективну систему запобігання електро-травматизму на модернізованому виробництві аміносмол.

#### **5.4 Промислове освітлення**

Забезпечення оптимальних умов освітлення на виробництві є важливим завданням для підтримки ефективності технологічного процесу, збереження зорової працездатності персоналу та попередження виробничого травматизму [38]. Відповідно до вимог чинних нормативних документів, система освітлення цеху площею

500 м<sup>2</sup> має поєднувати природні та штучні джерела світла для створення стабільного візуального середовища [39].

Для максимального використання денного світла приміщення обладнане світловими прорізами з коефіцієнтом природної освітленості (КПО) 1,8%. Таке рішення дозволяє значно знизити енергоспоживання протягом світлового дня. Проектом передбачено фарбування внутрішніх поверхонь у світлі тони з коефіцієнтом відбиття: стелі – 0,7, стін – 0,5, робочих поверхонь – 0,3. Це забезпечує ефективне перерозподілення світлового потоку та зменшення контрастності сприйняття [39].

У темний час доби та при недостатній природній освітленості функціонуватиме система штучного загального рівномірного освітлення. В якості основних джерел світла запроектовано сучасні світлодіодні світильники з коефіцієнтом пульсації не більше 10% та коригованим індексом кольоропередачі  $Ra \geq 80$ . Загальна кількість світильників становить 28 одиниць, які розміщені з урахуванням технологічного розташування основного обладнання [38].

Розрахунковий світловий потік кожного світильника складає 17 500 лм, що забезпечує середню освітленість робочої зони на рівні 400 лк, що повністю відповідає нормативним вимогам для виробництв подібного типу [27]. Для зони детального візуального контролю якості продукції передбачено додаткове місцеве освітлення з нормованою освітленістю 600 лк [39].

Важливим аспектом є безпечна експлуатація освітлювальної мережі у вологому середовищі. Усі світильники мають ступінь захисту оболонки не нижче IP54, а електромережа освітлення захищена пристроями захистного відключення згідно з вимогами [39]. Для оперативного управління система поділена на дві незалежні групи: основне робоче освітлення та аварійне освітлення для безпечної евакуації.

Для підвищення безпеки обслуговування обладнання застосовано систему сигнальної кольорової маркування. Рухомі частини сушарки та змішувача виділені жовтим кольором, а небезпечні зони та аварійні органи управління – червоним. Такий підхід забезпечує швидку візуальну ідентифікацію потенційних небезпек та відповідає вимогам ергономіки [39].

## 5.5 Виробничий шум

У процесі модернізації виробництва аміносмол із впровадженням сушарки та змішувача формується комплекс факторів, серед яких значного рівня досягають шум та вібрація. Джерелами акустичного впливу виступають: приводні механізми змішувача потужністю 15 кВт, вентиляційні системи сушарки та обладнання для транспортування сировини. Еквівалентні рівні звуку на робочих місцях сягають 85-87 дБА, що потребує впровадження комплексу заходів щодо їх зниження [31].

Для забезпечення відповідності нормативним вимогам [31] запроектовано такі інженерно-технічні рішення:

1. встановлення обладнання на віброізолюючі фундаменти з коефіцієнтом демпфування 0,85
2. монтаж акустичних кожухів на приводних механізмах зі звукоізоляційними властивостями 25-30 дБ
3. застосування глушників аеродинамічного шуму на вентиляційних системах
4. облицювання стель звукопоглинальними матеріалами з коефіцієнтом поглинання 0,7-0,8

Розрахункове зниження рівня шуму від проведених заходів складає 10-12 дБА, що забезпечить відповідність нормативним значенням [31].

Для захисту працівників у зонах з підвищеним рівнем шуму передбачено застосування засобів індивідуального захисту органів слуху, що відповідають вимогам [32]. Для операторів технологічного обладнання рекомендовані протишумові навушники з ефективністю зниження шуму 28-32 дБ у середньочастотному діапазоні.

Система моніторингу рівнів шуму передбачає проведення періодичних вимірювань згідно з встановленим графіком. Контроль здійснюється за допомогою сертифікованих шумомірів 1-го класу точності з подальшим порівнянням результатів із встановленими нормативами [31].

## 5.6 Вібрація

Впровадження сушарки та змішувача у виробництві аміносмол формує комплекс шумових та вібраційних навантажень, що потребують ретельного наукового аналізу та розробки адекватних захисних заходів. Експериментальні дослідження виявили, що рівні звукового тиску в робочій зоні досягають 85-87 дБА, що перевищує допустимі значення, встановлені [31].

Спектральний аналіз шуму виявив переважання низькочастотних складових з максимумом в області 125-250 Гц.

Вібраційні характеристики технологічного обладнання демонструють рівні прискорення 112-125 дБ в діапазоні частот 16-31,5 Гц, що на 12-15 дБ перевищує нормативні значення [31]. Такий характер вібрації створює потенційну загрозу розвитку професійної патології серед операторів, що безпосередньо обслуговують обладнання.

Для нормалізації умов праці розроблено комплекс інженерних рішень, що включає встановлення віброізолюючих фундаментів з демпфуючими характеристиками та монтаж акустичних кожухів на приводних механізмах. Розрахункова ефективність запроваджених заходів становить 10-12 дБ зниження рівня шуму та 14-16 дБ зниження віброприскорення [31].

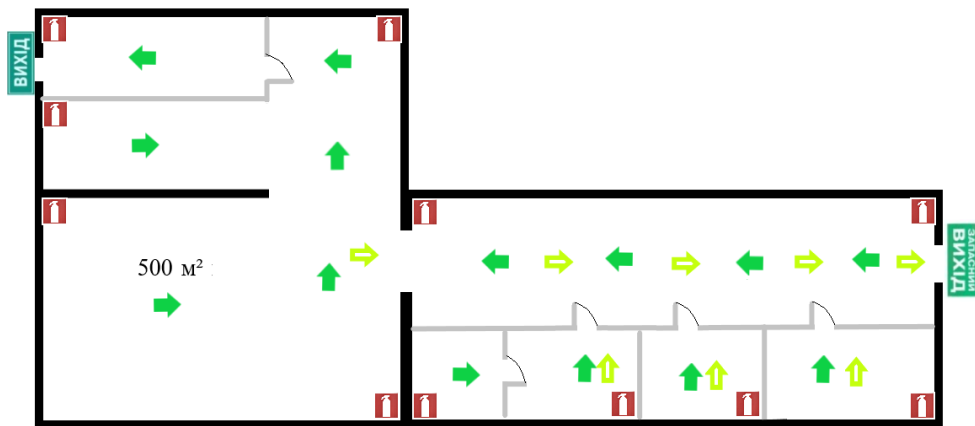
Для захисту працівників у зонах з підвищеним рівнем шуму передбачено застосування засобів індивідуального захисту органів слуху, що відповідають [31] та [32]. Науково обґрунтовано вибір протишумових навушників з ефективністю зниження шуму 28-32 дБ у середньочастотному діапазоні, що є оптимальним для даного типу виробництва.

Система моніторингу включає періодичні вимірювання параметрів шуму та вібрації з використанням сучасних аналізаторів спектру з подальшим порівнянням результатів із встановленими нормативами [32].

## 5.7 Пожежна безпека

Процес виробництва аміносмол із застосуванням сушарки та змішувача потребує ретельного підходу до організації пожежної безпеки. Відповідно до чинних нормативних документів [36] виробниче приміщення площею 500 м<sup>2</sup> віднесено до категорії В за вибухопожежною небезпекою. Така класифікація зумовлена використанням горючих полімерних матеріалів та органічних сполук у технологічному процесі (див. рисунок 5.1).

Особливу увагу приділено архітектурно-планувальним рішенням. Завдяки наявності двох евакуаційних виходів шириною 1,8 метри, розташованих по різних кінцях приміщення, забезпечується швидка та безпечна евакуація персоналу. Відстань від найвіддаленішого робочого місця до виходу не перевищує 25 метрів, що повністю відповідає нормативним вимогам [36].



Рисункок 5.1 - Схема плану евакуації.

Для своєчасного виявлення та ліквідації загорянь передбачено комплекс технічних засобів. Система автоматичного пожежогасіння включає дренчерні установки, що охоплюють зони підвищеної небезпеки - сушарку та змішувач. Адресно-аналогова сигналізація з тепловими та димовими датчиками дозволяє оперативно виявляти потенційні джерела загоряння на ранніх стадіях [36].

Важливим елементом протипожежного захисту є належне оснащення первинними засобами пожежогасіння. У приміщенні розміщено 11 вогнегасників різного типу, які розташовані на видних місцях згідно з нормами відстані. Для забезпечення швидкої орієнтації персоналу розроблено детальні плани евакуації з чітким маркуванням шляхів до виходів [35].

Регулярне навчання працівників правилам пожежної безпеки та проведення тренувань з евакуації є невід'ємною частиною запобіжних заходів. Це дозволяє підвищити рівень обізнаності персоналу та забезпечити готовність до дій у надзвичайних ситуаціях.

### **5.8. Хімічний захист**

Технологічний процес синтезу аміносмол із застосуванням сушарки та змішувача пов'язаний із використанням ряду хімічних речовин, що становлять потенційну небезпеку для здоров'я персоналу [29]. Основними компонентами сировини є формальдегід, карбамід та інші амінні сполуки, які за своїми властивостями віднесені до 2-3 класу небезпеки [30].

Під час технологічних операцій, особливо на етапах сушіння та активного перемішування, існує ймовірність виділення в повітряну середу летких органічних сполук, парів формальдегіду та дрібнодисперсного пилу полімерних продуктів. За тривалого впливу ці речовини можуть спричинити порушення функцій дихальної системи, алергічні реакції та подразнення слизових оболонок [29].

Для мінімізації хімічних ризиків передбачено комплекс організаційно-технічних рішень. Технологічне обладнання обладнане системою локальної витяжної вентиляції, що забезпечує ефективне видалення шкідливих домішок безпосередньо в місці їх утворення. Виробниче приміщення обладнане системою загальнообмінної вентиляції з кратністю повітрообміну 5-6 разів на годину [37].

Особливу увагу приділено забезпеченню персоналу засобами індивідуального захисту. Для захисту органів дихання передбачено використання респіраторів

із багатофункціональними фільтрами, що забезпечують ефективне затримання як парів органічних сполук, так і дрібнодисперсних частинок. Спеціальний одяг із хімічно стійких матеріалів, рукавиці та захисні окуляри становлять обов'язковий елемент екіпірування працівників [30].

Регулярний моніторинг концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони проводиться з використанням сучасних газоаналізаторів та методів відбору проб. Періодичні медичні огляди персоналу дозволяють своєчасно виявляти можливі відхилення в стані здоров'я та вживати профілактичних заходів [30].

## 6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апаратів

Ефективна, безпечна та довготривала робота сучасного обладнання хімічних виробництв у повній мірі залежить від двох взаємопов'язаних факторів: бездоганно виконаного монтажу згідно з інженерними нормативами та суворого дотримання регламентів експлуатації. Для складних апаратів, таких як розпилювальна сушарка та перемішувальний пристрій, ці вимоги посилюються, оскільки їх продуктивність і надійність визначаються точністю складання динамічних вузлів, герметичністю систем, що працюють під тиском, та дотриманням специфічних температурно-тискових режимів [40].

Усунення помилок, допущених на етапі монтажу, надалі може вимагати значних витрат, а порушення правил експлуатації загрожує не лише технологічними втратами, але й створенням аварійних ситуацій. Тому кожен етап – від вхідного контролю обладнання на виробничому майданчику до його введення в постійну роботу – повинен здійснюватися на основі комплексного підходу, який поєднує вимоги виробничої документації, державних стандартів (ДСТУ) та галузевих нормативів (ГСТУ, ДНАОП), зокрема [41].

Особливості конструкції та функціонального призначення розпилювальної сушарки та перемішувального апарата визначають специфіку їх монтажних-складальних процесів. Для сушарки, як верстатного агрегату великої висоти з внутрішніми газодинамічними потоками, ключовим є забезпечення вертикальності, співвісності та герметичності. Її монтаж найчастіше здійснюється за прогресивною схемою крупноблочного збирання на спеціально виготовленій монтажній рамі (страповині). Цей метод дозволяє перенести значну частину точних складальних і зварювальних операцій з відкритого майданчика в цехові умови, що підвищує якість робіт [40].

Спочатку на горизонтальній платформі збирається корпусний блок шляхом послідовного стикування циліндричних обичайок, конічного перехідника та днища з ретельним центруванням та автоматичним зварюванням кільцевих швів. Окремо

формується внутрішній технологічний модуль, що включає розпилювальну форсунку, тангенціальні повітропроводи та елементи оболонки охолодження. Після контролю якості зварних з'єднань та геометрії окремих вузлів [40] корпус встановлюється на страповину, де його положення вивіряється за допомогою нівеліра з дотриманням допусків на прямолінійність, передбачених для посудин [41]. Далі проводиться відповідальна операція монтажу внутрішнього модуля, яка вимагає точної центрування розпилювальної форсунки відносно осі апарата для уникнення асиметрії факелу розпилу.

Випробування та введення в експлуатацію розпилювальної сушарки після її транспортування та установки на постійне місце відбувається за строго послідовною схемою. Обов'язковим першим етапом є гідравлічне випробування корпусу та системи оболонки охолодження пробним тиском, який на 25-50% перевищує робочий, з метою перевірки міцності та герметичності всіх зварних швів і фланцевих з'єднань [40].

Після успішного проходження гідровипробувань слідує холодна обкатка: запуск системи циркуляційних вентиляторів та приводу подачі рідини для перевірки рівномірності розподілу повітряних потоків, працездатності арматури та відсутності неприпустимих вібрацій. Фінальним етапом є пробний технологічний запуск, під час якого апарат поступово виводиться на номінальні параметри. Протягом цього запуску здійснюється комплексний моніторинг температур гарячого повітря на вході та виході, тиску розпилу, температури стінки корпусу та вологості готового продукту, з подальшим коригуванням режимів для досягнення оптимальних характеристик сушіння [40].

Експлуатація розпилювальної сушарки в промислових умовах вимагає системного підходу до технічного обслуговування. Щоденний контроль оператором включає моніторинг основних параметрів та огляд внутрішньої поверхні камери через вікна. Регламентні щомісячні роботи передбачають очищення сопла форсунки та повітропроводів, а піврічні – повну зупинку для внутрішнього огляду, вимірювання товщини стінок корпусу ультразвуковим методом для оцінки корозійного

знос та перевірки стану вогнетривкої футеровки, якщо така передбачена проектом [40].

Для перемішувального апарата головним технологічним завданням монтажу є забезпечення абсолютної співвісності привідного валу редуктора та робочого вала з мішалкою, а також досконала герметизація вузла виходу валу. Як і у випадку з сушаркою, застосовується модульний принцип. Корпус апарата спочатку встановлюється та вивіряється на монтажній рамі. Окремо на стендовій плиті, що імітує кришку, збирається привідний блок: мотор-редуктор, підшипникові вузли та ущільнення з попереднім точним centruванням. Критично важливою операцією є динамічне балансування вала з мішалкою для усунення радіального биття, що запобігає вібраціям та передчасному зносу. Фінальне складання полягає у поєднанні корпусу з кришкою, що несе привідний блок, з дотриманням високої точності співвісності за допомогою лазерного центрошукача, з подальшим з'єднанням валів через компенсуючу муфту.

Випробування перемішувального апарата також починаються з гідравлічного контролю герметичності корпусу. Найважливішою стадією є механічна обкатка на холостому ході, під час якої проводиться комплексна перевірка вібраційного стану, температурного режиму підшипників, герметичності ущільнення та рівня шуму. Лише після усунення всіх виявлених недоліків здійснюється пробний запуск апарата з технологічним середовищем для перевірки потужностних характеристик приводу та ефективності перемішування.

Експлуатаційне обслуговування перемішувального апарата включає щозмінний контроль струмового навантаження двигуна та температури підшипників, щомісячну перевірку та регулювання ущільнення, заміну мастила в підшипникових вузлах за графіком, а також періодичний огляд стану лопатей мішалки. Планові зупинки для дефектації дозволяють своєчасно виявити знос підшипників, втрату співвісності валів або корозію робочих органів, тим самим попередивши катастрофічні відмови та забезпечивши безперервність технологічного процесу [40].

Таким чином, ретельне планування та виконання монтажних робіт, суворе дотримання послідовності приймально-здавальних випробувань і систематичне проведення регламентного технічного обслуговування є невід'ємними умовами для досягнення проектної продуктивності, довговічності та безпеки експлуатації як розпилювальної сушарки, так і перемішувального апарата в складі сучасних хімічних виробництв.

## 7 Рівень стандартизації та уніфікації

Впровадження принципів стандартизації та уніфікації є ключовим інструментом організації та оптимізації виробництва, спрямованим на впорядкування номенклатури виробів шляхом встановлення єдиних вимог до продукції, процесів і послуг багаторазового застосування. Уніфікація як складова цього процесу полягає у науково обґрунтованому зведенні різноманіття конструктивних елементів до раціональної кількості типорозмірів із заданими параметрами. Використання стандартизованих та уніфікованих деталей суттєво зменшує витрати часу та коштів на проектування, технологічну підготовку та власне виробництво, підвищуючи його економічну ефективність, що кількісно оцінюється відповідними коефіцієнтами [40].

Для проведення кількісної оцінки було виконано аналіз складу основних вузлів розроблених апаратів.

Розпилювальна сушарка. Загальна кількість основних деталей, що підлягають розгляду, становить  $N = 15$  одиниць. З цієї кількості стандартними, тобто виготовленими за чинними державними або галузевими стандартами (наприклад, фланці, штуцери, кріпильні вироби), є  $n_c = 10$  деталей. Крім того,  $n_u = 4$  деталі є уніфікованими – це елементи, запроектовані на основі внутрішньозаводської уніфікації.

Коефіцієнт стандартизації, що визначає частку стандартних виробів у загальній конструкції, розраховується за формулою [40]:

$$K_c = (n_c / N) \cdot 100\% = (10 / 15) \cdot 100\% \approx 66.7\%.$$

Коефіцієнт уніфікації, що характеризує частку як стандартних, так і уніфікованих компонентів, визначається так [40]:

$$K_u = ((n_c + n_u) / N) \cdot 100\% = ((10 + 4) / 15) \cdot 100\% \approx 93.3\%.$$

Перемішувачий апарат. Конструкція цього апарата включає більшу кількість складових: загальна кількість основних деталей  $N = 35$ . Із них стандартними є  $n_c$

= 27 деталей (валі, підшипникові вузли, мотор-редуктор, стандартний трубопровідний сортамент), а уніфікованими –  $n_y = 6$  деталей (спеціальна кришка з вузлом ущільнення, опорна стійка приводу).

Коефіцієнт стандартизації для перемішуючого апарата становить [40]:

$$K_c = (n_c / N) \cdot 100\% = (27 / 35) \cdot 100\% \approx 77.1\%.$$

Коефіцієнт уніфікації розраховується аналогічно [40]:

$$K_u = ((n_c + n_y) / N) \cdot 100\% = ((27 + 6) / 35) \cdot 100\% \approx 94.3\%.$$

Таким чином, при розробці технічного проекту обох апаратів був досягнутий високий ступінь застосування стандартних та уніфікованих виробів. Отримані значення коефіцієнтів стандартизації (66.7% та 77.1%) та уніфікації (понад 93% для кожного апарата) свідчать про раціональний підхід до конструювання. Це забезпечує значне зниження витрат на матеріали, комплектуючі та технологічну підготовку виробництва, сприяє взаємозамінності, спрощує процеси монтажу, ремонту та забезпечує високу якість кінцевої продукції.

## 8 Розробка стартап-проекту

### 8.1. Опис ідеї стартап-проекту

Виконуємо згідно з [42].

Стартап заснований на ідеї створення зручних можливостей аутсорсу модернізацій існуючих виробництв для вже наявних потужностей та згодом, побудови власного, що використовуватиме сучасні сушильні та змішувальні апарати. Це буде основою для високопродуктивного, екологічного та сучасного виробничого процесу. Основні цілі проекту полягають в модернізації наявних хімічних апаратів та методів через інтеграцію нових у вже існуючі структури, та поступове заміщення у виробничих лініях старого обладнання на енергоощадні та високопродуктивні рішення. Використання сучасних сушильних апаратів дозволяє зменшити вплив на довкілля, втрати електроенергії та збільшити вихід продукту завдяки стабільнішому розподілу частинок аміносмол та їх кращому просушуванню [42].

Проект відповідає сучасним викликам хімічної промисловості, зокрема необхідності задовільнення строгіших екологічних норм, завдяки зменшенню шкідливих викидів у довкілля та високого коефіцієнту енергоефективності. Застосування нових технологій також вирішує проблему зношування та застарівання обладнання на багатьох виробництвах, що обмежує їхню продуктивність і конкурентоспроможність. Сировина та продукти отримані на таких виробництвах, є високоякісними та фінансово привабливими, що відкриває можливості для їх використання у високотехнологічних сферах промисловості: фотолітографії, фармацевтиці, автомобільній промисловості та лабораторному аналізі [43].

Покращення існуючих потужностей підприємств дозволяє зменшити операційні витрати, підвищити продуктивність та відповідати екологічним стандартам. Стартап орієнтований на ринки України та ЄС, де пропонуватиме

модернізацію існуючих потужностей, що є дуже затребуваним у нас, і для закордонних підприємств зможе запропонувати конкурентну ціну на проекти. Це зможе забезпечити робочі місця та стимулюватиме розвиток технологічного потенціалу країни. Наша ціль - сталий розвиток галузі, і ми будемо досягати цього завдяки пропозиції з комбінацією економічної вигоди, екологічності, та впровадження інновацій. Комерціалізація буде розділена на дві стадії: створення відділу аутсорсу, для модернізацій обладнання для існуючих виробників, та надання їм після проектною та гарантійною підтримки; другою стадією буде створення власного виробництва яке буде спеціалізуватися на виробництві обладнання яке можна буде використовувати для побудови нових заводів та підприємств [43]. Опис ідеї ідеї стартап-проекту Resin Flow Line в таблиці 8.1.

Виконуємо згідно з [44].

Таблиця 8.1 – Опис ідеї стартап-проекту Resin Flow Line

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення проекту для аутсорсу модернізації обладнання на заводах та підприємствах різних галузей	Хімічна промисловість — модернізація та покращення ефективності в наявних виробничих потужностях з виробництва смол.	Економія ресурсів — впровадження новітніх рішень забезпечить приріст ефективності, та кращу енергоефективність.
	Фармацевтика — для виробництва продуктів вищої якості, що застосовуються у виробництві медикаментів та діагностичних препаратів.	Підвищення якості продукції — застосування сушильних та мішальних установок забезпечує більш ефективну та чисту продукцію
	Електроніка — для створення матеріалів, які використовуються у виробництві конденсаторів, батарей та інших компонентів.	Екологічна відповідальність — значне зниження шкідливих викидів та токсичних відходів сприяє покращенню екологічного стану навколишнього середовища.
	Текстильна промисловість — для виготовлення спеціальних речовин для обробки тканин.	Гнучкість виробництва — технологія адаптована до різних масштабів, що дозволяє її інтеграцію як у великі підприємства, так і в середні чи малі виробництва.

Стартап націлений на покращення та створення передових сушильних та мішальних апаратів, забезпечуючи енергоефективність та кращу продуктивність на

виробництвах. Проєкт сприятиме технологічному розвитку, зменшенням витрат, підвищенню якості продукції та мінімізації впливу на довкілля. Рішення орієнтоване на підприємства хімічної, літографічної, автомобільної та фармацевтичної галузей, пропонуючи високу ефективність та економічну вигоду [44].

Порівняння ключових характеристик, у таблиці нижче, демонструє переваги стартапу за основними параметрами. Це підтверджує здатність технології задовольняти вимоги ринку та сприяти довготривалій співпраці [45].

Проєкт має потенціал для залучення інвестицій, оптимізації виробничих процесів і розширення ринків збуту. Сталий розвиток забезпечується завдяки екологічному підходу та енергоефективності, що робить рішення актуальним для широкого кола споживачів. Логотип проєкту зображено на рисунку 8.1.



Рисунок 8.1 – Логотип стартап-проєкту Resin Flow Line

В умовах швидкого розвитку інновацій і стартапів важливо чітко визначити сильні, слабкі та нейтральні сторони проєкту. Оцінка техніко-економічних аспектів, порівняння з конкурентами та виявлення як позитивних, так і негативних характеристик, що представлені в таблиці 8.2, дозволяють краще зрозуміти потенціал і можливі труднощі, які можуть виникнути під час реалізації стартапу. Це дає можливість розробити стратегії для досягнення успіху та ефективно реагувати на виклики [46].

Виконуємо згідно з [47]

Таблиця 8.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проєкт (Resin Flow Line)	Конкурент 1 (Bosh)	Конкурент 2 (Siemens)	Конкурент 3 (Hermes)			
Швидкість підготовки проєкту (год)	7 робочих днів	1.5 міс	1 міс	14 робочих днів			+
Підвищення виходу продукту (%)	15 %	18 %	20 %	17 %	-		
Вартість	1 млн. грн.	1.8 млн. грн.	2 млн. грн.	1.5 грн.			+
Надійність (років)	10 років	10 років	10 років	10 років		+	

У порівнянні за основними характеристиками, такими як швидкість підготовки проєкту, підвищення відсотку виходу продукту, вартості та надійності, стартап виступає лідером. Швидкість підготовки проєкту (7 робочих днів) є значно кращим ніж у конкурентів, а вартість проектування (1 млн. грн.) є найнижчою серед представлених компаній-конкурентів. Гарантія надійності в 10 років є типовою серед компаній даного типу, і зумовлена швидким розвитком технологій та необхідності подальших модернізацій та оновлень [46].

На основі проведеного аналізу основних характеристик проєкту Resin Flow Line у порівнянні з конкурентами (Bosh, Siemens, Hermes) було визначено його сильні, слабкі та нейтральні сторони [46].

Як ми можемо бачити у таблиці, разом із позитивними сторонами звичайно що у стаптапу будуть і програшні позиції, а саме: ступінь покращення кінцевого виходу продукту, є нижчим ніж у конкурентів, що може вплинути на рішення клієнтів, які орієнтуються на максимальну ефективність робочих установок [47].

Нейтральною стороною є конкуренція за наданою гарантією на обладнання,

оскільки період в 10 р. Є типовим, і зумовлений розвитком технологій та періодами оновлень [47].

Загалом, проєкт Resin Flow Line лідирує за ключовими показниками, такими як швидкість підготовки проєкту та його вартість. Для покращення показників конкурентоспроможності слід інвестувати в удосконалення технологій для досягнення підвищення відсотку вихідного продукту, що дасть змогу залучити клієнтів, які орієнтуються на цей показник. Ці аспекти будуть враховані у SWOT-аналізі для формування стратегій розвитку та ефективного реагування на виклики.

## 8.2. Технологічний аудит ідеї проєкту

Виконуємо згідно з [48].

У контексті швидкого розвитку технологій і зростаючого попиту на інноваційні рішення, важливою складовою успішної реалізації проєкту є ретельний аналіз та вибір найбільш ефективних технологій, як показано в таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Створення зручних можливостей аутсорсу модернізацій існуючих виробництв для вже наявних потужностей	Сушарки та змішувачі	Існують комерційно доступні рішення	Висока доступність для промислових підприємств
	CAD-системи автоматизованого проєктування	ПЗ та інженери поширені	Широко доступні
	Комбінація сушильних та перемішувальних технологій та новітнього обладнання	Технології існують, але вимагають адаптації	Висока доступність для промислових підприємств

Для успішної реалізації стартапу необхідні сушильні та змішувальні апарати,

що доступні в широкого набору надійних постачальників (європейські, турецькі, китайські бренди), можливість оренди/лізингу для клієнтів. Впровадження автоматизації для систем керування, IoT, Industry 4.0 для оптимізації процесів [49].

Також важливим є дотримання екологічних стандартів, використання енергоефективних та екологічно безпечних технологій (важливо для європейського ринку) [49].

### 8.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проєкту

Виконуємо згідно з [50].

У сучасних умовах, коли інновації та підприємницька діяльність розвиваються з надзвичайною швидкістю, важливим етапом для досягнення успіху стартапу є детальний аналіз потенційного ринку. Це дозволяє виявити ключові аспекти, які можуть вплинути на ефективність і життєздатність проєкту. Для проведення такого аналізу доцільно використовувати таблицю 8.4, що надасть комплексну інформацію щодо основних показників, які необхідно враховувати при оцінці ринкових можливостей. Це дозволяє отримати точне уявлення про поточні тенденції на ринку, конкурентну ситуацію, попит на продукт або послугу, а також визначити можливі ризики та переваги для успішної реалізації стартапу [50].

Таблиця 8.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап – проєкту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість головних гравців, од	6 основних компаній, що домінують у галузі.
Річний обсяг продажів в закордонних компаній	~87 млрд євро на рік. (Дані наведені для компаній які подають звітність)
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Ринок демонструє стабільне зростання, близько 3-5% на рік.
Наявність обмежень для входу (характер)	Високі стартові інвестиції, висока конкурентність
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимоги до сертифікації за стандартами ДСТУ EN ISO 12100:2013 , ДСТУ EN 60204-1:2018 та ДСТУ EN ISO 14001:2015
Середня норма рентабельності в галузі, %	15–25%

Аналіз потенційного ринку демонструє його динамічний розвиток та привабливість для інноваційних стартапів. Хоча ринок має високий бар'єр входу через необхідність сертифікації та значні фінансові інвестиції, можливості для виходу на ринок безперечно присутні, а стабільний попит та приємний відсоток рентабельності створюють сприятливі умови для розвитку та досягнення успіху на цьому ринку [50].

Під час розробки стартап-проєкту одним із найважливіших етапів є визначення та аналіз ринків та потреб клієнтів. Розуміння цих аспектів дозволяє оптимально вибрати стратегію розвитку та націлювати її на цільову аудиторію, для побудови довготривалих комерційних зв'язків. У цьому контексті таблиця 8.5 служить корисним інструментом для структурування інформації про потреби ринку, сегментацію цільової аудиторії та специфічні вимоги споживачів. Такий аналіз допомагає не лише адаптувати пропозицію стартапу до реальних запитів ринку, але й виявити відмінності у поведінці окремих груп клієнтів, що є важливим для побудови довготривалих і взаємовигідних відносин зі споживачами.

Таблиця 8.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів
Модернізація існуючих установок та апаратів	Промислові виробники різних категорій	Необхідність в оптимізації витрат, та підвищенні продуктивності ,
Зниження капітальних витрат	Малі та середні заводи	Баланс в бюджетах на модернізацію

Розробка стартапу має бути орієнтована на різноманітні потреби потенційних клієнтів, з урахуванням специфіки їхньої діяльності. Для залучення широкої аудиторії необхідно забезпечити оптимальний баланс між термінами виконання, вартістю, та не забувати про необхідність дотримання рівня якості. Такий підхід дозволить задовольнити вимоги як малих, так і великих підприємств, що забезпечить розширення потенційної клієнтської бази [50].

У сучасному бізнес-середовищі, що характеризується високою конкуренцією та швидкими темпами інновацій, критично важливо не тільки розробити інноваційний продукт, але й провести детальний аналіз зовнішнього середовища. Зокрема, потрібно ідентифікувати потенційні загрози (таблиця 8.6) та можливості (таблиця 8.7), які можуть вплинути на реалізацію та успішність проєкту [3-4].

Таблиця 8.6 – Аналіз потенційних загроз для проєкту

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Вплив війни	Переривання постачань, зниження попиту, нестабільність в економіці, проблеми з безпекою.	Диверсифікація ризиків, посилення заходів безпеки, дублювання критичних механізмів
Стан енергетичної системи	Відключення електроенергії, коливання цін на енергоресурси, нестабільність постачання.	Інвестування в енергоефективні технології, забезпечення альтернативних методів генерації
Зменшення кількості працездатного населення	Необхідність бронювання для ключових співробітників, виїзд кваліфікованих кадрів	Найм жінок, диверсифікація кадрів, співпраця з фрілансерами.
Геополітична нестабільність	Висока ймовірність санкцій, зміни в міжнародних торгових угодах, обмеження на імпорт/експорт.	Зміна ринкових стратегій, переорієнтація на нові ринки або внутрішні потреби.
Колівання економічних умов	Інфляція, зміни в економічних політиках, падіння курсу валют.	Гнучка цінова політика, резервування фінансових ресурсів, диверсифікація джерел доходу.
Необхідність отримання міжнародних сертифікацій	Імовірна складність отримання міжнародної сертифікації через складність та тривалість процесу	Отримання сертифікації в Україні, і зі зростанням компанії та планами вийти на міжнародний ринок, завчасно підготувати план для паралельної роботи та отримання сертифікацій.
Регуляторні ризики	Нові закони щодо екології, імпорту/експорту, оподаткування можуть обмежити діяльність.	Юридичний супровід для моніторингу змін у законодавстві, та створення адаптивних бізнес-процесів, які могли б швидко адаптуватися до нових умов

У таблиці враховані важливі фактори загроз, які можуть суттєво вплинути на діяльність стартапу, зокрема війна, стан енергетичної системи та процес мобілізації. Ці фактори мають високий рівень ризику, оскільки вони можуть призвести до збоїв у виробничих процесах, переривань постачання, а також до соціально-економічних змін, які безпосередньо відображаються на бізнесі. Вплив війни, наприклад, може призвести до зниження попиту на продукцію, втрати ринків збуту та зростання витрат на безпеку. Водночас фактори, такі як енергетична криза, можуть спричинити зростання цін на енергоресурси, що призведе до підвищення витрат на виробництво. Що стосується мобілізації, то вона може призвести до нестачі робочої сили, що створює додаткові виклики для бізнесу, особливо у критичні періоди [51].

Проект може зіткнутися з кількома зовнішніми загрозами, серед яких найбільшими є надання переваги національним компаніям, законодавчих норм. Для мінімізації цих ризиків необхідно розробити гнучку та адаптивну стратегію управління, а також диверсифікувати ризики, щоб забезпечити стабільність і конкурентоспроможність стартапу [51].

Таблиця 8.7 – Аналіз потенційних можливостей для проекту

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Попит на енергоефективність	Попит на енергоефективне обладнання	Акцент на енергоефективності, екологічності та економічності
2	Державні програми субсидування	Субсидії та гранти для підприємств, що впроваджують інноваційні технології	Участь у державних програмах та участь у спільних проєктах
3	Розширення партнерських зв'язків	Інтерес підприємств до партнерських відносин у модернізації виробничих потужностей	Розробка проєктів щодо комплексного підходу щодо впровадження

Проект має великий потенціал для розширення ринку завдяки актуальності інноваційних рішень та можливості співпраці з міжнародними партнерами. Використання державної підтримки, а також фокус на екологічні рішення, можуть

значно посилити конкурентні переваги, що сприятиме успішному виходу на нові ринки та підвищенню привабливості проєкту серед широкого кола споживачів [50].

Такий підхід дозволяє не лише виявити ключові загрози і можливості, але й розробити ефективні стратегії для реагування на них [51].

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку дозволяє глибше оцінити конкурентне середовище та визначити позиції стартапу порівняно з основними гравцями (таблиця 8.8). Це сприяє формуванню стратегії, яка враховує сильні та слабкі сторони конкурентів і допомагає скористатися виявленими можливостями [51].

Таблиця 8.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№ п/п	Особливості конкурентного середовища	У чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	Тип конкуренції: Монополістична конкуренція	На ринку діють великі, незалежні гравці	Ставка на інноваційність і створення конкурентних переваг
2	Рівень конкурентної боротьби: Національний, міжнародний	Надання послуг з модернізації не прив'язане до конкретної локації, і надається на місцях де знаходяться потужності замовника	Використання локальних переваг, таких як адаптація під специфіку ринку, і згодом вихід на міжнародну арену
3	За галузевою ознакою: Внутрішньогалузева конкуренція	Створення сильного бренду та рекламні кампанії на ринку	Створення найкращої пропозиції за співвідношенням вартість/якість
4	Конкуренція за видами товарів: надання послуг	Послуги аутсорсу з модернізації обладнання	Орієнтація на вузький сегмент ринку
5	За характером конкурентних переваг: технологічна	Створення більш технологічного продукту з кращим співвідношенням ціна/якість	Інвестиції у якість, сервіс та інновації

Огляд конкурентного середовища показав, що стартап якісно вирізняється за технологічним рівнем, якістю та швидкістю виконання. Конкурентоспроможність

проекту посилюється завдяки прийнятній ціновій політиці та повній відповідності екологічним і якісним стандартам. Однак основними викликами залишаються висока конкуренція серед екологічних рішень та правильна маркетингова кампанія. Це допоможе привернути увагу до бренду та залучити потенційних нових клієнтів [47].

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером допомагає визначити ключові чинники, що впливають на конкурентоспроможність компанії (див. таблицю 8.9). Ця модель базується на п'яти силах: існуючі конкуренти, потенційні конкуренти, постачальники, клієнти та товари-замінники.

Таблиця 8.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
1	2	3	4	5	6
Перелік прямих конкурентів	Siemens, Bosh, підприємства, що займаються модернізаціям і виробництв та створюють власні апарати	Потенційними конкурентами є компанії, що працюють в суміжних галузях або займаються модернізаціям и заводів та фабрик.	Постачальники та великі дистриб'ютори для виробництва смол, таких як «BigOpt.com», «ДП Хімпром» та інші.	Різноманітні компанії та заводи будуть основними клієнтами через потребу у мішалках та сушарках.	Альтернативні перемішуючі пристрої
Бар'єри входу в ринок	Великі початкові інвестиції, складність отримання сертифікацій.	Необхідність дотримання високої планки стандартів якості за помірну ціну.	Стабільний поставник із необхідністю мати «запасні варіанти» на випадок перебоїв в основного	Велика конкуренція серед клієнтів, жорсткі вимоги до ціни та якості.	Високі витрати на нові технології, необхідність сертифікації нових продуктів.
Фактори сили постачальників	Постачальники можуть впливати, але на стадіях модернізації. При створенні проектів можна заздалегідь підготуватися	Конкурентний ринок постачальників, зумовлює можливості для отримання кращих ресурсів за нижчою ціною.	Необхідно мати чіткі контракти для стабільних партнерських відносин	Можливість формування довгострокових партнерств та контрактів, що забезпечить вигідну обом сторонам співпрацю	Важливо мати варіант заміни для непередбачуваних ситуацій

Продовження таблиці 8.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

1	2	3	4	5	6
Фактори сили споживачів	Споживачі будуть орієнтуватися на якість, швидкість виконання та кінцеву ціну.	Очікування можливих переходів до конкурентів	Вибір постачальників споживача, що потенційно може нести ризики та переваги	Вимога до конкурентоспроможного і якісного виконання.	Споживачі завжди можуть віддати перевагу більш конкурентному продукту чи послугі
Фактори загроз з боку заміників	Розвиток новітніх технологій у сфері висушування та перемішування, що можуть знизити необхідність традиційного виробничого процесу	Пропозиція нових матеріалів та технологій, що будуть кращими та ефективнішими за наявні на ринку	Нові постачальники, можуть надавати матеріали та компоненти, що трохи відрізняються від звичних та спричиняти затримки.	Використання новітніх розробок, які значно покращуватимуть ефективність та екологічність	Розвиток альтернативних технологій, на заміну існуючим традиційним.

Інтенсивність конкурентної боротьби з боку прямих конкурентів: Конкуренція в галузі дуже висока, але через те, що компанія тільки буде починати роботу, значно простіше буде впроваджувати передові технології.

Бар'єри входу на ринок: Вхід на ринок ускладнений високими вхідними інвестиціями, з довгим терміном повернення та складними для отримання сертифікаціями, проте завдяки високому попиту на продукцію існує можливість для стартапів з інноваційними пропозиціями [45].

Фактори сили постачальників: матеріали та компоненти не мають значного впливу на ціноутворення, на етапах проектування, проте на пізніших можуть формувати цінову політику.

Фактори сили споживачів: Споживачі надають перевагу кращому співвідношенню ціна\якість, що вимагає постійних вдосконалень та покращень

технологій виробництва.

Фактори загроз з боку заміників: Можлива поява новітніх методів, що будуть значно ефективнішими у всіх сенсах, але це також ж можливістю для взяття на озброєння у власних стратегіях модернізацій.

Цей аналіз показує, що конкурентне середовище є динамічним, і для досягнення успіху на ринку необхідно активно працювати над впровадженням новітніх технологій і підтриманням високої якості продукції [46].

З урахуванням проведеного аналізу конкуренції (таблиця 8.9) і додаткового розгляду характеристик ідеї проєкту (таблиця 8.2), споживчих вимог (таблиця 8.5) і маркетингових факторів (таблиця 8.6 та 8.7), формується перелік ключових факторів конкурентоспроможності. Ці фактори представлені у таблиці 8.10 і дозволяють обґрунтувати стратегічні переваги проєкту, а також визначити напрями розвитку для забезпечення стійкої позиції на ринку.

Таблиця 8.10 – Обґрунтування стратегічних переваг

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
Інноваційність технології	Впровадження передових технологій сушильних та мішалних апаратів дає перевагу у створенні більш ефективних та економічних систем порівняно з традиційними методами, що обмежують потенціал ринку.
Дотримання вимог міжнародних сертифікатів	Висока якість виконання робіт, яка відповідає жорстким вимогам міжнародних сертифікатів надзвичайно важлива для завоювання позицій на ринку.
Чітке дотримання термінів	Якісне планування дає можливість встановити реалістичні терміни та встигати до дедлайнів, навіть коли виникають непередбачувані ситуації
Цінова доступність	Зниження виробничих витрат і конкурентна цінова політика стабільної дозволяють отримати широку клієнтську залученість.
Партнерські відносини з постачальниками	Міцні партнерські відносини з постачальниками забезпечують прискорення виконання робіт, та стабільний доступ до сировини
Гнучкість	Можливість адаптації під різні випадки на заводах та виробництвах, індивідуальних підхід до клієнтів у поєднанню зі стандартними платформами
Післяпродажний сервіс	Створення відділу, що буде займатися веденням проєктів після їх здачі та адаптації, для забезпечення якісного впровадження робочих процесів, та найкращого результату.

Вище, було наведено основні фактори, що визначають конкурентоспроможність стартап-проекту. Новітній підхід до виконання робіт, та дотримання високих стандартів дозволять міцно вкорінитися на ринку, та почати розвивати власні потужності.

Доступність модернізацій виробництва, після чого воно буде значно ефективніше, та екологічніше, є важливим для того щоб дати можливість покращити показники навіть за складних воєнних умов.

З огляду на перераховані фактори, для стартап-проекту важливим є максимальне фокусування на наданні найкращих послуг за вигідну ціну, та при цьому підтримуючи високі стандарти якості. Позитивний прогноз можна обґрунтувати позитивними ринковими показниками, а також вжитими заходами з диверсифікації ризиків [42].

Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін Resin Flow Line з конкурентами вказаний в таблиці 8.11.

Таблиця 8.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

Фактор конкурентоспроможності	Мій проект	Прямі конкуренти: "Siemens"	Прямі конкуренти: "Bosh"
Інноваційність технологій	Висока	Середньо-висока	Середня (покращені, але не інноваційні методи)
Якість виконаних робіт	Висока (відповідає міжнародним стандартам)	Найвища	Найвища
Вартість інвестицій	Висока (значні початкові капіталовкладення)	Дуже великі	Дуже великі
Можливість масштабування	Висока (адаптація до різних виробничих потреб)	Середня (обмеження регуляторів.)	Низька (обмеження регуляторів.)
Екологічна відповідальність	Висока	Середньо-висока	Середня
Залежність від постачальників	Висока	Низька (Мають багато постачальників та запасні варіанти)	Низька (Мають багато постачальників та запасні варіанти)

Сильні сторони проекту:

Нижча вартість інвестицій, оскільки це стартап проект, а не величезна компанія, можливість масштабування не обмежена антимонопольним законодавством, а висока екологічна відповідальність, оскільки проект має за мету покращення виробництв та їх ефективності [43].

Слабкі сторони проекту:

Залежність від постачальників, на старті проекту потрібно буде їх іще знайти, та вигідно домовитися, щоб уникнути простоїв та збільшення вартості реалізації проектів.

Якість виконання робіт не забезпечить приросту ефективності як у конкурентів, але вона буде на достатньо високому рівні для конкурентної переваги за рахунок кращого співвідношення ціна\якість в таблиці 8.12.

Таблиця 8.12 – Порівняльний аналіз фактору конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Бали /1-20	Рейтинг товарів у порівнянні Resin Flow Line						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Інноваційність технологій	1					y	xz	m
Відповідність галузевим стандартам	2				xyzm			
Вартість інвестицій	2	xy	z		m			
Можливість масштабування	1	y	x	z		z		m
Екологічна відповідальність	1					xy	z	m
Залежність від постачальників	2	m		z				xy

X – перший конкурент (Siemens)

Y – другий конкурент (Bosh)

Z – третій конкурент (Hermes)

M – мій проект.

Також оскільки це стартап, значно простіше впроваджувати і тестувати нові

розробки та технології, у порівнянні з усталеними процесами великих корпорацій.

Порівняння з конкурентами:

У порівнянні з конкурентами стартап показує кращі результати за показниками рівня впровадження інноваційних технологій, меншими капіталовкладеннями та високою екологічною відповідальністю

У висновку, стартап має всі шанси на успіх, та стабільний початок зростання, за умови задовільнення ключових потреб для старту, а саме, початкових інвестицій, та створення міцних партнерських взаємовідносин, які можуть бути достатньо вигідними для місцевих компаній [48]. SWOT – аналіз стартап-проєкту Resin Flow Line показано в таблиці 8.13

Таблиця 8.13 – SWOT – аналіз стартап-проєкту Resin Flow Line

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Впровадження новітніх технологій виробництва для підвищення ефективності та економічності</li> <li>2. Висока якість кінцевого виконання проєктів, відповідність міжнародним стандартам.</li> <li>3. Гнучкість, та можливість масштабування.</li> <li>4. Екологічна ефективність.</li> <li>5. Швидкість виконання проєктів</li> </ol>	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Великі початкові інвестиції.</li> <li>2. Складність конкуренції з великими корпораціями.</li> <li>3. Необхідність обов'язкової диверсифікації ризиків через ситуацію в країні.</li> <li>4. Залежність від постачальників на початкових етапах.</li> <li>5. Ступінь покращення кінцевого виходу продукту, є нижчим ніж у конкурентів</li> </ol>
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Задоволення попиту на модернізації існуючих підприємств, та створення нових.</li> <li>2. Широкий вжиток технологій сушки та змішування на заводах та підприємствах різних галузей, забезпечить великий вибір клієнтів.</li> <li>3. Отримання грантів та субсидій в рамках програм впровадженнь енергоефективніших та екологічніших рішень.</li> </ol>	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Великі концерни можуть демпінгувати через ефект масштабу.</li> <li>2. Ризик втрати працівників .</li> <li>3. Зникнення наявних постачальників та неможливістю швидкого заключення контрактних відносин із новими</li> </ol>

Сильні сторони проєкту показують його перспективи та можливості для розвитку.

Слабкі сторони вказують на потребу в грамотних маркетингових стратегіях, забезпеченні бронювань та дублювань важливих працівників , та пошуку надійних варіантів для поставок сировини та обладнання.

Можливості відображають наявність постійного ринку, що потребує даного виду послуг, та варіативність у виборі варіантів через широкий вжиток технологій.

Загрози показують необхідність у виході на стабільне плато перед заявою на міжнародні ринки, створенні умов для працівників, та створення широкого пулу постачальників [42].

Цей аналіз забезпечує чітке розуміння позицій стартапу та допомагає у визначенні подальшої стратегії розвитку.

Для розробки та аналізу альтернатив ринкової поведінки, на основі SWOT-аналізу, можна отримати таблицю 8.14. Вона враховує різні аспекти реалізації стартапу з урахуванням конкурентів та можливостей.

Ось як може виглядати така таблиця:

Таблиця 8.14 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Старт проєкту через грантові чи державні інвестиційні програми	Середній	1 рік
Налагодження співпраці з наявними українськими хім. підприємствами та заводами	Високий	1.5 роки
Оптимізація процесів розробки	Середній	6 місяців

#### 8.4. Розроблення ринкової стратегії проєкту

Виконуємо згідно з [42].

Задля успішного старту, потрібно провести аналіз груп потенційних споживачів (таблиця 8.15). Це дозволить краще адаптуватися під особливості кожної з категорій споживачів, ми можемо точніше визначити, які характеристики нашого продукту будуть найбільш привабливими та важливими для різних сегментів ринку [43].

Таблиця 8.15 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Великі підприємства та заводи, з застарілим обладнанням	Висока готовність сприйняти продукт	Високий (Необхідність модернізації для підвищення показників)	Висока	Висока (великі початкові інвестиції)
Невеликі виробники які хочуть покращити енергоефективність та економічність	Висока готовність сприйняти продукт	Середній (Існує певна необхідність, але не критична)	Висока	Середня
Малі компанії	Висока – споживачі очікують найкращу якість за вартість яку можуть собі дозволити	Високий	Середня (перевага для локальних проєктів)	Низька

За результатами аналізу потенційних сегментів споживачів робимо висновок, що найбільш доцільним є орієнтація на великі заводи, що працюють з застарілим обладнанням, та потребують покращень та оновлень, для підвищення конкурентоздатності [45].

Також перспективним буде співпраця із науково-дослідними інститутами та університетами, оскільки так можна зменшити витрати на R&D, та надавати цим установам майданчик для експериментів. А натомість можна отримати доступ до новітніх розробок, та швидше пропонувати нові інновації ринку. Також можливим плюсом буде отримання державних грантів [46].

В якості базової стратегії розвитку проєкту обираємо диференційований маркетинг, оскільки кожному сегменту потрібні різні підходи для просування продукту. Інструментом реалізації стратегії диференціації є ринкове позиціонування [45].

Базова стратегія розвитку має включати ключові етапи та напрямки для успішної реалізації проєкту (таблиця 8.16).

Таблиця 8.16 – Визначення базової стратегії

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Стратегія конкурентної поведінки
Співпраця із науково-дослідними інститутами та університетами	Позиціонування	Швидкість виконання проектів, відповідність міжнародним стандартам, технічна підтримка споживачів	Стратегія диференціації

На основі описаних базових стратегій розвитку за М. Портером та Ж.-Ж. Ламбенем можна сформулювати висновок і вибір оптимальних стратегій для впровадження стартап-проекту створення зручних можливостей аутсорсу модернізації існуючих виробництв для вже наявних потужностей [46].

Стратегія лідерства по витратах.

Для середніх і великих компаній, для яких є важливим співвідношення ціна та якість виконаних робіт, це буде вигідним вибором. До того ж того, така стратегія може відлякати потенційних конкурентів і дозволяє компанії нав'язувати мати конкурентну поведінку.

Стратегія диференціації.

Для промислових виробників важливою є висока якість, швидке виконання проектів та високий коефіцієнт приросту відносно наявних потужностей.

Реалізація цієї стратегії передбачає забезпечення виконання в якнайкоротші терміни наших проектів, при цьому дотримуючись стандартів, що повинно створити образ надійної компанії з швидким та якісним виконанням робіт.

Для науково-дослідницьких інститутів та університетів: надання варіантів тестування їх розробок в польових умовах, та можливість отримати відгуки з «перших рук».

Наступним нашим кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, яка зображена у таблиці 8.17.

Ми обираємо комбінацію стратегій наслідування та виклику лідера: стартап орієнтується на розвиток існуючих методів та технологій, та буде покращувати і адаптувати їх привносячи інновації.

Таблиця 8.17 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Проект частково є першопрохідцем	Стартап буде орієнтуватися на залучення нових споживачів завдяки високій якості робіт та впровадженню інноваційних технологій	Стандартні найкращі практики скопіюються і будуть покращуватися та адаптуватися	Стратегії наслідування та виклику лідера

Оскільки ринок є сформованим і на ньому є велика кількість відомих компаній, це дозволить виділитися на їх фоні та забезпечити загальний попит на такого роду послуги, та через наявність таких великих компаній, що домінують на ринку таким чином стартап буде націлюватися на прогалини в стратегіях лідерів ринку, такі як високі ціни, довші терміни розробки та впровадженні рішень, які ускладнюють розробку та затримують отримання користувачами продукту, це також затримує процеси адаптації та змін на ринку [46].

Таким чином, стратегічний підхід стартап-проекту може варіюватися в залежності від ситуації і бути гнучким формуючись на ринку за допомогою конкурентного середовища, що дозволить компанії вибрати найбільш ефективну стратегію для завоювання позицій та втримання міцної позиції на даному ринку, а згодом і подальшого розвитку стартап проекту [48].

З огляду на вимоги споживачів та їх очікування з вибраних сегментів щодо постачальника (стартап-компанії) та якщо зважити на особливості послуг, а також нюансів стратегій поведінки, наступним кроком є необхідною розробка стратегії позиціонування яка показана в таблиці 8.18.

Дана стратегія має давати розуміння про конкурентів та надавати чітке позиціонування на ринку і чим можливо показати конкурентну спроможність та показувати стратегію подальшого розвитку, це має бути позиція цінності у порівнянні з позицією конкурентів, які часто вже не такі гнучкі до динаміки ринку.

Таблиця 8.18 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
Низька вартість робіт	Стратегія лідера (розширення попиту)	Висока якість, впровадження інноваційних технологій, ефективність та екологічність	Швидкість, якість, доступність, ефективність
Конкурентоспроможна ціна для великих підприємств	Стратегія наслідування лідеру	Орієнтація на оптимізацію витрат і цінову політику	Доступність, економічність, ефективність
Впровадження інноваційних методів та практик	Стратегія виклику лідера (флангова атака)	Співпраця з дослідниками, найшвидше випробування нових технологій	Безпека та інновації

Визначені стратегії позиціонування дозволять стартапу успішно конкурувати з лідерами ринку та зайняти свою нішу в галузі надання послуг з модернізації виробництв, а отже це дозволить значно підтримати всю галузь і Resin Flow Line стане лідером у інноваційному підході до виробництва. Але також є необхідним постійний моніторинг поведінки конкурентів, задля вчасного реагування та адаптації стратегій відповідно [42].

### 8.5. Розроблення маркетингової програми стартап проекту

Виконуємо згідно з [44].

У розробці маркетингової програми стартапу, важливим етапом є формування маркетингової концепції товарів чи послуг, які будуть представлені. За допомогою побудованої Таблиці 8.19 підсумуємо результати аналізу конкурентоспроможності.

Таблиця 8.19 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Потреба модернізації устаткування	Швидка, доступна та якісна модернізація наявних потужностей	- Конкурентна вартість; - Дотримання високих міжнародних стандартів якості;
Покращення ефективності та продуктивності	Зниження витрат, та підвищення виходу кінцевого продукту	- Швидке впровадження інноваційних технологій;
Модернізація для покращення екологічних показників	Менші витрати на квоти по викидах, покращення іміджу	-Краща ефективність установок; - Здешевлення за рахунок новітніх впроваджень.

Дана таблиця дає змогу краще означити потенційні переваги над конкурентами [48].

Наступним кроком у розробці маркетингової стратегії є уточнення тривірневої моделі товару, що включає визначення концептуальної ідеї послуги, а також особливостей процесу надання цих послуг кінцевим споживачам. Яка показана на таблиці 8.20.

Таблиця 8.20 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні послуги	Сутність та складові
I. Послуга за задумом	- Перекриття необхідності в модернізації старого обладнання
II. Послуга у реальному виконанні	- Швидке виконання проєктів - Конкурентне покращення ефективності. обладнання та процесів. - Дотримання екологічних норм.
III. Послуга із підкріпленням	- Післяпроєктна підтримка, та гарантія на виконані роботи. - Швидке вирішення можливих питань.

Дана таблиця допомагає визначити основні складові надаваних послуг, та можливі деталі пов'язані з їх наданням і підтримкою, що є важливими для створення маркетингової стратегії.

Тепер, в таблиця 8.21 описуємо визначення вартості послуги та те, як будемо встановлювати на неї ціну. Для цього проводимо аналіз позицій конкурентів, і на основі цього визначаємо оптимальну цінову стратегію.

Таблиця 8.21 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на послуги-замінники у конкурентів	Рівень цін на аналогічні послуги у конкурентів	Рівень доходів цільової групи клієнтів	Верхня та нижня межі встановлення вартості послуг
1	1.5-2 млн. грн.	1.5-2 млн. грн.	Широкий діапазон, в залежності від розміру заводу/підприємства	Верхня межа: 1.3 млн. грн Нижня межа: 800 тис. грн
2	1. Безкоштовне створення нарисів плану модернізації; 2. Виїзд із замірами та плануванням — 6 тис. грн./доба	Проектування, модернізація існуючого, та створення нового обладнання	Обсяг виконання робіт та умови залежать від масштабу підприємства	Оцінка наданих послуг здійснюється попередньо, після погодження проекту модернізації

Останнім етапом розробки маркетингової програми є формулювання цілісної та деталізованої концепції маркетингових комунікацій (таблиця 8.22).

Вона базується на раніше визначеному позиціонуванні послуг, та дозволяє швидко адаптуватись під потреби клієнтів, навіть специфічні і розширювати спектр сприйняття, а отже створювати більш ефективну та адаптивну стратегію стартап-проєкту [46].

Основним завданням даної концепції стає саме досягнення максимального резонансу з цільовою аудиторією, що значно додає конкурентних переваг, що свого роду стає новим діалогом на ринку комунікацій і дає нову площину для взаємодій з клієнтом.

Таблиця 8.22 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Послуги обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Клієнти з високими вимогами до якості та надійності	Провесійна конференції, профільні інтернет ресурси, соціальні мережі	Якісне виконання та дотримання міжнародних стандартів	Продемонструвати якісне виконання з дотриманими стандартами	Поєднання емоційного та раціонального підходів, для створення враження надійного партнера з якісним та професійним виконанням
Клієнти, орієнтовані на оптимізацію витрат	Інтернет, соціальні мережі	Хороше співвідношення вартість/якість виконання, висока ефективність модернізації	Демонстрація можливих показників після оновлення	Демонстрація переваг та економії від оновленого обладнання та процесів.

### Маркетингова програма для стартап-проекту

#### Концепція надання послуг:

Основним завданням стартапу є надання послугу модернізацій, та підвищення показників ефективності виробництв та підприємств. Він покликаний закрити потреби в енергоефективних, більш продуктивних та інноваційних методах та апаратах, що застосовуються на виробництвах. Наші послуги зобов'язані задовільняти та бути адаптованими під будь-які вимоги які ставить клієнт. Післяроєктна підтримка є важливою складовою, яка дозволить забезпечити довіру, та вселити впевненість в якості наданих послуг [48].

#### Концепція просування:

Просування послуг буде здійснюватися через сукупність онлайн-платформ для digital-маркетингу, стенди на виставках та виступи на профільних форумах та конференції, можливий варіант надання консультацій. Основними каналами комунікацій будуть спеціалізовані індустріальні сайти, вебінари, публікації в технічних журналах, а також директ-маркетинг та участь у галузевих заходах.

Маркетингова стратегія зосереджена на демонстрацію сильних сторін стартапу, таких як, адаптації до клієнтських потреб, висока якість виконаних робіт, екологічність, дотримання міжнародних стандартів, та після проєктна підтримка.

#### Ціноутворення:

Ціноутворення формуватиметься відповідно до ринкового клімату, та ситуації в країні. Базова вартість створення проєкту буде складати ~1 млн. Грн., але може змінюватися через специфічні потреби та вимоги. Оптимізація ціноутворення враховуватиме вартість послуг наданих конкурентами, та залежатиме від цільових груп клієнтів.

#### Альтернатива ринкової поведінки:

Співпраця із науково-дослідними інститутами та університетами для отримання передових розробок, які можуть значно покращити існуючі умови та потужності для клієнтів, що допоможе приваблювати їх до вибору саме нашого стартапу.

#### Загальний підсумок:

Маркетингова програма для стартапу орієнтована на задоволення потреб підприємств через надання інноваційних рішень для модернізації виробничих апаратів і процесів, забезпечуючи адаптацію під вимоги клієнтів, впровадження інноваційних технологій, та дотримання стандартів якості. Вона включає ефективне ціноутворення, продуману маркетингову стратегію, а також використання різноманітних каналів комунікації для створення образу стартапу на ринку [49].

#### Висновки

Підсумовуючи проведений аналіз, можна зробити наступні висновки:

Можливість ринкової комерціалізації проєкту.

Проєкт Resin Flow Line має високий потенціал комерціалізації завдяки актуальності проблеми, чітко визначеним цільовим групам та конкурентним перевагам. Успішний старт вимагає фокусу на нішевих ринках, партнерстві з ключовими гравцями та ефективному цифровому маркетингу. При правильному підході проєкт може стати лідером у сегменті модернізації виробництва в Україні та

за її межами.

Перспективи впровадження проекту:

Перспективи на українському ринку:

а) Зростаючий попит на модернізацію

Потреба в оновленні виробництв: Більшість українських підприємств, що працюють зі смолами та композитами, використовують застаріле обладнання, яке не відповідає сучасним вимогам ефективності, екологічності та якості. Модернізація дозволяє знизити витрати, підвищити продуктивність і відповідати європейським стандартам.

Державна підтримка: Існують програми грантів, пільгового кредитування та субсидій для промислової модернізації (наприклад, програми від Укрпромбанку, ЄБРР, програма "єВідновлення"). Це спрощує фінансування проектів для клієнтів.

Перспективи на міжнародному ринку:

Вихід на європейські ринки

Сертифікація за європейськими стандартами (ISO 9001, ISO 14001, REACH) дозволить пропонувати рішення клієнтам з ЄС, де попит на екологічні та енергоефективні технології високий.

Співпраця з європейськими партнерами: Можливість інтеграції в ланцюжки постачання європейських виробників композитів, автокомпонентів та будівельних матеріалів.

б) Розширення географії

Країни Східної Європи: Польща, Румунія, Угорщина — ринки з подібними потребами в модернізації промисловості.

Азія та Близький Схід: Країни з активно розвиваючимися галузями будівництва та енергетики (наприклад, Туреччина, ОАЕ) можуть стати цільовими ринками для експорту послуг.

Альтернативне впровадження:

Створення зручних умов співпраці з науково-дослідними інститутами та університетами. Тестування та впровадження інноваційних технологій з

адаптацією під специфічні потреби кожного із змовників.

Доцільність подальшої імплементації проекту:

Імплементація проекту є доцільною, враховуючи оцінку ринку та стратегічну важливість модернізації виробничих технологій для підприємств. Стартап має всі шанси бути конкурентним, та надавати зручні можливості для замовників, що зацікавлені у підвищенні ефективності та зниженні витрат, а також покращенні екологічності потужностей та процесів.

## Висновки

У ході виконання даної магістерської дисертації на тему «Модернізація установки виробництва аміносмол з розробкою сушарки та змішувача» виконаного за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання».

Було здійснено комплексне проектування сушильного розпилювального пристрою та змішувального турбінного пристрою для технологічної лінії виробництва, а саме блоку сушіння аміносмол. Проведено опис технологічного процесу сушіння аміносмол. Надано детальний опис конструкції розпилювальної сушарки та змішувального пристрою, включаючи їх основні складальні вузли та деталі, з обґрунтуванням вибору матеріалів для виготовлення. Виконано патентні дослідження для ідентифікації інноваційних рішень та розроблено заходи з охорони праці. Описані правила монтажу та експлуатації а також описані заходи безпеки по охороні праці. Робота містить параметричні розрахунки апаратів та розрахунки міцності ключових деталей і вузлів, що підтверджують їх працездатність та надійність. Проведена оцінка уніфікації та стандартизації розроблених апаратів.

Суть проведеної модернізації для розпилювальної сушарки, в тому щоб підібрати розпилюючий (форсунку) пристрій і модернізувати його форму відповідно до особливостей аміносмол, що призводить до стабільного та достатньо інтенсивного розпилення.

Основною метою роботи було подолання проблеми нерівномірності структури та підвищеного вологовмісту вихідного порошку, що обмежувало подальше використання аміносмоли. Проведено порівняльний аналіз основних показників розробленої конструкції з існуючими аналогами, що підтвердило її конкурентні переваги. Виконане техніко-економічне обґрунтування модернізації підтверджує її ефективність. Результати роботи включають комплект креслень технологічної схеми, складальних креслень сушарки та змішувального пристрою.

Опубліковано три тези доповідей на Всеукраїнських конференціях.

## Conclusion

In the course of performing this master's thesis on the topic "Modernization of the installation for the production of amino resins with the development of a dryer and mixer," completed under the educational and professional program "Engineering and Computer-Integrated Technologies for Designing Innovative Industrial Equipment," comprehensive design of a spray drying device and a turbine mixing device for the technological production line, namely the amino resin drying unit, was carried out.

A description of the technological process of drying amino resins was conducted. A detailed description of the design of the spray dryer and the mixing device is provided, including their main assembly units and parts, with justification for the selection of materials for manufacture. Patent research was performed to identify innovative solutions, and occupational safety measures were developed. The rules for installation and operation are described, as well as safety measures for occupational safety.

The work contains parametric calculations of the apparatuses and strength calculations of key parts and units, confirming their operability and reliability. An assessment of the unification and standardization of the developed apparatuses was carried out.

The essence of the modernization for the spray dryer is to select a spraying (nozzle) device and modernize its shape according to the characteristics of amino resins, which leads to stable and sufficiently intensive spraying.

The main goal of the work was to overcome the problem of structural non-uniformity and high moisture content of the output powder, which limited the further use of the amino resin. A comparative analysis of the main indicators of the developed design with existing analogues was conducted, confirming its competitive advantages. The performed technical and economic justification of the modernization confirms its effectiveness.

The results of the work include a set of drawings of the technological scheme, assembly drawings of the dryer and the mixing device.

Three abstracts of reports were published at All-Ukrainian conferences

## Перелік посилань

1. Williams, L. L. (2004). Amino resins and plastics. In J. I. Kroschwitz (Ed.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (4th ed., Vol. 2, pp. 321–334). John Wiley & Sons, Inc.
2. Mariano M.M. Industrial Chemical Process Analysis and Design. Elsevier, 2016р., 494 с.
3. Almubarak, A. A. (2021). Drying Technology & Spray Drying: Unit Operations of Chemical Engineering. Independently published.
4. Lipp C. W. Practical Spray Technology: Fundamentals and Practice [Text] / C. W. Lipp. – USA : [s. n.], 2012. – 253 p. – Hardback (Case binding). – ISBN 978-0-578-10090-6.
5. Paul E. L., Atiemo-Obeng V. A., Kresta S. M. Handbook of industrial mixing: science and practice [Text] / eds. E. L. Paul, V. A. Atiemo-Obeng, S. M. Kresta. – Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, Inc., 2004. – 1326 p.
6. ASM Handbook. Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys [Текст] / ed. by J. R. Davis. – Materials Park (OH) : ASM International, 2005. – 1200 p. – ISBN 0-87170-377-7.
7. ДСТУ 2651:2021 (EN 10025-2:2019) Прокат сталевий конструкційний. Частина 2. Технічні умови постачання сортового прокату з нелегованих конструкційних сталей [Текст]. – Чинний від 2022-07-01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. – V, 45 с. – (Національний стандарт)
8. ДСТУ EN ISO 898-2:2022 (EN ISO 898-2:2022, IDT) Механічні властивості кріпильних деталей з вуглецевих та легованих сталей. Частина 2: Гайки з певними класами міцності [Текст]. – Чинний від 2023-01-01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – IV, 32 с. – (Національний стандарт)
9. ДСТУ ISO 3506-6:2022 (ISO 3506-6:2020, IDT) Кріпильні деталі з корозійностійкої нержавіючої сталі. Частина 6: Загальні технічні умови для промислових шайб [Текст]. – Чинний від 2023-01-01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – IV, 18 с. – (Національний стандарт)

10. ДСТУ EN 1514-1:2022 (EN 1514-1:2022, IDT) Фланці та їх з'єднання. Прокладки круглого перерізу для сталевих фланців. Частина 1: Технічні умови поставання [Текст]. – Чинний від 2023-01-01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – IV, 30 с. – (Національний стандарт Ук

11. LIMITING FOAM GENERATION DURING MIXING OF INGREDIENTS : пат. EP25153256A Данія : B01F27/80. № 21153256.0 ; заявл. 22.01.2025 ; опубл. 08.06.2025. 20 с.

[URL: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/089772204/publication/EP4596097A1?q=pn%3DEP4596097A1](https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/089772204/publication/EP4596097A1?q=pn%3DEP4596097A1)

12. Resin sand mixer for casting adhesive processing and use method of resin sand mixer : пат. CN120115630A Китай : B22C5/04. № 202510225142.6 ; заявл. 27.02.2025 ; опубл. 10.06.2025. 15 с.

[URL: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/095914644/publication/CN120115630A?q=pn%3DCN120115630A](https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/095914644/publication/CN120115630A?q=pn%3DCN120115630A)

13. Furan resin sand mixer for casting and using method : пат. CN119657824A Китай : B22C5/04;. № CN202510198851A ; заявл. 24.02.2025 ; опубл. 21.03.2025. 22 с.

[URL: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094991166/publication/CN119657824A?q=pn%3DCN119657824A](https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094991166/publication/CN119657824A?q=pn%3DCN119657824A)

14. Feeding, mixing and stirring device for manufacturing plastic adhesive resin : пат. CN119260970A Китай : B29B7/18; B29B7/80; B29B7/84;. № CN202411795383A ; заявл. 09.12.2024 ; опубл. 07.01.2025. 13 с.

[URL: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094109877/publication/CN119260970A?q=pn%3DCN119260970A](https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094109877/publication/CN119260970A?q=pn%3DCN119260970A)

15. Stirring machine for producing and processing high-temperature-resistant paint : пат. CN119425481A Китай : B01F27/96; B01F35/12; B01F35/42; B01F35/45; B01F101/30;. № CN202411638401A ; заявл. 17.11.2024 ; опубл. 14.02.2025. 17 с.

[URL: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094513801/publication/CN119425481A?q=pn%3DCN119425481A](https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094513801/publication/CN119425481A?q=pn%3DCN119425481A)

16. Fluidized-bed Drying and Granulation Machine : пат. CN120667890A Китай : B01D46/02; B01D46/04; B01J2/16; B02C19/00; F26B21/00; F26B25/00; F26B3/08;. № CN202511164922A ; заявл. 08.08.2025 ; опубл. 19.09.2025. 22 с.

URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/097053278/publication/CN120667890A?q=pn%3DCN120667890A>

17. Method and Apparatus for Drying Powdered Chinese Medicinal Materials : пат. CN202511079925A Китай : F26B1/00; F26B17/04; F26B23/00; F26B25/00; F26B25/02; F26B25/04; F26B3/28;. № CN202511079925A ; заявл. 04.08.2025 ; опубл. 09.09.2025.

18 с. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/096860498/publication/CN120576570A?q=pn%3DCN120576570A>

18. Pole piece drying device, equipment and drying method : пат. CN120292847A Китай : F26B13/14; F26B21/00; F26B23/04; F26B25/00; F26B3/04; F26B3/28;. № CN202510651258A ; заявл. 20.05.2025 ; опубл. 11.07.2025. 18 с.

URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/096277761/publication/CN120292847A?q=pn%3DCN120292847A>

19. Constant-temperature drying device for producing environment-friendly biological water reducing agent : пат. CN118729691A Китай : F26B21/00; F26B25/00; F26B3/08;. № CN202411230113A ; заявл. 04.09.2024 ; опубл. 10.10.2024. 17 с.

URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/092847751/publication/CN118729691A?q=pn%3DCN118729691A>

20. Processing and Drying Apparatus for Chinese Medicinal Herbs and Drying Method : пат. CN120740287A Китай : F26B11/18; F26B23/00; F26B25/00; F26B25/10; F26B25/18; F26B3/00;. № CN202510789657A ; заявл. 13.06.2025 ; опубл. 03.10.2025.15 с.

URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/097195245/publication/CN120740287A?q=pn%3DCN120740287A>

21. Spray Dryers: A Guide to Performance Evaluation [Text] / Equipment Testing Procedure Committee, American Institute of Chemical Engineers. – 2nd ed. – New York : American Institute of Chemical Engineers, 2003. – 78 p. – ISBN 0-8169-0925-3.

22. Screenshot 2024-10-04 at 06.56.09 [Електронний ресурс] : порівняльні характеристики діаграм Mollier-HX-Chart та Mollier-TX-Chart. – Режим доступу: <https://www.scribd.com/document/919600776/Screenshot-2024-10-04-at-06-56-09>. – (Опубліковано 04.09.2025).

23. Процеси та обладнання хімічних технологій. Частина 2. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для ступеня бакалавра за освіт. програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» спец. 133 Галузеве машинобудування / Корнієнко Я. М., Степанюк А. Р., Гулієнко С. В., Гайдай С. С., Семінський О. О. – Електрон. текст. дані (1 файл: 18,79 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 520 с. – Назва з екрана.

24. Стороженко В.Я., Смирнов В.А. Реактори об'ємного типу з перемішувальними пристроями (розрахунок та конструювання): навчальний посібник., Суми, 2010. – 283 с.

25. Андреев, І. А. Конструювання і розрахунок основних елементів посудин та апаратів [Електронний ресурс]: підруч. для здобувачів ступеня бакалавра за спец. 133 Галузеве машинобудування / І. А. Андреев ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 15,33 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 428 с. – Назва з екрана.

26. Annex A – G: Diseño de sistemas de tratamiento, datos experimentales y metodologías analíticas para la extracción con solventes y biorremediación de tierra Fuller contaminada con aceite dieléctrico [Archivo PDF: 71699844.20102.pdf]. (2009).

27. Про охорону праці : Закон України від 14 жовт. 1992 р. № 2694-ХІІ [Текст]. – Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 49. – Ст. 668.

28. ДСТУ EN ISO 12100:2019 Безпека машин. Загальні принципи конструювання. Оцінка та зниження ризиків [Текст]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. – VI, 78 с.

29. ДСН 3.3.6.042-99 Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст] : затверджені наказом МОЗ України від 01.12.1999 № 42. – Київ : МОЗ України, 1999. – 15 с.

30. ДСТУ EN 13980:2017 Вибухонебезпечні середовища. Застосування обладнання [Текст]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – IV, 20 с.
31. 5. ДСТУ EN 13034:2017 Засоби індивідуального захисту від хімічних речовин. Захист від рідких хімікатів. Характеристики захисного одягу обмеженого повторного та одноразового застосування [Текст]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – VI, 42 с.
32. ДСН 3.3.6.037-99 Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [Текст] : затверджені наказом МОЗ України від 01.12.1999 № 37. – Київ : МОЗ України, 1999. – 30 с.
33. ДСТУ EN 352-1:2022 Засоби захисту органів слуху. Загальні технічні вимоги. Частина 1. Протишумові навушники [Текст]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – IV, 32 с.
34. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електрообладнання житлових і громадських будинків. Правила проектування [Текст]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 125 с.
35. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) [Текст] : чинне видання. – Київ : [б. в.], 2017. – 320 с.
36. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. – 125 с. – (Державні будівельні норми України).
37. 11. ДБН В.2.2-5:2017 Вентиляція, кондиціонування та опалення [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2017. – 145 с. – (Державні будівельні норми України).
38. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. – 75 с. – (Державні будівельні норми України).
39. ДСТУ EN 12464-1:2022 Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Робочі місця у приміщеннях [Текст]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – VIII, 100 с.
40. Мікульонок І. О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв [Текст] : підручник для студентів вищих навчальних закладів / І. О. Мікульонок. – Київ : НТУУ «КПІ», 2012. – 419 с.

41. ДНАОП 0.00-1.07–94. Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском. – Київ, 1994. (тут закінчила)

42. Маркетинг стартап-проектів : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>

43. Розроблення стартап-проекту : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 28 с.

44. Semeniuk, S., Levytskyi, V., Fomina, O., Fedorchenko, K., Yudina, N., Ratynskiy, V., Shcherbatiuk, O., Bendiuh, V., & Zhurakivska, Y. (2024). Overcoming barriers to digitalization of small and medium-sized enterprises under martial law. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(13 (129)), 57–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304997> <https://journals.uran.ua/eejet/article/view/304997> .

45. Yudina N. V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // *Marketing and Management of innovations*. 3’2017, P. 245-256. DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.

46. Yudina, N. Economic “Butterfly” and Futurology of the War in Ukraine. *Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*. Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2022. №23 (2022). PP. 77-82. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.23.2022.264637>.

47. Yudina, N. Algorhythm Of Marketing Decision Making. *Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*. Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of

Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2022. №22 (2022). PP. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.22.2022.260163>.

48. Yudina, N. Future Study Implementation Into Marketing Activity Of Companies. *Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*. Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №19 (2021). PP. 1-9 URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/240315>.

49. Yudina, N., Pidlisna, O. Marketing Perception Of Technological Uncertainty By Decision-Makers. *Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*. Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №18 (2021). PP. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.18.2021.238105>.

50. Yudina, N., Instrumenty Zarządzania Przyszłością. *Marketing Instytucji Naukowych I Badawczych*, Vol. 38, Issue 4,, 2020, Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Lotnictwa. Poland, Warszawa, p. 1-19 ISSN 2353-8503 eISSN 2353-8414. [http://minib.pl/wp-content/uploads/2020/12/4-Yudina\\_pl.pdf](http://minib.pl/wp-content/uploads/2020/12/4-Yudina_pl.pdf). DOI: 10.2478/minib-2020-0027.

51. Yudina, N. Business Forecasting of Marketing Activity Riskiness of Companies in Markets. *Economic Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*. №17(2020). P. 372-383. URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/216380/> .

## **Додаток А**

### **Автоматизація технологічного процесу сушіння аміносмола**

ЛМ41мп.04101.001

Інд. змін.

Дата видання

Мова  
UA

Аркуш  
137

## Вступ

Впровадження автоматизованих систем для управління біотехнологічними виробництвами є ключовою тенденцією технологічного вдосконалення. Цей напрям зосереджений на досягненні більш високої операційної ефективності, забезпеченні сталого рівня якості випускуваної продукції та мінімізації впливу суб'єктивних помилок персоналу.

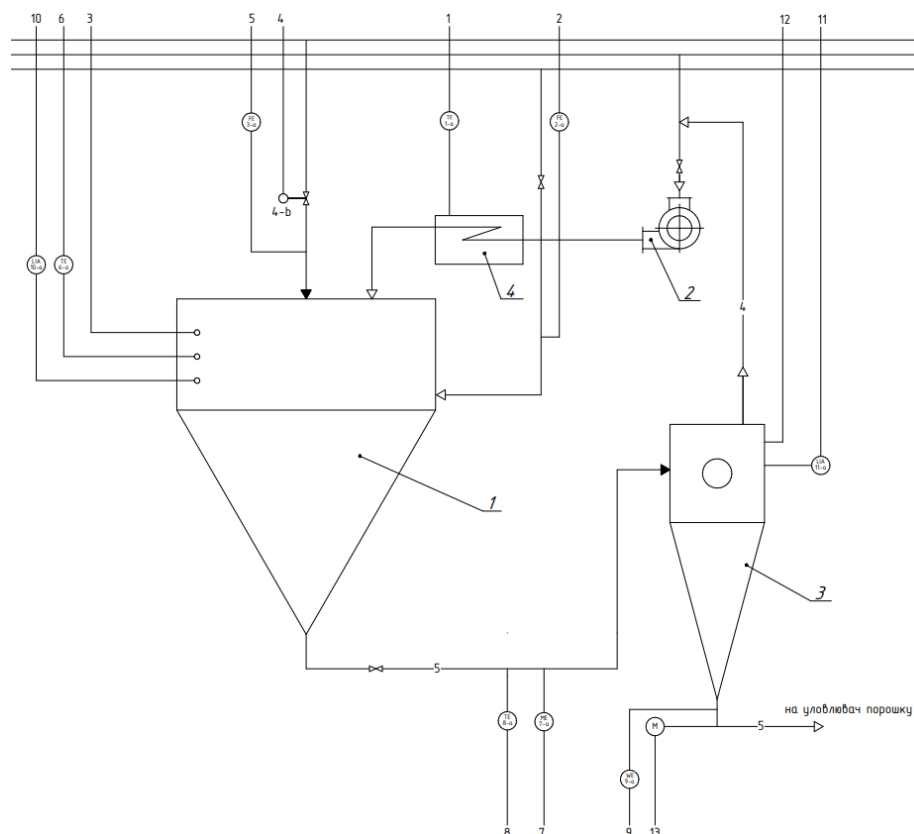
Темою даного проекту є розробка системи автоматизації процесу сушіння аміносмол у розпилювальній сушарці. Цей процес є складним об'єктом керування, що характеризується значними енерговитратами, високою швидкістю протікання тепломасообмінних процесів та жорсткими вимогами до параметрів кінцевого продукту. Аміносмоли є термочутливими матеріалами, тому навіть незначні відхилення температурного режиму можуть призвести до деструкції продукту, втрати його якісних властивостей або виникнення аварійних ситуацій.

Сучасні системи регулювання на базі мікропроцесорних контролерів надають широкі можливості для точного регулювання та моніторингу процесу в реальному часі. Метою цього розділу є опис системи автоматичного контролю і керування процесом ферментації, розробленої на базі контролера SIMATIC S7-300.

Відповідальна організація МАХНВ	Технічне узгодження Новохат О.А.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа КПІ ім. Ізоря Сікорського ФАПІЄ	Розробник документа Вакуліна А.Д.	Назва, додаткова назва Модернізація установки виробництва аміносмол з розробкою сушарки та змі- шувача	ЛМ41мп.04.201.001			
	Документ затверджено Гулієнко С.В.		Інд. змін	Дата видання 10.12.2025	Мова UA	Аркуш 10

## А.1 Опис технологічної схеми як об'єкта автоматизації

Основним апаратом, що підлягає автоматизації, є розпилювальна сушарка (апарат поз. 1). Зображений технологічний процес сушіння аміносмола (рисунок А.1.1) передбачає подачу у сушильну камеру вихідної суспензії аміносмола, гарячого повітря (теплоносія) та холодного повітря для охолодження стінок.



1 – розпилювальна сушарка; 2 - компресор; 3 - циклон; 4 - калорифер;

Рисунок А.1.1 – Схема автоматизації технологічного процесу сушіння аміносмола

Процес сушіння відбувається шляхом розпилення суспензії форсункою у потік гарячого повітря. Завдяки великій площі контакту фаз волога миттєво випаровується, утворюючи сухий порошок. Суміш відпрацьованого повітря та сухого продукту відводиться з нижньої частини апарата у циклон (поз. 3) для розділення.

Для забезпечення якості готового продукту (вологості, структури) та безпеки процесу необхідно підтримувати стабільний температурний та аеродинамічний режим, що забезпечується системою автоматичного контролю та регулювання.

## А.2 Аналіз технологічного процесу та вибір параметрів регулювання

На підставі аналізу кінетики сушіння вибрано параметри, що підлягають контролю та регулюванню. Критично важливим параметром є температура суміші повітря на виході з сушарки, яка опосередковано характеризує залишкову вологість продукту.

Перелік параметрів наведений в таблиці А.1.

Таблиця А.1 – Параметри контролю та регулювання виробництва

№ п/п	Найменування параметра	Норми технологічного режиму	Вимоги до схеми автоматизації
1	Температура теплоносія (повітря) на вході в сушарку	180±5 °С	Контроль, автоматичне регулювання, реєстрація
2	Температура повітря на виході з сушарки (вологість продукту)	90±2°С	Контроль, автоматичне регулювання, реєстрація, сигналізація відхилень
3	Розрідження у верхній частині сушильної камери	20...50 Па	Контроль, автоматичне регулювання, сигналізація відсутності тяги
4	Тиск подачі суспензії перед форсункою	0,3...0,6 МПа	Контроль, сигналізація падіння тиску (аварія)
5	Витрата холодного повітря на охолодження стінок	Згідно з регламентом	Контроль, автоматичне регулювання
6	Відносна вологість відпрацьованого повітря після циклону	Не більше 10%	Контроль, реєстрація, сигналізація перевищення
7	Рівень сухого продукту в бункері циклону	Не більше 80%	Контроль, сигналізація граничного верхнього рівня
8	Вага готового продукту	Обліковий параметр	Контроль, реєстрація (сумування)

## **А.3 Опис системи автоматизації**

### **А.3.1 Система автоматичного регулювання та контролю**

Автоматичне регулювання процесу полягає в забезпеченні стабілізації процесу сушіння аміносмол та отриманні продукту заданої вологості.

Система побудована на базі локальних мікропроцесорних регуляторів серії TRM (Овен) та вторинних реєструючих приладів, розміщених на щиті оператора [1].

Система складається з наступних функціональних контурів:

Контур 1 (Температура): Забезпечує стабілізацію температури теплоносія на вході в сушарку. Включає термоперетворювач опору ТСП-1187 (поз. 1-а) [2], сигнал з якого (опір) надходить до мікропроцесорного ПД-регулятора TRM101 (поз. 1-б) [1]. Регулюючий вплив (4-20 мА) передається на регулюючий клапан Fisher GX (поз. 4-б) з електропневматичним позиціонером DVC2000, встановлений на лінії подачі теплоносія в калорифер [3].

Контур 8 (Температура сушіння): Є основним контуром регулювання вологості продукту. Забезпечує підтримання температури відпрацьованого повітря шляхом зміни кількості подачі сировини. Включає термоперетворювач ТСП-1187 (поз. 8-а) та регулятор TRM101 (поз. 8-б) [1]. Регулюючий вплив передається на частотний перетворювач насоса-дозатора, змінюючи витрату суспензії на вході в апарат.

Контури 2, 5 (Витрата): Забезпечують контроль витрат матеріальних потоків (холодного повітря). Включають діафрагми камерні ДК-6 (поз. 2-а, 5-а) [4] та дифманометри. Сигнал про витрату обробляється регулятором TRM101 (поз. 2-б) для стабілізації подачі холодного повітря через виконавчий механізм (заслінку) [1].

Контур 7 (Вологість): Забезпечує безперервний моніторинг показників якості готового продукту (за вологістю відпрацьованого повітря). Вимірювання здійсню-

ється промисловим датчиком Vaisala HMT330 (поз. 7-а) [5]. Сигнал 4-20 мА надходить на багатоканальний реєстратор ТРМ138 (поз. 7-б) [1] для індикації поточного значення та архівування даних процесу.

Контури 3, 4 (Тиск): Контролюють тиск подачі суспензії перед форсункою та розрідження у верхній частині сушильної камери. Включають перетворювачі тиску «Сапфир-22-ДІ» (поз. 3-а, 4-а). Сигнали використовуються для технологічної сигналізації та захисту обладнання від аварійних режимів (зникнення тяги або забивання форсунки) [6].

Контур 10,11 (Рівень): Забезпечує контроль рівня продукту в бункері циклону для запобігання переповненню. Використовується інтелектуальний датчик гідростатичного тиску Метран-100-ДГ (поз. 10-а, 11-а). При досягненні верхнього рівня спрацьовує звукова а також світлова сигналізації [7].

Контур 9 (Вага): Забезпечує облік виробленої продукції. Включає тензометричний датчик ваги НВМ Z6 (поз. 9-а), встановлений на вузлі вивантаження, сигнал з якого інтегрується для підрахунку загальної маси отриманого порошку [8].

### **А.3.2 Система дистанційного керування електроприводами**

Керування насосами подачі суспензії, а також мотором циклону здійснюється за допомогою перетворювачів частоти MICROMASTER 440 (Siemens) [9]. Це дозволяє плавно регулювати продуктивність насосів та економити електроенергію.

Для можливості місцевого втручання в процес передбачені пости керування кнопкові ПКУ-15 (поз. 13-а), розташовані за місцем біля обладнання [10].

### **Висновки**

Впровадження сучасних засобів автоматизації (таких як Vaisala, Emerson, Овен) забезпечує оптимальне ведення процесу сушіння, суттєве зниження втрат вихідної сировини та стабільно високу якість порошку аміносмоли [11]. Це створює

умови для практичного виключення людини з прямого керування технологічними операціями. Роль персоналу обмежується наглядом за сталістю процесу через допоміжні прилади — регулятори та реєстратори, встановлені на панелі управління [1].

Автоматизоване підтримання необхідного рівня розрідження в середині апарату забезпечує безпеку роботи для обслуговчого персоналу, оскільки усуває ризик раптового викиду пилу.

Завдяки цьому у проектній документації не передбачено додаткових спеціальних заходів щодо захисту від даного шкідливого фактора.

Система індикації на базі цифрових приладів TPM забезпечує оператору повну інформацію про хід процесу (температуру, вологість, тиск) та світловою сигналізацією повідомляє про аварійні відхилення [1].

Існують перспективи подальшої модернізації та розвитку системи автоматизації цього виробництва, зокрема можливий перехід на використання SCADA-системи. Впровадження частотних перетворювачів для керування електроприводами дозаторного насоса та вентиляторів дозволить підвищити енергоефективність всієї установки та досягти більш точної дозування компонентів [12].

Система візуалізації, реалізована на цифрових приладах TPM, забезпечує оператора повним набором інформації про перебіг процесу (контроль температури, вологості, тиску), а за допомогою світлової сигналізації подає попередження про будь-які аварійні ситуації або відхилення від заданих параметрів [13].

Специфікація на технологічні засоби до схеми автоматизації технологічного процесу сушіння наведена в таблиці А 2.

Таблиця А.2 – Специфікація на технологічні засоби до схеми автоматизації технологічного процесу сушіння

Поз.	Назва параметру	Середовище і місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва пристрою та характеристика	Тип моделі	Кіл.	Виробник, Постачальник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-а	Температура	Трубопровід теплообмінник, гаряче повітря	170 °С	Трубопровід	Термоперетворювач опору платиновий ТСП-1187	ТСП-1187	1	ПАТ «Тера», Україна
1-б	Температура	-	-	На щиті	ПД-регулятор мікропроцесорний одноканальний ТРМ101	ТРМ101	1	ТОВ «ВО ОВЕН», Україна
2-а	Витрата	Трубопровід до сушки холодне повітря	-	Трубопровід	Діафрагма камерна ДК-6.	ДК-6	1	ВО «Геофізприлад», м. Івано-Франківськ
3-а	Тиск	-	-	По місцю	Перетворювач надлишкового тиску типу «Сапфір 22-ДІ-Ех» мод. 2130	ДК-6	1	ВО «Геофізприлад», м. Івано-Франківськ
4-а	Тиск	-	-	По місцю	Перетворювач надлишкового тиску типу «Сапфір 22-ДІ-Ех» мод. 2130	Сапфір-22-ДІ	1	ВО «Геофізприлад», м. Івано-Франківськ
4-б	Позиція		-	На корпусі регулювального клапану	Клапан регулюючий Fisher GX	Fisher GX	1	«Emerson Process Management» (Fisher), Німеччина/США.
5-а	Витрата	Трубопровід до сушки, суспензія	-	Трубопровід	Діафрагма камерна ДК-6.	ДК-6	1	ВО «Геофізприлад», м. Івано-Франківськ
6-а	Температура	Трубопровід сушилка	45 °С	Трубопровід	Термоперетворювач опору платиновий ТСП-1187	ТСП-1187	1	ПАТ «Тера», Україна

Продовження таблиці А.2 2 – Специфікація на технологічні засоби до схеми автоматизації технологічного процесу сушіння

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6-b	Температура	-	-	На щиті	ПД-регулятор мікропроцесорний одноканальний ТРМ101	ТРМ101	1	ТОВ «ВО ОВЕН», Україна
7-a	Вологість	Трубопровід продукт від сушилки	6%	Трубопровід	Перетворювач вологості та температури Vaisala HUMICAP® НМТ330.	НМТ330	1	Vaisala, Фінляндія.
7-b	Вологість	-	-	На щиті	Мікропроцесорний вимірювач-регулятор (вологомір) реєструючий ТРМ138.	ТРМ138-Р	1	ТОВ «ВО ОВЕН», Україна
8-a	Температура	Трубопровід кінцевий продукт	105 °С	Трубопровід	Термоперетворювач опору платиновий ТСП-1187	ТСП-1187	1	ПАТ «Тера», Україна.
8-b	Температура	-	-	На щиті	ПД-регулятор мікропроцесорний одноканальний ТРМ101	ТРМ101	1	ТОВ «ВО ОВЕН», Україна
9-a	Вага продукту	Трубопровід на виході із сушилки	-	Трубопровід	Тензометричний датчик ваги балочного типу НВМ Z6.	Z6FC3	1	НВМ, Німеччина
10-a	Рівень суспензії	-	-	Трубопровід	Інтелектуальний датчик гідростатичного тиску (рівнемір) Метран-100-ДГ.	Метран-100-ДГ	1	Промислова група «Метран» (Emerson).
11-a	Рівень продукту	-	-	Трубопровід	Інтелектуальний датчик гідростатичного тиску (рівнемір) Метран-100-ДГ.	Метран-100-ДГ	1	Промислова група «Метран» (Emerson).
12-a	Тиск	-	-	По місцю	Перетворювач надлишкового тиску типу «Сапфір 22-ДІ-Ех» мод. 2130	Сапфір-22-ДІ	1	ВО «Геофізприлад», м. Івано-Франківськ
13-a	Клапан	-	-		Клапан регулюючий односідельний з пневмоприводом.	ВТА60/15-1R	1	«Fischer», Німеччина

Продовження таблиці А.2 2 – Специфікація на технологічні засоби до схеми автоматизації технологічного процесу сушіння

1	2	3	4	5	6	7	8	9
13-b	Клапан	-	-		Контролер для керування регулюючим органом	GX	1	«Fisher», Німеччина
					Мікропроцесорний контролер регулюючий. Напруга живлення ~ 220 В з частотою 50Гц. Виробник: «Siemens» Німеччина	SIMATIC S7-300	1	«Siemens» Німеччина
A1					Робоча станція оператора на базі панелі	SIMATIC MP270B	1	Виробник: «Siemens», Німеччина

**Посилання:**

1. ТРМ101, ТРМ138. Керівництво по експлуатації мікропроцесорних регуляторів та реєстраторів [Текст]. – ТОВ «ОВЕН», 2021. – 245 с.
2. ДСТУ 4227:2003. Перетворювачі температури термоелектричні та опору. Загальні технічні умови [Текст]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 45 с.
3. Fisher GX Control Valve with DVC2000 Digital Valve Controller. Instruction Manual [Text]. – Emerson Process Management, 2019. – 180 p.
4. ДСТУ ГОСТ 8.586.1:2009 (ГОСТ 8.586.1-2005, IDT). Вимірювання витрати та кількості рідин і газів за допомогою стандартних вимірювальних діафрагм та сопел. Частина 1 [Текст]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2010. – 65 с.
5. HMT330 SERIES. Humidity and Temperature Transmitters. User's Guide [Text]. – Vaisala Oyj, 2022. – 98 p.
6. Сапфір-22-ДІ. Перетворювачі тиску, розрідження-тиску, різниці тиску. Технічний опис та інструкція з експлуатації [Текст]. – ВАТ «Геофізприлад», 2017. – 54 с.

7. Метран-100-ДГ. Датчик гідростатичного тиску (рівня). Паспорт [Текст]. – Промислова група «Метран» (Emerson), 2020. – 32 с.
8. Z6FC3. Stainless Steel Load Cell. Datasheet [Text]. – HBM GmbH, 2021. – 12 р.
9. MICROMASTER 440. 0.12 kW - 250 kW. Operating Instructions [Text]. – Siemens AG, 2018. – 450 р.
- 10.ПКУ-15. Пост керування кнопковий. Паспорт [Текст]. – ТОВ «Електромаш», 2019. – 15 с.
- 11.Рижков В. Є., Власов С. М. Автоматизація технологічних процесів і виробництв у хімічній промисловості [Текст] : навч. посіб. – Київ : НТУУ «КПІ», 2018. – 400 с.
- 12.ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. – 125 с.
- 13.Білецький В. С., Соловей В. В. Сучасні системи керування технологічними процесами: SCADA/HMI [Текст] : монографія. – Дніпро : НГУ, 2020. – 312 с.

## **Додаток Б**

### **Програмний розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки**

ЛМ4 1мп.04 101.001

Інд. змін.

Дата видання

Мова  
UA

Аркуш  
148

## Додаток Б

Програмний розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки

На рисунку Б.1 зображено блок – схему розрахунку товщини циліндричної обичайки

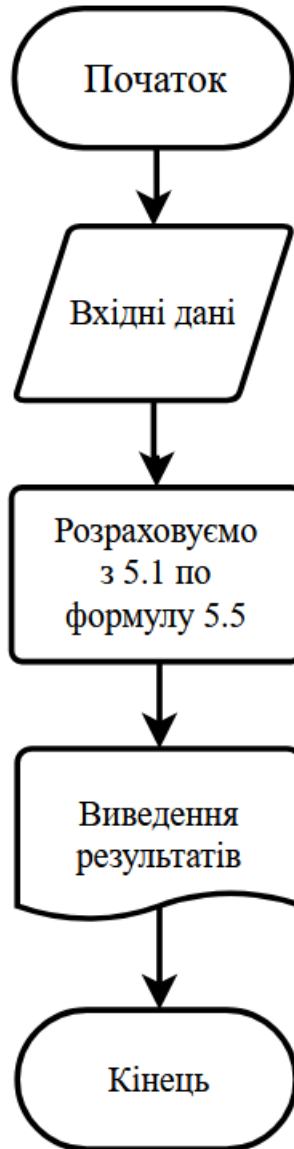


Рисунок Б.1 – Блок-схема розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки

Програма розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки:

### Розрахунок товщини циліндричної обичайки

Вхідні дані:

$$\varphi := 0.9 \quad p := 0.1 \quad D = 1 \quad \sigma := 163$$

Товщина стінки обичайки, м:

$$s_R := \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma - p} = 3.409 \times 10^{-4} \quad (5.1)$$

Виконавча товщина стінки обичайки, м:

$$c_1 := 0.006 \quad c_2 := 0.0008 \quad (5.2)$$

$$s_{\text{вв}} := c_1 + c_2 + s_R = 7.141 \times 10^{-3}$$

Сума прибавок до розрахункових стінок, м:

$$C := c_1 + c_2 = 6.8 \times 10^{-3} \quad (5.3)$$

Приймаю товщину стінки обичайки, м:

$$s_{\text{пр}} := 0.01$$

Домустимий тиск в обичайці, МПа:

$$p_{\text{доп}} := \frac{2 \cdot \varphi \cdot \sigma \cdot (s_{\text{пр}} - C)}{D + s_{\text{пр}} - C} = 0.936 \quad (5.4)$$

Перевіряємо умову міцності, МПа:

$$p < p_{\text{доп}} = 1 \quad (5.5)$$

Висновок: умова міцності виконана приймаємо товщину циліндричної обичайки 10 мм.

Ідентифікатори роз'яснені в таблиці Б.1

Таблиця Б.1 – Перелік ідентифікаторів

Найменування величин	Позначення	Ідентифікатор	Розмірність
Допустиме напруження обичайки	$[\sigma]$	$\sigma$	МПа
Діаметр апарата	$D$	$D$	м
Коефіцієнт міцності зварного шва	$\varphi$	$\varphi$	
Внутрішній тиск	$p$	$p$	МПа
Допустимий тиск	$p_{\text{доп}}$	$p_{\text{доп}}$	МПа
Товщина стінки обичайки	$S_R$	$S_R$	мм
Виконавча товщина стінки обичайки	$S$	$S$	мм
Сума прибавок до розрахункових товщин стінок	$C$	$C$	мм
Прибавка для компенсації ерозії і корозії, мм.	$c_1$	$c_1$	мм
Прибавка для компенсації мінусового допуску	$c_2$	$c_2$	мм

**Додаток В**  
**Наукові дослідження**

ЛМ41мп.04101.001

Інд. змін.

Дата видання

Мова  
UA

Аркуш  
152

## Додаток В

### Наукові дослідження

#### Вступ

Розпилювальне сушіння є фінальним та вирішальним етапом у виробництві порошкових аміносмол, оскільки воно безпосередньо формує ключові властивості кінцевого продукту, а саме визначає фракційний склад, кількість вологості, сипучість та активність матеріалу тощо. Саме за допомогою розпилювального сушіння можна отримати продукт з чіткими характеристиками і стабільним безперервним процесом.

Ефективність цього процесу значною мірою залежить від конструкції робочого органу подачі суспензії – розпилювальної форсунки. Внутрішня геометрія її каналів — конфігурація, діаметри, кути переходів — визначає гідродинаміку потоку суспензії, тиск у системі, швидкість витікання та, як наслідок, ступінь розпилення рідини на краплі.

Актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю подолання основних недоліків існуючих конструкцій, таких як нерівномірність розпилення, високі питомі енерговитрати на створення тиску та можливість засмічення.

Метою роботи є пошук та наукове обґрунтування оптимальних геометричних параметрів форсунки розпилювальної сушарки для виробництва аміносмол. Її досягнення планується через комплексне CFD-моделювання, спрямоване на мінімізацію гідравлічного опору при одночасному забезпеченні максимально однорідного розподілу швидкості вихідного струменя, що має забезпечити підвищення енергоефективності процесу та стабілізацію якості кінцевого продукту.

## В.1 Матеріали та методи

Для глибокого аналізу впливу геометрії на гідродинамічні характеристики було обрано метод чисельного моделювання на основі обчислювальної гідродинаміки (CFD). Цей підхід дозволяє детально дослідити розподіл тиску та швидкості всередині каналів форсунки та в зоні формування факела без витрат на виготовлення та випробування фізичних прототипів.

Ядром обчислювального комплексу слугував потужний програмний пакет з відкритим кодом OpenFOAM (версія v2212), що є професійним інструментом для розв'язання складних багатофазних задач динаміки рідин і газів. Його архітектура, що базується на скінченних об'ємах, та широкий набір вбудованих солверів і моделей турбулентності забезпечують високу точність розрахунків для течій зі значними градієнтами параметрів, що характерно для потоків у звужених каналах.

Геометричні моделі форсунок з різними конфігураціями (різним співвідношенням діаметрів, наявністю діафрагм, плавних конфузорних або дифузорних переходів) були створені в середовищі параметричного САД-моделювання FreeCAD 0.21.1. Вибір цього інструменту з відкритим вихідним кодом був обумовлений його гнучкістю, можливістю створення керованих ескізами моделей та простотою автоматизації зміни ключових розмірів, що є необхідним для проведення параметричного дослідження. Тривимірні моделі будувалися шляхом операцій видавлювання (extrude) та обертання (revolve) двовимірних профілів.

Для забезпечення безперервного та безпомилкового робочого процесу була використана інтеграція через спеціалізоване середовище CFDOF. Цей модуль забезпечив прямий двосторонній зв'язок між FreeCAD та OpenFOAM, дозволяючи не тільки експортувати готову геометрію, але й імпортувати розрахункові сітки назад для коригування. Така інтеграція виключила втрату даних та геометричні спотворення, неминучі при використанні нейтральних форматів обміну (наприклад, STEP, IGES).

Підготовка геометрії до розрахунків включала створення якісної неструктурованої гібридної сітки з згущенням елементів у пристінних областях та зонах очікуваних високих градієнтів (звуження, вихідний отвір). Як модель турбулентності була обрана k-omega SST (Shear Stress Transport), що ефективно описує течії як у пристінних шарах, так і у вільному потоці.

Візуалізація та кількісний аналіз результатів всіх симуляцій – розподілів швидкості (U), тиску (p), інтенсивності турбулентності – проводилися в потужному програмному середовищі ParaView 5.10.1. Його інструменти дозволили будувати ізоповерхні, контурні карти, вектори швидкостей, а також виконувати розтин в будь-якій площині для детального дослідження фізичних полів та порівняння ефективності різних геометричних варіантів.

## **В.2 Результати та їх обговорення**

За допомогою CFD-моделювання було проаналізовано три різні геометричні конфігурації вхідного каналу форсунки розпилювальної сушарки.

Метою було дослідити вплив ступеня звуження каналу на гідродинаміку процесу та визначити оптимальну форму, що забезпечує баланс між ефективністю розпилення та енерговитратами.

Конфігурація з широким вхідним каналом.

Розподіл тиску для цього варіанту показаний на Рисунку В.1.

Візуалізація виявляє незначний перепад тиску на більшій частині широкого каналу, що вказує на низький гідравлічний опір. Однак безпосередньо перед різким переходом до вузького виходу спостерігається локалізована зона його значного підвищення.

Відповідний розподіл швидкості представлений на Рисунку В.2.

У широкій зоні потік має низьку та неоднорідну швидкість.

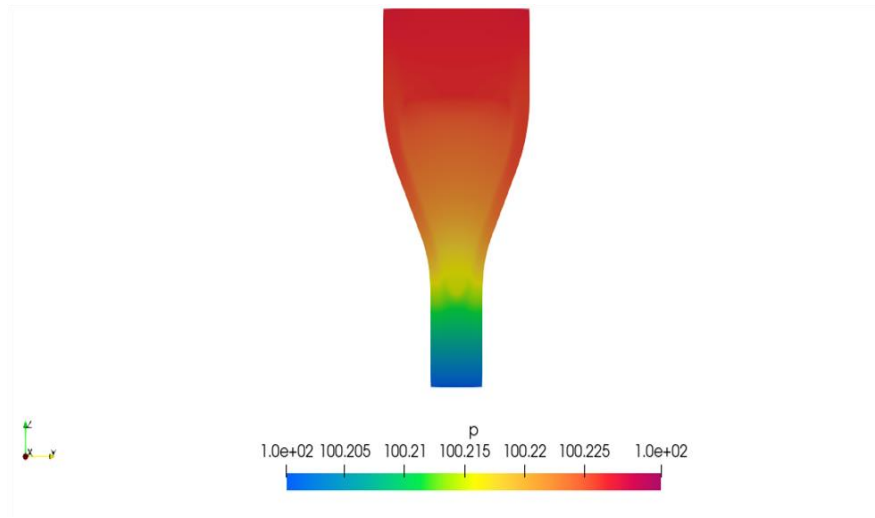


Рисунок В.1 – Розподілення тиску в потоці суспензії

Різде звуження призводить до короткого, але нестабільного прискорення. Струмінь на виході характеризується підвищеною турбулентністю, що може спричинити нерівномірність розпилення

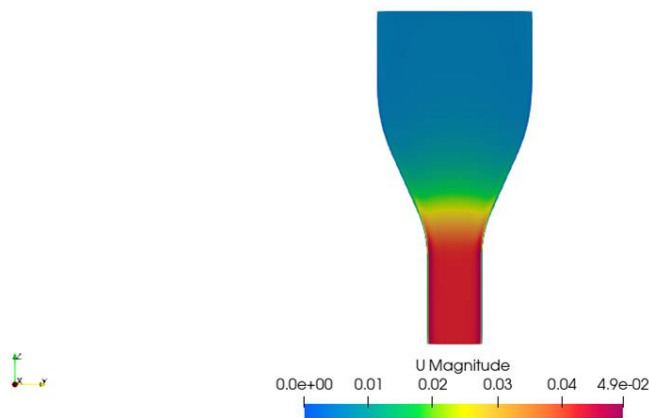


Рисунок В.2 – Розподілення швидкості потоку суспензії

Конфігурація з надмірно вузькою верхньою частиною каналу.

На Рисунку В.3 продемонстровано розподіл тиску для цього випадку. Видно, що вже на початку вузького каналу створюється високий гідравлічний опір, що призводить до інтенсивного падіння тиску по всій його довжині. Така картина свідчить про великі втрати енергії, необхідні для проштовхування суспензії.

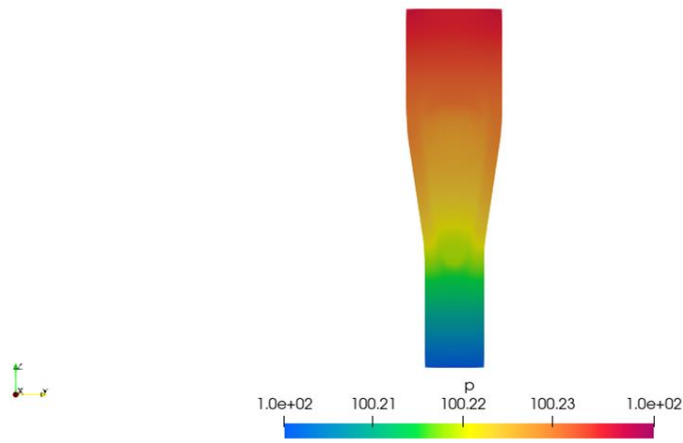


Рисунок В.3 – Розподілення тиску в потоці суспензії

Аналіз Рисунок В.4, що відображає поле швидкостей, підтверджує цю неефективність. Хоча потік досягає високої швидкості, він надто обмежений та не отримує достатнього простору для стабілізації перед виходом, що може погіршити якість формування факела.

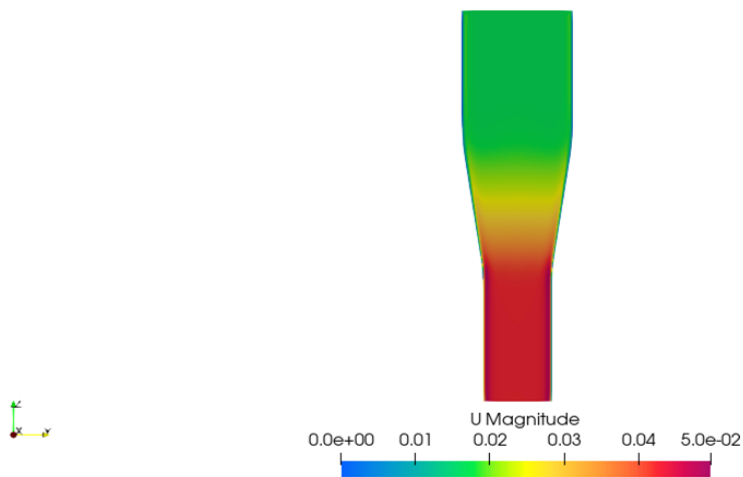


Рисунок В.4 – Розподілення швидкості потоку суспензії

Оптимальна конфігурація зі збалансованою шириною верхнього каналу. Розподіл тиску для цього варіанту (Рисунок В.5) є найбільш раціональним. Співвідношення діаметрів забезпечує плавний, без різких стрибків, градієнт тиску по всій довжині. Опір є достатнім для ефективного прискорення потоку, але без критичних енерговитрат.

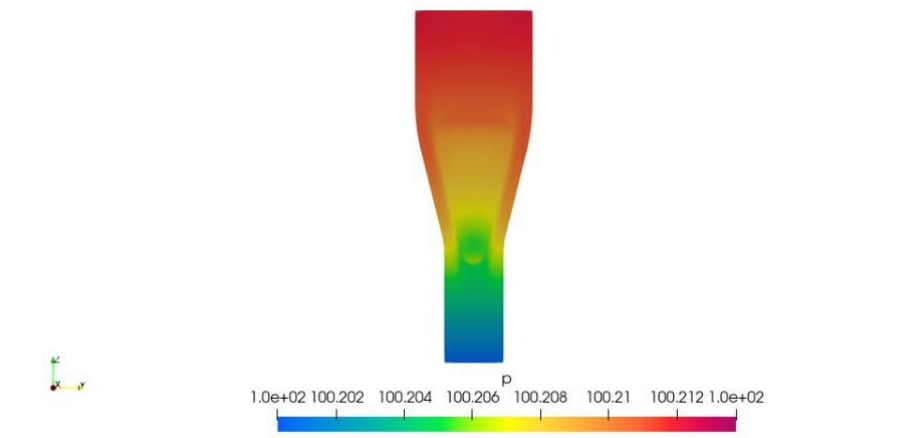


Рисунок В.5 – Розподілення тиску в потоці суспензії

Рисунок В.6 ілюструє ідеальну відповідність поля швидкостей. Плавне звуження забезпечує поступове та рівномірне прискорення суспензії. В результаті на виході формується стабільний, щільний та високошвидкісний струмінь, здатний забезпечити дрібне та однорідне розпилення.

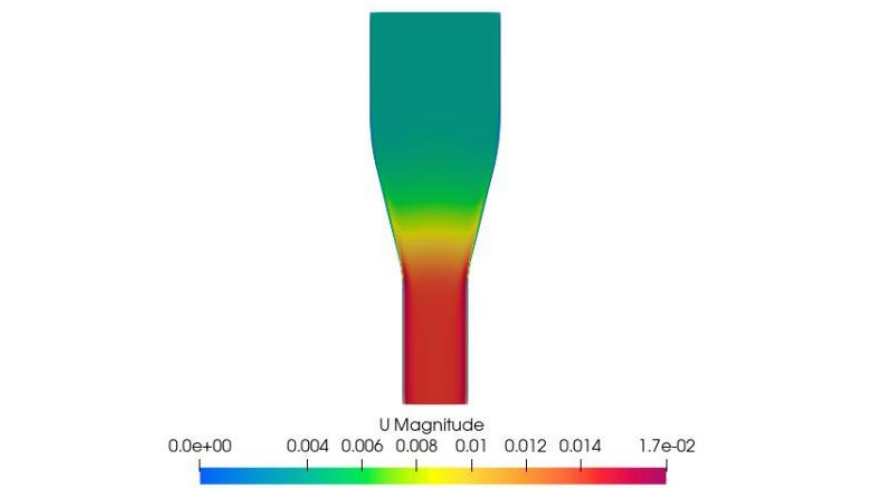


Рисунок В.6 – Розподілення швидкості потоку суспензії

### В.3 Висновки

На підставі проведеного чисельного експерименту, результати якого візуалізовані на Рисунках В.1–В.6, було встановлено суттєвий вплив ширини конфузornoї (верхньої) ділянки каналу форсунки на гідродинамічну ефективність процесу розпилення при незмінному діаметрі вихідного отвору.

Аналіз показав, що варіант із надмірно широким верхнім перерізом (Рис. В.1, В.2) не забезпечує ефективного перетворення тиску в кінетичну енергію струменя, що призводить до нестабільного та недостатньо інтенсивного розпилення. Конфігурація з надто вузькою вхідною частиною (Рис. В.3, В.4), хоча і формує високошвидкісний потік, робить це ціною неприйнятно високих гідравлічних втрат та енерговитрат, роблячи процес економічно неефективним.

Оптимальним рішенням визнано проміжну конфігурацію зі збалансованою шириною верхнього каналу. Як демонструють Рисунки В.5 та В.6, саме така геометрія забезпечує ідеальний баланс: плавний оптимальний градієнт тиску забезпечує стабільне прискорення потоку, що в результаті формує щільний, високошвидкісний та спрямований факел. Це гарантує отримання однорідного дрібнодисперсного аерозолю, який є ключовим для якісного та енергоощадного сушіння аміносмол у розпилювальній сушарці. Таким чином, модернізація форсунки шляхом підбору оптимального співвідношення діаметрів є науково обґрунтованим заходом для підвищення продуктивності всього технологічного процесу.

## **Додаток Г**

**Документація до патентного дослідження**

## Додаток Г

### Документація до патентного дослідження

#### РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛМ-41мп.15РП

Найменування теми Виготовлення аміносмол з використанням переремішувальних та сушильних апаратів

Шифр теми ЛМ-41мп.154142.000

Етап Проектування установки та її складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень ЛМ-41мп.15.02.09.2025

Обґрунтування регламентного пошуку **Предмет пошуку** – 1) спосіб виготовлення аміносмол; 2) пристрої для виготовлення аміносмол із застосуванням переремішувальних та сушильних апаратів;

**Мета пошуку інформації** – визначення патентоспроможності установки, що проектується, і визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці. **Визначення держав пошуку.** Україна, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія, Швейцарія.

**Ретроспективність.** Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, тому регламент пошуку встановлюємо такий: 2024–2025 р.

**Класифікаційні індекси.** Міжнародна патентна класифікація: B01F27  
, B01F35, B01F33.

**Джерела інформації.** 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Укрпатенту. 2) Науково-технічна інформація: монографії, підручники, статті. 3) інтернет ресурси:

<http://ep.espacenet.com/>.

Початок пошуку 02.09.2025

Закінчення пошуку 25.10.2025

## РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛМ-41мп.15ДП

Завдання на проведення патентних досліджень ЛМ-41мп.15, 02.09.2025

Етап Проектування установки і її складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень ЛМ-41мп.15,02.09.2025

Номер, дата регламенту пошуку ЛМ-41мп.15РП, 02.09.2025

Початок пошуку 02.09.2025

Закінчення пошуку 25.10.2025

Таблиця Г.1. Джерела інформації, використані під час проведення пошуку

Предмет пошуку	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні дані першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				патентна інформація	інша наук.–техн. інформація
Способи виготовлення аміносмол; пристрої для виготовлення аміносмол із застосуванням мішальних та сушильних апаратів	Україна, США, Великобританія, Німеччина, Франція, Японія, Швейцарія	B01F27, B01F35, B01F33	Фонд КПІ ім. Ігоря Сікорського, Держпатентний фонд України	Описи винаходів України №№ 1–60000. Офіційні бюлетені.	Способи виготовлення аміносмол; пристрої для виготовлення аміносмол із застосуванням мішальних та сушильних апаратів

Таблиця Г.2. Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	бібліографічні дані	відомості, щодо їхньої дії
1	2	3
Сушильна установка з постійною температурою для виробництва екологічно чистого біологічного вологозменшувача	Патент CN118729691A	Діє
Пристрій, обладнання та спосіб сушіння полюсних наконечників	Патент CN202510651258A	Діє
Метод та пристрій для сушіння порошкоподібних матеріалів традиційної китайської медицини	Патент CN120576570A	Діє
Сушильний гранулятор з псевдозрідженим шаром	Патент CN202511164922A	Діє
Змішувальна машина для виробництва та обробки високотемпературної фарби	Патент CN202411638401A	Діє
Пристрій для подачі, змішування та перемішування для виробництва пластикової клейової смоли	Патент CN202411795383A	Діє
Змішувач для смоляного піску для обробки клеєм для лиття та спосіб використання змішувача для смоляного піску	Патент CN202510225142A	Діє
Випарник кристалізації з нульовим скиданням для сушіння	Патент CN120774616A	Діє

Продовження таблиці Г.2. Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

1	2	3
Обмеження утворення піни під час змішування інгредієнтів	Патент EP24154552A	Діє
Сушильний пристрій та метод сушіння для обробки традиційної китайської медицини	Патент CN202510789657A	Діє

## **Додаток Д**

**Патенти, які використовувались в патентному дослідженні**

# Додаток Д

## Патенти, які використовувались в патентному дослідженні



(11) EP 4 596 097 A1

(12) EUROPEAN PATENT APPLICATION

(43) Date of publication:  
06.08.2025 Bulletin 2025/32

(51) International Patent Classification (IPC):  
B01F 27/80<sup>(2022.01)</sup> B01F 33/70<sup>(2022.01)</sup>  
B01F 35/21<sup>(2022.01)</sup>

(21) Application number: 25153256.0

(52) Cooperative Patent Classification (CPC):  
B01F 33/70; B01F 27/80; B01F 35/2112;  
B01F 35/2132

(22) Date of filing: 22.01.2025

(84) Designated Contracting States:  
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL  
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR  
Designated Extension States:  
BA  
Designated Validation States:  
GE KH MA MD TN

(72) Inventors:  
• Mortensen, Hans Henrik  
9210 Aalborg (DK)  
• Mosgaard, Lars  
9210 Aalborg (DK)  
• Kristensen, Morten  
9210 Aalborg (DK)

(30) Priority: 30.01.2024 EP 24154552

(74) Representative: Tetra Pak Patent Attorneys  
AB Tetra Pak  
Patent Department  
Ruben Rausing's gata  
221 86 Lund (SE)

(71) Applicant: Tetra Laval Holdings & Finance S.A.  
1009 Pully (CH)

### (54) LIMITING FOAM GENERATION DURING MIXING OF INGREDIENTS

(57) A control arrangement is configured to perform a method of operating a mixing apparatus (10) to produce a mixture. In the method, a set of ingredients containing air is supplied to a mixing chamber (11A) of the mixing apparatus, and a mixing device (12) in the mixing chamber is operated, during a mixing procedure, to produce the mixture from the set of ingredients. During the mixing procedure, an evacuation arrangement (20B) is operated

to establish a sub-atmospheric gas pressure in the mixing chamber to draw out at least part of the air from the mixture. During the mixing procedure, foam generation in the mixing chamber is controlled by adjusting the sub-atmospheric gas pressure in the mixing chamber based on a sensor signal (S1) that indicates if foam is present at one or more levels in the mixing chamber.

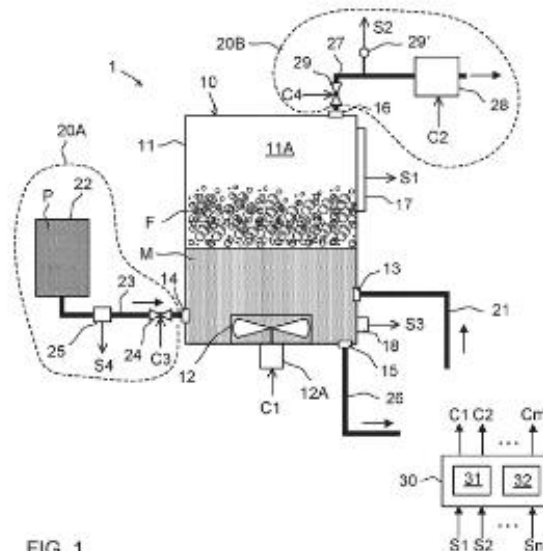


FIG. 1

EP 4 596 097 A1

(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 120740287 A

(43) 申请公布日 2025. 10. 03

(21) 申请号 202510789657.9

F26B 25/10 (2006.01)

(22) 申请日 2025.06.13

F26B 23/00 (2006.01)

(71) 申请人 亳州学院

F26B 3/00 (2006.01)

地址 236000 安徽省亳州市高新技术产业  
开发区汤王大道2266号

(72) 发明人 张萌 张晨 朱萱萱 沈悦

孟祥松 郑宇欣 李云鹏 王青青  
肖文钦

(74) 专利代理机构 合肥初航知识产权代理事务  
所(普通合伙) 34171

专利代理师 谢永

(51) Int. Cl.

F26B 11/18 (2006.01)

F26B 25/00 (2006.01)

F26B 25/18 (2006.01)

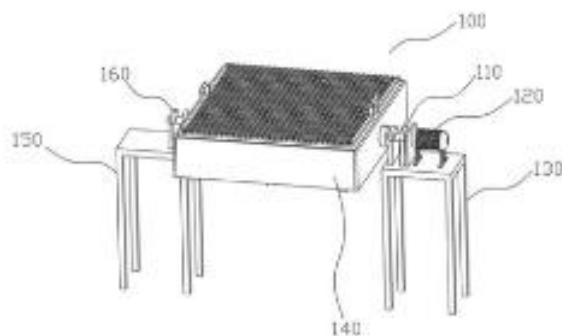
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

一种中药加工烘干装置及烘干方法

(57) 摘要

本发明涉及中药加工技术领域,具体地说,公开一种中药加工烘干装置及烘干方法。装置包括装置主体,装置主体包括安装座,安装座包括形状呈矩形的上盖板和下盖板;上盖板处设有多个沿上盖板宽度方向设置的第一条形孔,所述多个第一条形孔沿上盖板长度方向间隔设置;第一条形孔内设有沿第一条形孔长度方向设置的第一安装块和第二安装块;第一安装块、第二安装块与第一条形孔侧壁共同构成供药材片放入的限位槽;上盖板和下盖板之间设有顶升机构,顶升机构用于推动第二安装块上升对限位槽内药片进行翻面。方法包括使用装置翻面药材片。能够同时对所有药材片进行翻面,节省了药材片翻面的时间,避免了因不同药材片翻面时间不同,导致烘干程度不同。



(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118729691 A

(43) 申请公布日 2024.10.01

(21) 申请号 202411230113.0

(22) 申请日 2024.09.04

(71) 申请人 江苏超力建材科技有限公司

地址 221011 江苏省徐州市贾汪区徐州工  
业园区超越大道59号

(72) 发明人 黄立军 王一萍 王鹏

(74) 专利代理机构 南京启冠智兴知识产权代理  
事务所(特殊普通合伙)  
32659

专利代理师 刘明浩

(51) Int. Cl.

F26B 3/08 (2006.01)

F26B 21/00 (2006.01)

F26B 25/00 (2006.01)

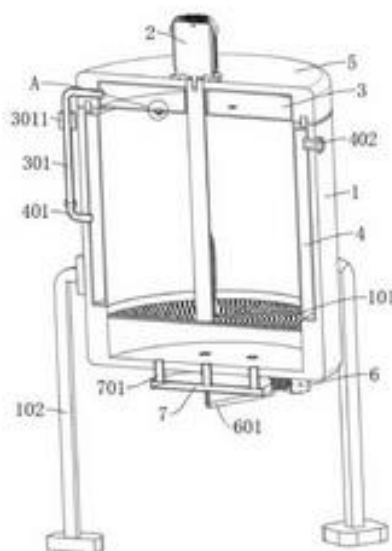
权利要求书2页 说明书6页 附图8页

(54) 发明名称

一种环保生物减水剂生产用恒温干燥装置

(57) 摘要

本发明公开了一种环保生物减水剂生产用恒温干燥装置,涉及减水剂生产干燥装置技术领域。本发明包括,干燥罐和罐盖;罐盖密封连接在干燥罐上;筛板,固定连接在干燥罐中;多组喷气管,固定连接在干燥罐底部,喷气管出气端置于筛板正下方;进气板,固定连接在喷气管底部;进气管,固定连接在进气板上;恒温热风泵,固定连接在干燥罐底部;本发明通过利用该装置中设置的弹性绳和气囊配合,使大颗粒物料或粘连在一起的物料进行粉碎、分裂成小颗粒物料,并在分裂、粉碎后再次进行热风烘干,解决了现有技术中部分物料块较大,内部可能无法充分烘干的问题,同时解决现有技术中部分粘连的物料可能会粘附在干燥罐内壁上,无法充分被粉碎、被烘干的问题。



CN 118729691 A

(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 120292847 A

(43) 申请公布日 2025.07.11

(21) 申请号 202510651258.6

F26B 23/04 (2006.01)

(22) 申请日 2025.05.20

F26B 25/00 (2006.01)

(71) 申请人 苏州科医世凯半导体技术有限  
公司

F26B 3/04 (2006.01)

F26B 3/28 (2006.01)

地址 215163 江苏省苏州市高新区科技城  
科灵路88号

申请人 中国科学院苏州生物医学工程技  
术研究所

(72) 发明人 王海洋 熊大曦 杨斐

(74) 专利代理机构 广州三环专利商标代理有  
限公司 44202

专利代理师 苗芬芬

(51) Int. Cl.

F26B 13/14 (2006.01)

F26B 21/00 (2006.01)

权利要求书2页 说明书13页 附图2页

(54) 发明名称

一种极片干燥装置、设备及干燥方法

(57) 摘要

本发明涉及锂离子电池制备设备技术领域，具体是一种极片干燥装置、设备及干燥方法，极片干燥设备包括烘干箱；极片干燥装置设置在烘干箱内，极片干燥装置包括壳体、第一滑动组件、光源组件和至少两个反射板；至少两个反射板设置在容纳空间内，至少两个反射板用于将容纳空间分割成至少三个干燥区域；至少两个反射板能够相对于第一滑动组件移动，以改变在容纳空间内的位置，至少两个反射板的位置移动能够调节至少三个干燥区域中至少一个干燥区域的长度；本发明通过反射板将容纳空间分割成至少三个干燥区域，从而实现对极片的分阶段烘干，同时通过灵活调整反射板在容纳空间内的位置，实现调节干燥区域的长度，进而调节至少三个干燥区域的干燥效果。





(21) 申请号 202511164922.0

(22) 申请日 2025.08.20

(71) 申请人 陕西恒田生物农业有限公司

地址 715106 陕西省渭南市大荔县渭南国家农业科技园区大荔核心区

(72) 发明人 唐满仓 唐少燃 米哲

(51) Int. Cl.

F26B 3/08 (2006.01)

F26B 21/00 (2006.01)

F26B 25/00 (2006.01)

B02C 19/00 (2006.01)

B01D 46/02 (2006.01)

B01D 46/04 (2006.01)

B01J 2/16 (2006.01)

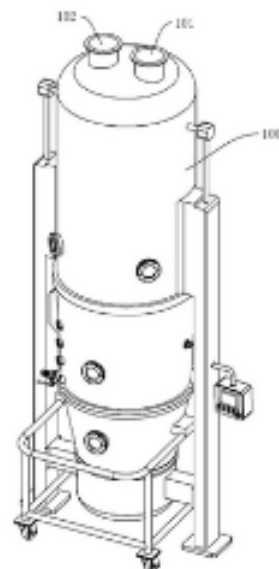
权利要求书2页 说明书8页 附图11页

(54) 发明名称

一种沸腾床的干燥造粒机

(57) 摘要

本发明涉及干燥装置技术领域,具体涉及一种沸腾床的干燥造粒机。一种沸腾床的干燥造粒机包括干燥筒、过滤机构和破碎机构。干燥筒内分隔为过滤腔和沸腾腔。过滤机构包括调节组件、第一驱动组件、第二驱动组件和过滤组件。调节组件包括转板。第一驱动组件根据每个过滤组件中过滤袋的堵塞程度,转动转板,以改变每个调节腔的体积。每个过滤组件中过滤袋的堵塞程度和对应的调节腔的体积大小正相关,进而减小对沸腾腔沸腾的影响。破碎机构用于粉碎从过滤袋掉落的物料。本发明提供一种沸腾床的干燥造粒机,以解决现有沸腾干燥机在清灰时,容易影响沸腾室沸腾的均匀性,以及过滤袋上的板结物料直接落入沸腾室,影响物料的制粒颗粒度的问题。





(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119425481 A

(43) 申请公布日 2025.02.14

(21) 申请号 202411638401.X

B01F 101/30 (2022.01)

(22) 申请日 2024.11.17

(71) 申请人 深圳市深兰爱法新材料有限公司  
地址 518000 广东省深圳市宝安区石岩街道浪心社区宏发佳特利高新园办公楼306B

(72) 发明人 梁树华 刘光普 张志强

(74) 专利代理机构 深圳宏创有为知识产权代理  
事务所(普通合伙) 44837  
专利代理师 黄培琪

(51) Int. Cl.

B01F 35/12 (2022.01)

B01F 35/45 (2022.01)

B01F 27/96 (2022.01)

B01F 35/42 (2022.01)

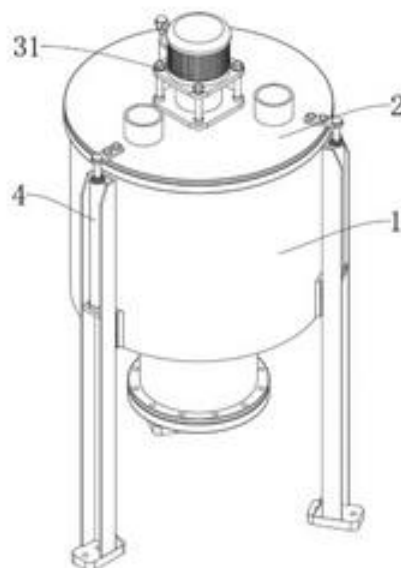
权利要求书2页 说明书5页 附图9页

(54) 发明名称

一种用于耐高温漆生产加工用的搅拌机

(57) 摘要

本发明公开了一种用于耐高温漆生产加工用的搅拌机,涉及搅拌机领域,包括由支撑件进行支撑的搅拌筒,其底部连通设有圆锥形下料斗;用于混合物料的搅拌组件,由安装于搅拌筒外的搅拌电机以及设于搅拌筒内的搅拌杆组成;设于圆锥形下料斗出料口内的控制机构;本发明通过传动组件驱动分隔组件,能使堵料板移动到卸料通槽内并将其挡住,利用堵料板隔开物料,解决了物料因落入出料口内而无法被搅拌到的问题,通过驱动堵料板下移使卸料通槽露出,油漆将通过卸料通槽流出,起到阀门的作用,不需要另外设置阀门,还能通过支撑结构来支撑搅拌杆,提高搅拌杆旋转时的稳定性,且设计的控制机构可以应用在现有搅拌机上,能节省改造成本。



(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 120115630 A

(43) 申请公布日 2025.06.10

(21) 申请号 202510225142.6

(22) 申请日 2025.02.27

(71) 申请人 京山亿丰机械有限公司

地址 431816 湖北省荆门市京山市孙桥镇  
陈集榨湾粮站

(72) 发明人 胡光绪

(74) 专利代理机构 武汉惠创知识产权代理事务  
所(普通合伙) 42243

专利代理师 陈红燕

(51) Int. Cl.

B22C 5/04 (2006.01)

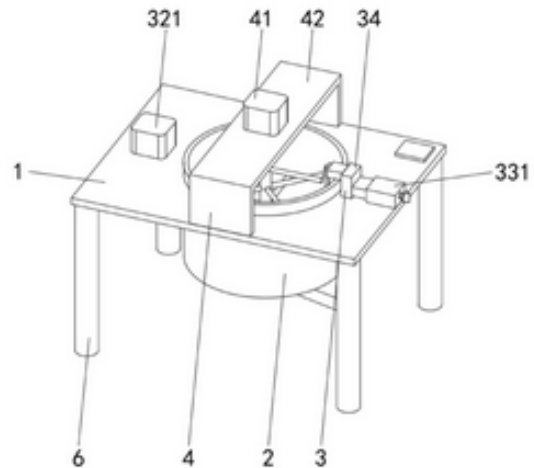
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

一种铸造粘合剂加工的树脂砂混砂机及其使用方法

(57) 摘要

本发明涉及混砂机技术领域,且公开了一种铸造粘合剂加工的树脂砂混砂机及其使用方法,包括底板以及混合桶,所述混合桶转动连接于所述底板的顶部并延伸至其底部,所述底板的顶部设置有清理机构,所述底板的顶部设置有搅拌机构,所述清理机构包括齿环、驱动组件、位置调节组件、活动块、安装板、拆装组件以及刮板,所述齿环设于所述混合桶的外侧。本发明通过设置驱动组件以及齿环可以带动混合桶进行旋转,而在混合桶旋转过程中,通过刮板可以对混合桶的内部进行清理,避免型砂粘黏在混合桶的内壁上,影响下次型砂混合以及混砂机正常使用的情况,而通过位置调节组件可以调节刮板的位置,确保刮板的清理效果。



CN 120115630 A

(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 119260970 A

(43) 申请公布日 2025.01.07

(21) 申请号 202411795383.6

(22) 申请日 2024.12.09

(71) 申请人 荆州市亿丰机械有限公司



(21) 申请号 202510198851.X

(22) 申请日 2025.02.24

(71) 申请人 河南省金太阳精密铸业股份有限公司

地址 453000 河南省新乡市榆东产业聚集区

(72) 发明人 宋向阳 徐清军 高哲彬 周照峰  
刘建镇 靳存文 闫涛

(74) 专利代理机构 新乡市平原智汇知识产权代理事务所(普通合伙) 41139  
专利代理师 路飞

(51) Int. Cl.

B22C 5/04 (2006.01)

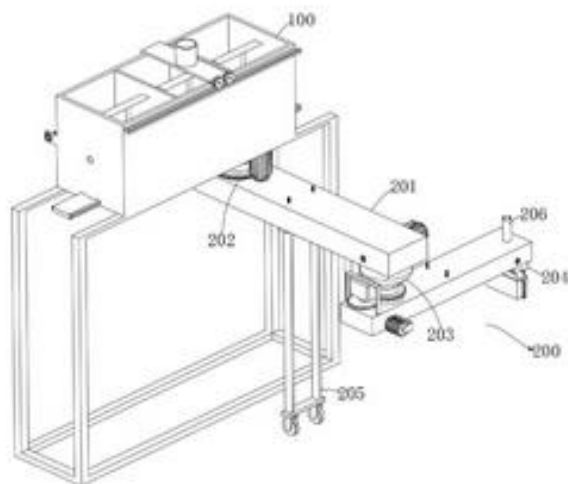
权利要求书3页 说明书9页 附图9页

(54) 发明名称

一种铸造用呋喃树脂砂混砂机及使用方法

(57) 摘要

本发明涉及呋喃树脂砂铸造技术领域,特别是一种铸造用呋喃树脂砂混砂机及使用方法,包括,搅拌机构,包括混料箱、设置在混料箱内侧的搅拌组件、设置在混料箱外侧的转料组件和固设在混料箱底面上的底座架,转料组件包括U形板、螺杆和封料板;以及,输料机构,包括输送组件、第一转向组件、第二转向组件和出料组件,两个输送组件在同一水平截面上呈L形设置,且两个输送组件之间通过第二转向组件连接,位于上方的输送组件远离第二转向组件的一端通过第一转向组件与出料框连接,该混砂机可以实现不间断且持续的进行混料,生产效率高,混料后的混成料结团率低,注料量可控性强,整体实用性好。



(19) 国家知识产权局



## (12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 120576570 A

(43) 申请公布日 2025.09.02

- (21) 申请号 202511079925.4 *F26B 25/04* (2006.01)
- (22) 申请日 2025.08.04 *F26B 25/02* (2006.01)
- (71) 申请人 福建省亚热带植物研究所  
地址 361000 福建省厦门市湖里区嘉禾路  
780—800号 *F26B 3/28* (2006.01)  
*F26B 1/00* (2006.01)
- (72) 发明人 汪文华 孟红岩 何恩铭 郑明琼  
沈志君 方舒玫 洪丽萍 黄拔严  
陈德宗
- (74) 专利代理机构 厦门骏超知识产权代理事务  
所(普通合伙) 35340  
专利代理师 林慕超
- (51) Int. Cl.  
*F26B 17/04* (2006.01)  
*F26B 23/00* (2006.01)  
*F26B 25/00* (2006.01)

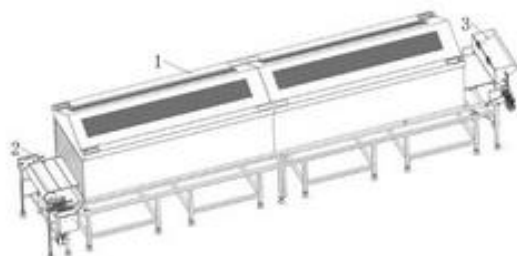
权利要求书2页 说明书6页 附图9页

### (54) 发明名称

一种粉末状中药品烘干方法及装置

### (57) 摘要

本发明公开一种粉末状中药品烘干方法及装置,涉及烘干技术领域,包括传输设备,所述传输设备的输送带上具有沿其传输方向设置的多个软布;壳体,所述壳体设置于传输设备的上侧,且所述壳体将传输设备的中部位置罩住;放料机构,所述放料机构设置于传输设备传输的头部,用于向软布上均匀的散布粉末状中药品;加热器,所述加热器安装于壳体的内壁,用于加热壳体的内部,实现对粉末状中药品的烘干。本发明通过抛料机构将粉末状中药品向上抛动,使其在空中分散,促进水汽快速散出,有效解决现有烘干装置散热不佳、热量分布不均的问题,避免药材局部过热或受热不均匀,保护药效。



**Додаток Е**  
**Публікації автора**

## **СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

Студентки групи ЛМ-41мп кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

### **ВАКУЛІНОЇ АНГЕЛІНИ ДМИТРІВНИ**

1. Вакуліна А. Д., Гулієнко С. В. МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА АМІНОСМОЛ. Збірник тез доповідей XXXVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів", м. Київ, 28–29 трав. 2025 р. Київ. С. 32–35.

2. Вакуліна А. Д., Гулієнко С. В. МОДЕРНІЗАЦІЯ ЗМІШУВАЛЬНОГО АПАРАТУ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА АМІНОСМОЛ. Збірник тез доповідей XXXVII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів", м. Київ, 1–10 груд. 2025 р. С. 285–289.

3. Вакуліна А. Д., Гулієнко С. В. МОДЕРНІЗАЦІЯ СУШИЛЬНОГО АПАРАТУ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА АМІНОСМОЛ. Збірник тез доповідей XXXVII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів", м. Київ, 1–10 груд. 2025 р. С. 285–289.

УДК 661.7

## МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА АМІНОСМОЛ

студентка Вакуліна А.Д, доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Анотація:** : Розглянуто схему виробництва карбамід-формальдегідних та меламіно-формальдегідних смол. Визначено головні апарати схеми та напрямок подальшої модернізації.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** АМІНОСМОЛИ, КАРБАМІД-ФОРМАЛЬДЕГІДНІ СМОЛИ, МЕЛАМІНО-ФОРМАЛЬДЕГІДНІ СМОЛИ, СПРЕЙ-СУШАРКА, РОЗПИЛЮВАЛЬНА МІШАЛКА.

**Absrtact:** The scheme of production of urea-formaldehyde and melamine-formaldehyde resins is considered. The main apparatuses of the scheme and the direction of further modernization are determine

**KEYWORDS:** AMINO RESINS, UREA-FORMALDEHYDE RESINS, MELAMINE-FORMALDEHYDE RESINS, SPRAY DRYER, ATOMIZING MIXER, MODERNIZATION.

Виробництво аміносмола набуло широкого застосування завдяки різноманітності продуктів, що з них виготовляються. Основний продукт виготовлення – клей, який використовується для виробництва фанери, ДСП та деревно-стружкових плит та інших композитних матеріалів для меблевої та будівельної галузей. Також, деякі аміносмоли використовуються як «модифікатори»: наприклад, невелика кількість аміносмола, додана до текстилю, надає тканинам властивості "прати-і-носити". У автомобільній промисловості аміносмоли покращують адгезію гуми до металевого корду, що робить шини міцнішими та довговічними. Також вони зміцнюють папір,

зберігаючи його структурну цілісність навіть під дією вологи, що критично важливо для упаковки та медичних матеріалів. Формувальні композиції на основі аміносмол застосовуються для виготовлення деталей електроприладів (наприклад, корпусів вимикачів), кришок для пляшок, легкого пластикового посуду та навіть декоративних елементів, таких як гудзики. Важливою властивістю аміносмол є їх здатність каталізувати затвердіння інших полімерів, що значно розширює сферу їх використання у композитних матеріалах.

Виробництво аміносмол передбачає точний контроль умов реакції, включаючи молярне співвідношення реагентів, рН реакційної суміші, час реакції та температуру.

Синтез проводять періодичним методом, переважно у водному середовищі. Реагенти послідовно завантажуються в реактор з подальшим регулюванням рН за допомогою лужних або кислотних каталізаторів. Умови для першої частини реакції обираються так, щоб сприяти утворенню метилольних сполук. Після змішування реагентів умови можуть бути скориговані для контролю полімеризації, наприклад, підкислюється середовище для ініціювання полімеризації. Реакція також може бути зупинена для отримання стабільного сиропу, який може використовуватися як клей або ламінуюча смола, або змішуватися з наповнювачами для виготовлення формувальних композитів. Також сироп можна комбінувати з наповнювачами (наприклад, деревною стружкою) для створення формувальних композитів або переробляти на більш складні матеріали. Наприклад, шляхом алкілування отримують аміносмоли з підвищеною гідрофобністю, які використовуються у виробництві фарб, лакофарбових покриттів та захисних плівок.

На рисунку 1 показана технологічна схема виробництва карбамід-формальдегідних та меламіно-формальдегідних смол.

Схема виробництва включає три тісно взаємозв'язані блоки: виробництво полімерного сиропу, формувальних сумішей та смол методом розпилення.

Блок розпилення є надзвичайно важливою ланкою технологічного ланцюга, де рідка смола перетворюється на сухий порошок, готовий для використання у прес-матеріалах, адгезивах або покриттях.

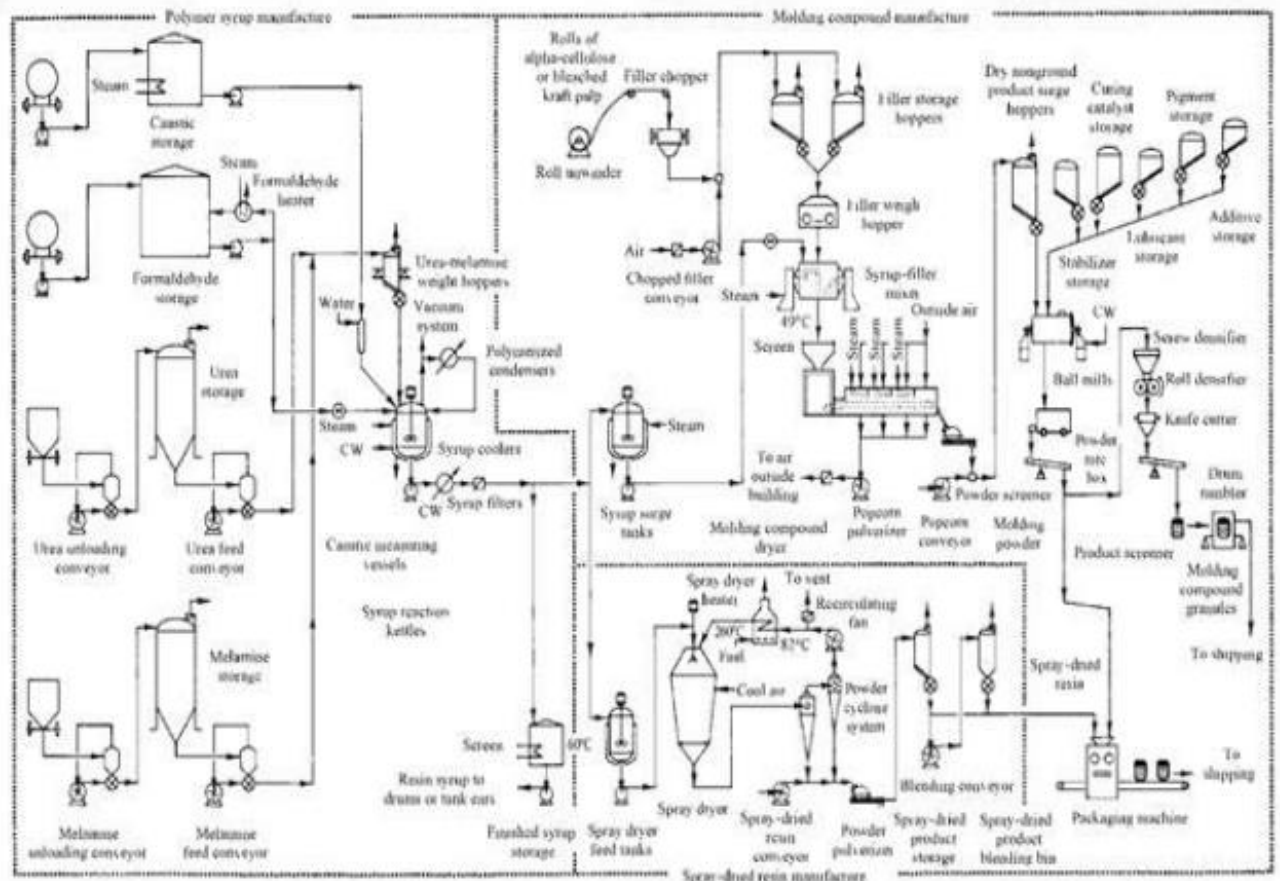


Рисунок 1. – Схема виробництва карбамід-формальдегідних та меламіно-формальдегідних смол. CW – холодна вода

Необхідно зменшити енерговитрати ключових апаратів цього блоку та забезпечити максимальну продуктивність процесу для отримання якісного і економічного продукту.

Найкраще рішення для покращення процесу – удосконалення розпилюючої мішалки та спреї-сушарки. Модернізація дасть змогу знизити енерговитрати, підвищить якість продукту а також зменшить вплив на довкілля

завдяки стабільнішому розподілу частинок. Після чого лишається лише подати частинки смоли до циклонів та подрібнити їх перед упакуванням.

**Перелік посилань:**

1. Williams, L. L. (1992). Amino resins and plastics. In J. I. Kroschwitz (Ed.), *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* (4th ed., Vol. 2, pp. 321–334). John Wiley & Sons, Inc.

УДК - 661.7

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ЗМІШУВАЛЬНОГО АПАРАТУ УСТАНОВКИ  
ВИРОБНИЦТВА АМІНОСМОЛ**

студентка Вакуліна А.Д, доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Анотація:** : Розглянуто два патенти, які описують методи модернізації перемішуючого апарату, проаналізовано принцип дії та наведено переваги та недоліки.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** МОДЕРНІЗАЦІЯ, ЗМІШУВАЛЬНИЙ АПАРАТ, ВИРОБНИЦТВО АМІНОСМОЛ.

**Absrtact:** Two patents describing methods for modernizing a mixing machine were reviewed, the principle of operation was analyzed, and the advantages and disadvantages were indicated.

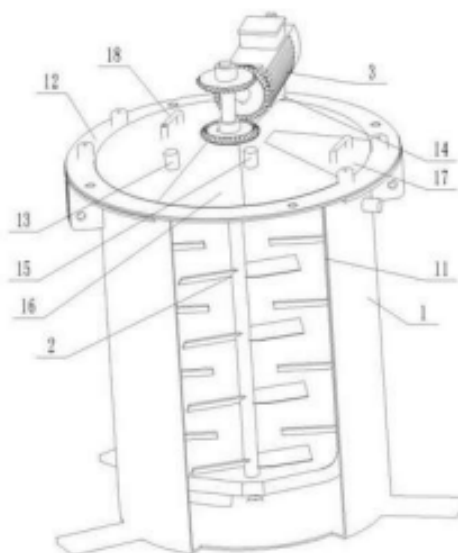
**KEY WORDS:** MODERNIZATION, MIXING MACHINE, AMINO RESIN PRODUCTION.

Розглянемо патент CN119260970A[1], який описує пристрій для подачі, змішування та перемішування для виробництва пластикової клейової смоли.

Даний апарат є спеціалізованим змішувачем для полімерної промисловості, призначеним для інтенсивного перемішування твердих пластикових частинок з рідкими смолами. Його ключовою особливістю є унікальна система газообігу, яка вирішує проблему прилипання в'язкої смоли до стінок апарату та забезпечує ідеальну однорідність суміші.

Це спеціалізований змішувач для полімерної промисловості, призначений для інтенсивного перемішування твердих пластикових частинок з рідкими смолами. Система вирішує ключову проблему прилипання в'язкої смоли до стінок апарату шляхом поєднання механічного перемішування та унікальної

системи газообігу, що забезпечує високу однорідність суміші. Схема пристрою для подачі та змішування твердих частинок виготовлених з пластикової клейкої смоли зображена на рисунку 3.6.



1 – корпус барабану; 2 – мішалка; 3 – двигун; 11 – корпус циліндра; 12 – кришка; 13 – відвід повітря; 14 – кріплення; 15 – балансувальний клапан; 16 – оглядове вікно; 17 – люк подачі; 18 – ручка;

Рисунок 1 – Схема пристрою для подачі та змішування твердих частинок виготовлених з пластикової клейкої смоли [1]

Технологічний процес відбувається наступним чином. Після завантаження сировини через завантажувальний люк та герметизації апарата, включається нагрівальний шар барабана для плавлення смоли. Одночасно запускається мішальний механізм, який за допомогою внутрішнього та зовнішнього вала з лопатями обертається в протилежних напрямках, інтенсивно перемішуючи суміш. Під час цього процесу частина рідкої смоли неминуче прилипає до внутрішніх стінок. У цей момент вмикається система газообігу: насос створює розрідження в робочій камері та надлишковий тиск в газовому просторі між шарами стінки барабана. Стиснене повітря через спеціальні конічні отвори під високим тиском "здуває" прилиплі краплі смоли, утворюючи на їх поверхні бульбашки, які лопаються та розпорошують смолу в центральну

зону перемішування. Додатково, потік газу формує захисну повітряну плівку на внутрішній поверхні, що запобігає подальшому налипанню.

Пристрій, описаний у патенті, має ряд переваг, які виділяють його серед інших. Однією з ключових переваг є високий ступінь однорідності готової суміші, досягнутий завдяки поєднанню механічного перемішування зустрічно обертовими мішалками та пневматичного впливу, який повертає прилиплий матеріал у зону перемішування. Крім того, герметична конструкція дозволяє працювати з летючими сполуками та забезпечує стабільність температурного режиму, що є критично важливим для якості полімерних композитів.

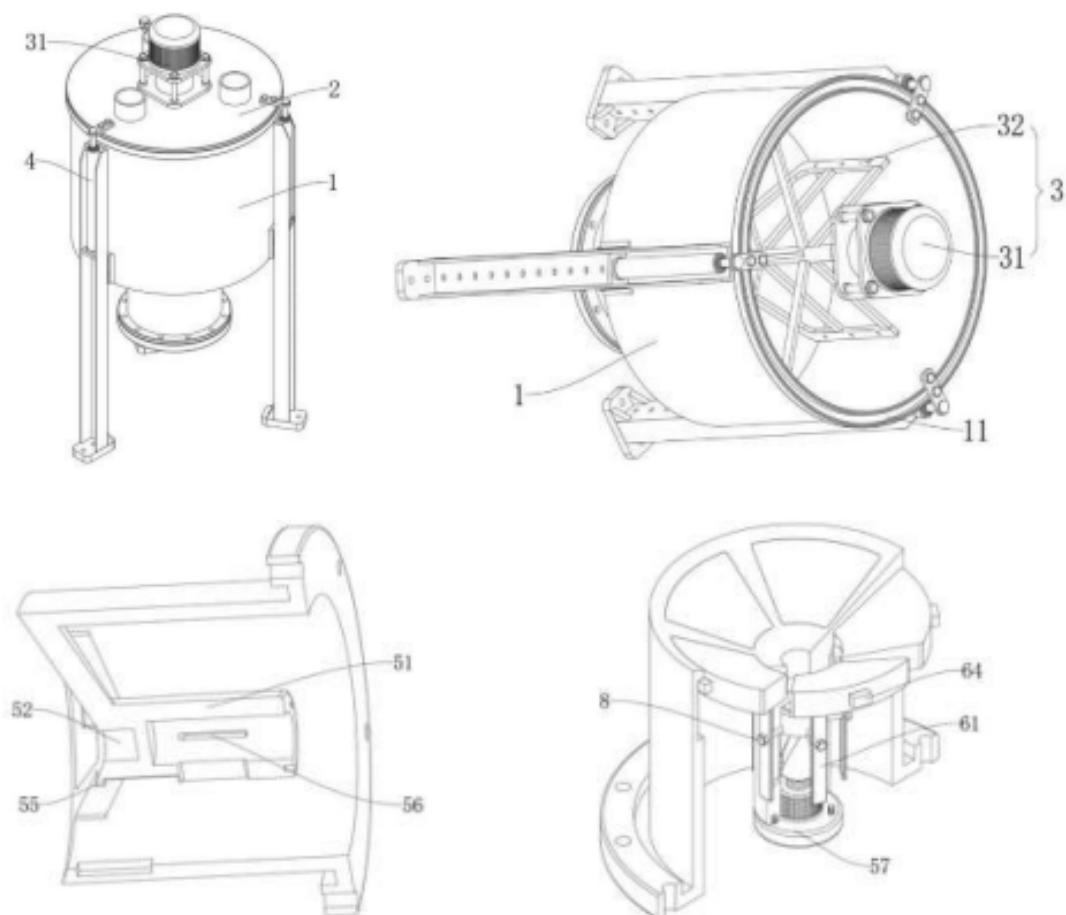
Однак є й певні недоліки, які варто врахувати. Серед них можна виділити підвищені енерговитрати, зумовлені необхідністю живлення системи нагріву, двох приводів мішалки та потужного повітряного насосу. Високі вимоги до якості матеріалів для внутрішнього шару барабана, що контактує з абразивними частинками та хімічно активними смолами, також можуть збільшити собівартість апарата. Ще одним недоліком є технологічна складність конструкції, обумовлена наявністю багатошарового барабана, подвійного приводу мішалки та системи газообігу, що вимагає кваліфікованого обслуговування.

Розглянемо патент CN119425481A, який описує змішувальну машину для виробництва та обробки фарби, стійкої до високих температур [2].

Це змішувач, призначений для приготування жаростійких фарб, основним завданням якого є забезпечення ефективного та однорідного перемішування компонентів. Його ключовою особливістю є вбудований контрольний механізм у вихідному отворі, який запобігає передчасному витіканню матеріалу під час процесу змішування.

Принцип роботи заснований на комбінації механічного перемішування та інтелектуального контролю вивантаження. Ключовою особливістю апарата є вбудований контрольний механізм у вихідному отворі, який складається з

розвантажувальної гирки, розділових елементів та приводу. Під час процесу змішування розділові пластини повністю блокують вихідні отвори, запобігаючи передчасному потраплянню матеріалу в зону вивантаження. Коли змішування завершено, привод опускає пластини, відкриваючи канали для виходу готової фарби. Додатково, регульовані скребки на мішалній рамці забезпечують ефективне очищення стінок від прилиплого матеріалу.



1 – змішувальний барабан; 2 – кришка; 3 – вузол перемішування; 4 – підйомний стрижень; 8 – гвинт; 11 – паз монтажного кільця; 31 – двигун перемішування; 32 – рама перемішування; 51 – опорна конструкція; 52 – порожнина; 55 – напрямний паз; 56 – ковзуючий отвір; 57 – опорна основа; 61 – пластина; 64 – ковзуючий блок;

Рисунок 2 – Схема змішувача для виробництва та обробки високотемпературної фарби [2]

Переваги цієї технології полягають у високій якості змішування, досягнутої завдяки повній ізоляції робочої камери під час процесу, що запобігає втраті матеріалу. Покращена стабільність роботи мішального вала за рахунок додаткової опори в нижній частині апарата зменшує вібрації та знос, підвищуючи довговічність обладнання. Крім того, зручність обслуговування завдяки механізму підйому кришки з допомогою гідравлічного штока спрощує очищення та огляд внутрішньої порожнини.

Серед недоліків варто зазначити технологічну складність виготовлення всього вузла контрольного механізму. Потенційне засмічення рухомих елементів цього механізму в'язкою фарбою може ускладнити його функціонування та вимагати регулярного чищення. Ефективність апарата також може бути обмеженою при роботі з дуже в'язкими матеріалами, які здатні утруднювати роботу розділових пластин та блокувати вихідні отвори.

#### **Висновок:**

Розглянувши патенти, можна зробити висновок, що модернізації перемішувального апарату для установки виробництва аміносмоле є важливим напрямком для забезпечення якості та ефективності у виробництві. Обидва винаходи пропонують інноваційні рішення для ключових проблем галузі: перший – для боротьби з прилипанням матеріалу, другий – для точного контролю процесу вивантаження. Незважаючи на наявні технологічні складності та підвищені витрати, їх впровадження сприяє розвитку інноваційних технологій у галузі промислового змішування, що є важливим для підвищення продуктивності та якості готової продукції.

#### **Перелік посилань:**

1. Feeding, mixing and stirring device for manufacturing plastic adhesive resin: пат. CN119260970A Китай : B29B7/18; B29B7/80; B29B7/84;. № CN202411795383A; заявл. 09.12.2024 ; опубл. 07.01.2025. 13 с.

[URL: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094109877/publication/CN119260970A?q=pn%3DCN119260970A](https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094109877/publication/CN119260970A?q=pn%3DCN119260970A)

2. Stirring machine for producing and processing high-temperature-resistant paint : пат. CN119425481A Китай : B01F27/96; B01F35/12; B01F35/42; B01F35/45; B01F101/30;. № CN202411638401A ; заявл. 17.11.2024 ; опубл. 14.02.2025. 17 с.

[URL: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094513801/publication/CN119425481A?q=pn%3DCN119425481A](https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/094513801/publication/CN119425481A?q=pn%3DCN119425481A)

УДК - 661.7

**МОДЕРНІЗАЦІЯ СУШИЛЬНОГО АПАРАТУ УСТАНОВКИ  
ВИРОБНИЦТВА АМІНОСМОЛ**

студентка Вакуліна А.Д, доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Анотація:** : *Розглянуто два патенти, які описують методи модернізації сушального апарату, проаналізовано принцип дії та наведено переваги та недоліки.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** МОДЕРНІЗАЦІЯ, СУШИЛЬНИЙ АПАРАТ, ВИРОБНИЦТВО АМІНОСМОЛ.

**Absrtact:** *Two patents describing methods for modernizing a dryer were reviewed, the principle of operation was analyzed, and the advantages and disadvantages were indicated.*

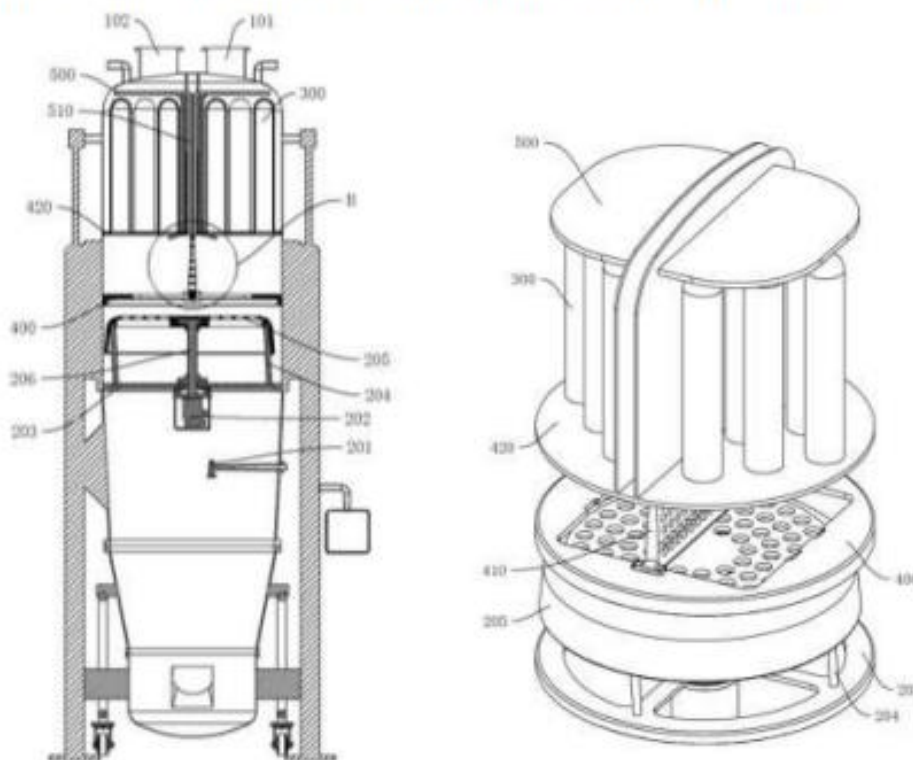
**KEY WORDS:** MODERNIZATION, DRYER, AMINO RESIN PRODUCTION.

Розглянемо патент CN120667890A[1], який описує сушилку-гранулятор з псевдозрідженим шаром, призначену для одночасного виконання процесів сушіння та гранулювання порошкоподібних матеріалів.

Цей апарат знаходить застосування у фармацевтичній, хімічній та харчовій промисловості для отримання гранул з заданими характеристиками. Його ключовою особливістю є інтегрована система фільтрації та подрібнення, яка забезпечує стабільність технологічного процесу. Конструкція включає сушальну камеру, розділену на фільтрувальний відсік та камеру киплячого шару, з двосторонньою фільтрувальною системою з регульованими камерами.

Структурна схема гранулятора з псевдозрідженим шаром наведена на рисунку 1.

Механізм роботи ґрунтується на динамічному регулюванні газових потоків. Під час роботи спеціальний регулюючий механізм автоматично змінює об'єм повітряних камер залежно від ступеня засмічення фільтрів, підтримуючи рівномірний тиск у камері киплячого шару. У режимі очищення відбувається почергове струшування фільтр-тканин з одночасним подрібненням відокремлених агломератів перед їх поверненням у робочу зону.



101 – перший вихідний отвір для повітря; 102 – другий вихідний отвір для повітря; 201 – розпилювач; 202 – другий двигун; 203 – кріпильна рама; 204 – гумова колона; 205 – дробильний диск; 206 – ексцентриковий вал; 300 – фільтрувальний мішок; 400 – вентиляційна пластина; 410 – обертова пластина; 420 – з'єднувальна рама; 500 – притискна пластина; 510 – штовхач;

Рисунок 3.8 – Структурна схема гранулятора з псевдозрідженим шаром [1]

Апарат, описаний у патенті, має ряд переваг, які виділяють його серед інших. Однією з ключових переваг є підвищення якості гранул через подрібнення великих агломератів, що утворюються на фільтрах під час очищення. Крім того, рівномірний розподіл газового потоку через киплячий шар забезпечує стабільність режиму псевдозрідження. Ще однією перевагою є можливість проведення відновлення фільтрів без зупинки основного процесу сушіння-гранулювання.

Однак є й певні недоліки, які варто врахувати. Серед них можна виділити значну технологічну складність конструкції, пов'язану з наявністю механізму регулювання, двох фільтрувальних блоків та подрібнювального пристрою. Підвищені експлуатаційні витрати через споживання енергії приводами також можуть збільшити собівартість експлуатації. Ще одним недоліком є необхідність регулярного технічного обслуговування через роботу апарату при високій температурі та забрудненні пилом.

Розглянемо патент CN118729691A[2], який описує пристрій для сушіння з постійною температурою для виробництва екологічного біологічного пластифікатора.

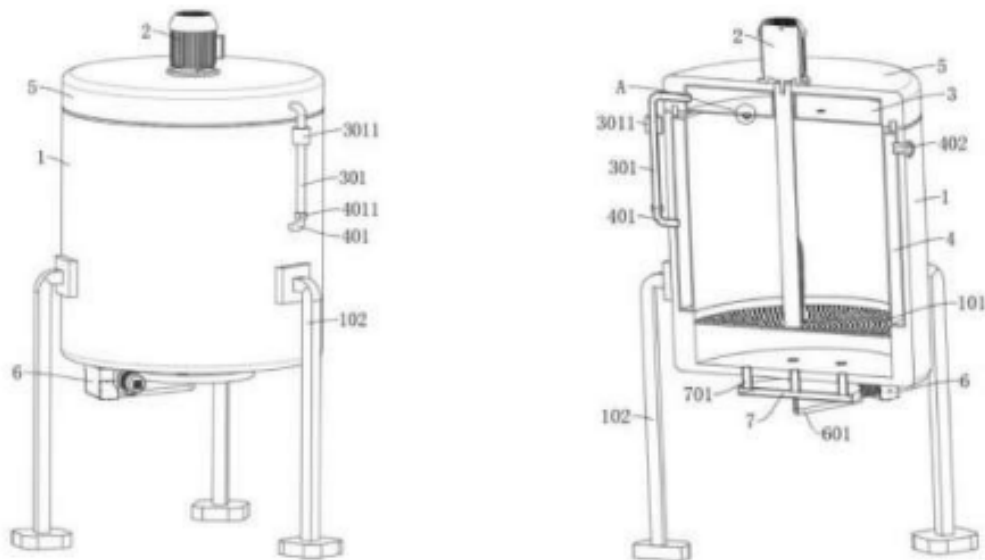
Цей пристрій призначений для термічного сушіння матеріалу пластифікатора біологічного походження в процесі його виробництва. Основна сфера застосування - технологічні лінії виробництва будівельних хімічних добавок, зокрема екологічних пластифікаторів для бетонних сумішей, де необхідно забезпечити видалення вологи з гранульованого продукту з підвищеною липкістю.

Схема пристрою для сушіння з постійною температурою для виробництва екологічного біологічного пластифікатора зображена на рисунку 2.

Функціонування засноване на комбінації пневматичної сепарації, механічного подрібнення та конвективного тепломасообміну. Під час роботи система подачі термостабілізованого повітряного потоку забезпечує рівномірне

прогрівання матеріалу, а обертовий вал з гнучкими елементами ефективно дезінтегрує агломерати. Еластична оболонка з можливістю циклічного надування запобігає прилипанню матеріалу до стінок камери.

Переваги цієї технології полягають у ефективному подрібненні злиплих грудок матеріалу завдяки синхронній дії обертових гнучких шнурів та періодичного надування бортової повітряної подушки. Додаткове підсушування дрібних частинок у верхньому шарі шляхом використання теплоти, що виділяється при взаємодії пари з сорбентом, покращує якість готового продукту. Крім того, зменшення енерговитрат на подрібнення за рахунок попереднього аеродинамічного фракціонування матеріалу в потоці гарячого повітря робить процес більш економічним.



1 – сушильний бак; 2 – двигун; 3 – емність для матеріалу; 4 – повітряна подушка; 5 – кришка баку; 6 – насос із постійною температурою гарячого повітря; 7 – повітророзподільна плита; 101 – сітчаста плита; 102 – опорна рама; 301 – порожнина; 401 – напрямний паз; 402 – ковзуючий отвір; 3011 – клапан тиску; 4011 – з'єднувальний вузол;

Рисунок 2 – Схема пристрою для сушіння з постійною температурою для виробництва екологічного біологічного пластифікатора [2]

Серед недоліків варто зазначити високі експлуатаційні витрати, пов'язані з підтримкою постійної температури та роботою допоміжних систем. Обмежена продуктивність для сировинних матеріалів з вологістю понад 40% через ризик вторинного злипання часток може обмежити сферу застосування апарата. Ефективність роботи також залежить від правильного підбору швидкості обертання ударних елементів, оскільки є можливість пошкодження крихких гранул при невірних налаштуваннях.

**Висновок:**

Проведений аналіз сучасних патентних рішень у галузі сушильних технологій дозволяє виокремити ключові тенденції, які можуть бути успішно застосовані для модернізації сушильного апарату виробництва аміносмол. Найбільший потенціал для вдосконалення полягає в інтеграції декількох технологічних операцій у єдиному апараті, що дозволяє не лише підвищити ефективність процесу, але й покращити якість кінцевого продукту.

**Перелік посилань:**

1. Fluidized-bed Drying and Granulation Machine : пат. CN120667890A Китай : B01D46/02; B01D46/04; B01J2/16; B02C19/00; F26B21/00; F26B25/00; F26B3/08;. № CN202511164922A ; заявл. 08.08.2025 ; опубл. 19.09.2025. 22 с.

URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/097053278/publication/CN120667890A?q=pn%3DCN120667890A>

2. Constant-temperature drying device for producing environment-friendly biological water reducing agent : пат. CN118729691A Китай : F26B21/00; F26B25/00; F26B3/08;. № CN202411230113A ; заявл. 04.09.2024 ; опубл. 10.10.2024. 17 с.

URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/092847751/publication/CN118729691A?q=pn%3DCN118729691A>