

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

Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра біотехніки та інженерії

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Вікторія МЕЛЬНИК

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

**на тему: «Вдосконалення процесу виробництва тритураційних таблеток
з використанням сушарки»**

Виконав:

студент VI курсу, групи БІ-301 мп
Криворучко Богдан Анатолійович

Науковий керівник:

Зав. кафедри, д.н.т., професор.
Мельник Вікторія Миколаївна

Рецензент:

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

Студент _____ Криворучко Б.А.

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”
Факультете біотехнології і біотехніки
Кафедра біотехніки та інженерії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою.
Спеціальність (спеціалізація) – 133 “Галузеве машинобудування” (“Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв”)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Вікторія МЕЛЬНИК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Криворучко Богдану Анатолійовичу

1. Тема дисертації: “Вдосконалення процесу виробництва тритураційних таблеток з використанням сушарки” науковий керівник дисертації Мельник Вікторія Миколаївна, затверджені наказом по університету від “__” _____ 20__ р. № _____
2. Строки подання студентом дисертації _____
3. Об’єкт дослідження: “сушарка псевдозріженого шару”
4. Предмет дослідження: “вплив ультразвуку на процес розчинення сухої кристалічної речовини кавітацією”
5. Перелік завдань які потрібно розробити: обґрунтування обраної конструкції, провести огляд літератури за темою дисертації, провести експериментальні дослідження розчинення кристалічної маси під дією ультразвуку, розробити математичну модель процесу сушіння, розробити комп’ютерну модель сушарки з псевдозріденим станом, провести конструктивний розрахунок сушарки, розробити стартам-проект.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу.
Апаратурно-технологічна схема; Сушарка із псевдозрідженим шаром, креслення складальних одиниць, 3D-модель сушарки псевдозрідженого шару – плакат 1; Епюри до розрахунку конструктивних елементів на міцність плакат

1.

7. Орієнтовний перелік публікацій: _____

8. Дата видачі завдання _____

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістрської дисертації | Строк виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|---|---|----------|
| 1 | Літературний огляд. | 29.10-3.11.2021 | |
| 2 | Експериментальні дослідження | 4.11.-8.11.2021 | |
| 3 | Патентний пошук. Математичне моделювання | 10.11.-13.11.2021 | |
| 4 | Комп'ютерне моделювання | 15.11.-18.11.2021 | |
| 5 | Виконання розрахунків для практичної реалізації. . | 20.11.-23.11.2021 | |
| 6 | . Оформлення креслень та документації на сушарку із псевдорідженим станом.. | 25.11.-27.11.2021 | |
| 7 | Розробка стартап-проєкту | 27.11.-30.11.2021 | |
| 8 | Оформлення ПЗ | 2.12.-6.12.2021 | |
| 9 | Підготовка до захисту | 8.12.-14.12.2021 | |

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Реферат

Пояснювальна записка до магістерської дисертації «Вдосконалення процесу виробництва тритураційних таблеток з використанням сушарки» містить 121 сторінок формату А4, 23 літературних джерел, 21 рисуноків, 16 таблиць.

В магістерській дисертації розглянуто методологію удосконалення роботи сушарку із псевдозрідженим шаром під час процесу гранулювання та впливу ультразвукового променя за допомогою ультразвукової установки.

Тритураційними називаються таблетки, що формуються з зволоженої маси шляхом її втирання у спеціальну форму з подальшим сушінням. На відміну від пресованих таблеток, тритураційні таблетки не піддаються впливу тиску: адгезія цих частинок таблеток є результатом дії під час процесу сушіння, тому міцність тритураційних таблеток нижча, ніж у пресованих таблеток. Сушіння в псевдозрідженому шарі є дуже ефективним видом висушування твердих речовин. При цьому, процес висушування продукту отримує високий коефіцієнт тепло-та масопередачі із необхідної залишкової вологістю.

Сушарка із псевдозрідженим шаром використовується для вилучення зайвої вологи з порошкоподібної лікарської сировини. Технологія дегідратації із застосуванням такого обладнання - одна з найпоширеніших у фармацевтичній промисловості.

Запропонована ультразвукова установка покращує процес гранулювання та пришвидшує швидкість самого процесу.

Проведені розрахунки працездатності та надійності конструкції сушарки, проведенні розрахунки конструкції апарату на міцність, які підтвердились 3D моделюванням в програмі SolidWorks.

Проведено патентний пошук, тому основні показники конструкції сушарки порівняно та проаналізовано з існуючими аналогами.

Ключові слова: ультразвукова установка, сушарка, псевдозріджений шар, сушка, тритураційна таблетка.

Abstract

Explanatory note to the master's dissertation "Improvement of the process of production of trituration tablets using a dryer" contains 121 A4 pages, 23 references, 21 figures, 16 tables.

The master's dissertation considers the methodology of improving the operation of the dryer with a fluidized bed during the process of granulation and exposure to ultrasonic beams using an ultrasonic device.

Trituration tablets are formed from a moistened mass by rubbing it into a special form with subsequent drying. Unlike compressed tablets, trituration tablets are not subject to pressure: the adhesion of the particles of these tablets is carried out only as a result of autogenesis during drying, so trituration tablets have less strength than compressed. Drying in a fluidized bed is a very effective type of solid drying. In this case, the drying process of the product receives a high coefficient of heat and mass transfer with the required residual humidity.

The fluidized bed dryer is used for extraction of excess moisture from powdered medicinal raw materials. Dehydration technology using such equipment is one of the most common in the pharmaceutical industry.

The proposed ultrasonic installation improves the granulation process and speeds up the process itself.

Calculations of efficiency and reliability of the dryer design, calculations of the design of the device for strength, which were confirmed by 3D modeling in the program SolidWorks.

A patent search was carried out, due to which a comparative analysis of the main indicators of the dryer design with existing analogues was performed.

Key words: ultrasonic installation, dryer, fluidized bed, drying, trituration tablet.

Перелік скорочень, умовних позначень і термінів

G_n - продуктивність сушарки по вологому матеріалу;

G_k - продуктивність сушарки по вологому матеріалу;

W – кількість випареної вологи;

w_n – початкова вологість матеріалу;

w_k – кінцева вологість матеріалу;

t_1 - початкова температура теплоносія;

t_2 - кінцева температура теплоносія;

θ_1 - початкова температура матеріалу;

θ_2 - початкова температура матеріалу;

r_0 – теплота випарювання при 0°C ;

c_n - теплоємність водяної пари;

c_m – теплоємність матеріалу;

B – барометричний тиск;

x_2 - вологовміст повітря на виході із сушильної камери;

s_1 - шар товщини ізоляції;

μ_t - коефіцієнт динамічної повітря;

ν_t - коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря;

Ar - критерії Архімеда;

g – прискорення вільного падіння;

d – діаметр гранул таблеткової маси;

ρ_M – густина таблеткової мачи;

ε = щільність киплячого шару;

V_p - робоча швидкість повітря;

S_p - площа решітки газорозподільної;

Pr - Критерій Прандтля;

λ_t – теплопровідність повітря;

$S_{\text{пит}}$ - це питома поверхні шару;

$H_{\text{ш}}$ - висота шару;

k – число псевдозрідження;

ΔP - гідравлічний опір;

ξ – коефіцієнт опору решітки;

L – масова втрата теплоносія;

w – швидкість руху теплоносія в штуцері;

w – швидкість руху теплоносія в штуцері;

φ – коефіцієнт ослаблення для сталі;

$[\sigma]$ – допустиме напруження сталі;

P – тиск;

c – поправка до товщини стінки;

c_3 - технологічна прибавка, яка враховує стоншення листа внаслідок технологічних операцій, приймаємо

c_4 – прибавка на округлення до стандартного значення;

H – висота циліндричної обичайки;

D_3 – зовнішній діаметр обичайки;

$\rho_{ст}$ – густина сталі;

σ_t – границя текучості ;

n_t – запас міцності;

ρ^q -густина компонента

E^q -внутрішня енергія компонента;

λ_m -коефіцієнт теплопровідності суцільної фази

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Перелік скорочень, умовних позначень і термінів | 6 |
| 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ..... | 13 |
| 1.1. Процес сушіння в фармацевтичному виробництві. Характеристика виробництва..... | 13 |
| 1.2. Способи і методи сушіння матеріалу | 15 |
| 1.3. Постановка задач дослідження | 18 |
| 1.4. Постановка мети і задач дослідження | 18 |
| 1.5. Висновки..... | 18 |
| 2. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ТРИТУРАЦІЙНИХ ТАБЛЕТОК | 20 |
| 2.1. Висновки..... | 25 |
| 3. ОПИС І ОБГРУНТУВАННЯ ОБРАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ | 25 |
| 3.1. Опис конструкції сушарки із псевдозрідженим шаром..... | 25 |
| 3.2. Патентний пошук..... | 28 |
| 3.3. Висновки..... | 37 |
| 4 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУШАРКИ З ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ | 38 |
| 5 РОЗРАХУНКИ, ЯКІ ВИЗНАЧАЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ СУШАРКИ..... | 39 |
| 5.1 Матеріальний баланс..... | 39 |
| 5.1.2 Тепловий розрахунок сушарки | 40 |
| 5.2. Гідродинамічний розрахунок апарату | 43 |
| 5.2.1. Параметри повітря на виході з сушильної камер..... | 43 |
| 5.2.2. Визначаємо діаметр газорозподільної решітки | 44 |
| 5.2.3. Висота киплячого шару | 44 |
| 5.2.4. Визначення умов виносу з пристрою дрібних частинок..... | 46 |
| 5.2.5. Перевірка стану псевдозріджених частинок..... | 46 |
| 5.3. Гідравлічний розрахунок сушарки | 48 |
| 5.3.1. Гідравлічний опір | 48 |
| 5.4. Розрахунок штуцерів..... | 48 |

| | |
|---|-----|
| | 9 |
| 5.5. Розрахунки апарату на міцність..... | 49 |
| 5.5.1. Розрахунок обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском | 49 |
| 5.5.2. Розрахунок конічного днища, навантаженого внутрішнім надлишковим тиском | 53 |
| 5.5.3. Розрахунок плоскої кришки, навантаженої внутрішнім тиском..... | 56 |
| 5.5.4. Перевірка розподілюючої решітки на міцність..... | 60 |
| 5.5.5. Перевірка несучої спроможності апарату під дією опорних навантажень | 64 |
| 5.6. Висновки..... | 66 |
| 6. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ..... | 67 |
| 6.1. Висновок..... | 76 |
| 7. РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА МОНТАЖУ..... | 77 |
| 8. ОПИС НОВИЗНИ ДЛЯ СУШАРКИ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО ШАРУ..... | 78 |
| 8.1. Опис експериментальної установки..... | 78 |
| 8.2. Дослідження процесу розчинення сухої кристалічної речовини кавітацією | 80 |
| 8.3. Дослідження процесу руйнування сухої кристалічної речовини без додавання розчинника..... | 81 |
| 8.4. Аналіз результатів..... | 82 |
| 9. СТАРТАП..... | 83 |
| 9.1. Резюме..... | 83 |
| 9.2. Планові варіанти розвитку стартап ідеї..... | 85 |
| 9.3. Вплив зовнішнього та внутрішнього оперативного середовища на цінність стартап-ідеї..... | 86 |
| 9.4. Канали просування стартап-проекту..... | 99 |
| 9.5. Визначення потенційного споживача підприємства..... | 100 |
| 9.5.1. Характеристика потенційного споживача..... | 100 |
| 9.5.2. Анкета для споживачів..... | 101 |
| 9.6. Формування рівноваги ціни..... | 104 |
| 9.6.1. Визначення економічних складових стартап-проекту..... | 104 |
| 9.6.2. Розрахунок ціни інноваційної пропозиції..... | 105 |
| 9.7. Конкурентне середовище стартап проекту..... | 108 |
| 9.8. Ключові фактори успіху стартап-проекту. Метод Шонфільда..... | 111 |

| | |
|---|-----|
| | 10 |
| 9.9. Просування цінності стартап-проєкту на ринок | 114 |
| 9.10. Висновки..... | 121 |
| ВИСНОВКИ..... | 123 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 125 |

ВСТУП

Таблетка — одна з найпоширеніших і, на перший погляд, добре відомих лікарських форм, проте її потенціал далеко не вичерпаний. Завдяки досягненням вітчизняної та закордонної фармацевтичної науки і промисловості з'являються нові технології отримання таблеток і створюються їх модифікації.

Нині із загальної кількості готових лікарських засобів (ЛЗ) фармацевтичного виробництва, які реалізуються через аптечну мережу і, в свою чергу, до 40 % припадає на таблетки.[1]

Крім загальноприйнятих (якість, безпека, ефективність), метою виробничого процесу фармацевтичного виробництва є забезпечення специфічних вимог, які формують сукупність вимог до обладнання, які присутні в технічному завданні.

Є три основні вимоги до планшетів, що визначають особливості технології та способів виготовлення, а отже, визначають вимоги до обладнання та засобів:

1. Точність дозування – рівномірність (однорідність) розподілу діючої речовини в таблетці та правильна маса таблетки.
2. Механічна міцність. Ламкість, твердість, крихкість характеризують якість таблеток. Таблетки повинні володіти достатньою міцністю, щоб залишатися непошкодженими при механічних діях в процесі упаковки, транспортування і зберігання.
3. Розпадаємість — здатність розпадатися або розчинятися в терміни, що регламентуються НТД.

Таблетки класифікують за різними ознаками в тому числі і за способом отримання[1]:

- пресовані (власне таблетки);
- тритураційні (формовані).

Частка тритураційних таблеток у загальній кількості твердих лікарських засобів незначна і становить 1-2% усіх таблеток. Формовані таблетки є важливим способом отримання ліків із специфічними властивостями у тих випадках, коли потрібно забезпечити наступні вимоги:

- частка діючих речовин дуже мала, але необхідно забезпечити рівномірний розподіл у речовинній масі, наприклад гомеопатичні препарати.

- використання традиційних методів ущільнення матеріалу (пресування) є проблематичним – препарат містить вибухонебезпечні речовини, або є живі бактерії, які не є термостійкими, а також область, де матеріал не витримує перегріву матеріалу в процесі ущільнення;
- якщо сублимаційна сушка не може бути використана, потрібен ліофільний порошок;
- отримання стерильних порошоків з стерильних інгредієнтів, не застосовуючи традиційні прийоми термінальної стерилізації (робота автоматизованих установок в ізолюючих технологіях — ізоляторах).
- отримати стерильний порошок із стерильних інгредієнтів без використання традиційних термінальних методів стерилізації (функціонування автоматизованих установок в ізолюючій технології - ізоляторів).

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Процес сушіння в фармацевтичному виробництві. Характеристика виробництва.

Сушіння - це процес видалення вологи із матеріалів, що забезпечує її випарювання та відведення парів які утворилися. Обладнання для здійснення сушіння називається сушаркою. За способом теплопередачі розрізняють сушарки контактні, тепловипромінювальні, сублімаційні конвективні, та високочастотні.

Дисперсні матеріали, включаючи порошкоподібні, гранульовані, зернисті, подрібнені тверді речовини, а також дисперсні рідкі та пастоподібні продукти, як правило, сушать конвекцією.

Під час сушіння матеріалів необхідно вибрати правильний метод сушіння. Вибір доцільного методу сушіння та його виконання можна визначити відповідно до характеристик конкретного матеріалу, що підлягає сушки, конкретних умов виготовлення та завдань виробництва. При сушці порошкоподібних та гранульованих матеріалів від препарату вимагається хороша сипучість, що не злежеться та певний ступінь дисперсності.

Злежуваність порошків погіршує їх технологічні властивості: порошки погано дозуються за об'ємом на таблеткових машинах, вимагають додаткової обробки, такої як додавання допоміжних речовин. Правильно організований процес сушіння дозволяє зберегти або поліпшити властивості матеріалу. Тому висушування гранул таблеток у контактній сушарці може спричинити спікання, зміну кольору, нерівномірний вміст залишкової вологи, погану сипучість та розкладання діючих речовин. Висушування в псевдозрідженому шарі та в розпилювальній сушарці зменшує більшість цих недоліків[2].

Одним з найбільш ефективних методів сушіння сипучих матеріалів є їх оброблення в газодинамічному псевдозрідженому шарі, створеним висхідним потоком газоподібного зріджувача. Спосіб реалізують у відповідних апаратах в псевдозрідженому шарі.

Псевдозрідження – Процес взаємодії газів і рідин з твердими зернистими і пилоподібними матеріалами, при проведенні якого тверді частинки набувають рухливості один щодо одного за рахунок обміну енергією з псевдозріджуючим

поток через зовнішню схожість з поведінкою звичайної краплинної рідини, називається псевдозрідженням.

Широке запровадження апаратів для сушки в псевдозрідженому шарі в промислову практику зумовлено рядом позитивних факторів. Тверді частинки в псевдозрідженому шарі внаслідок текучості можна переміщувати по трубам, що дозволяє безперервно здійснювати велику кількість періодичних процесів. Через інтенсивне перемішування твердих частинок у псевдозрідженому шарі поле температур фактично рівне, що виключає можливість явного локального перегріву та пов'язаних з цим порушень у багатьох процесах.

При незначних швидкостях зріджувального агента W_r сила тяжіння G_T , яка діє на окрему тверду частинку, набагато більша сили Архімеда A і сили в'язкості S . У цьому разі агент фільтрується крізь нерухомий шар матеріалу (рисунок 1).

$$G_T \geq A + S$$

$$G_T < A + S$$

$$G_T \ll A + S$$

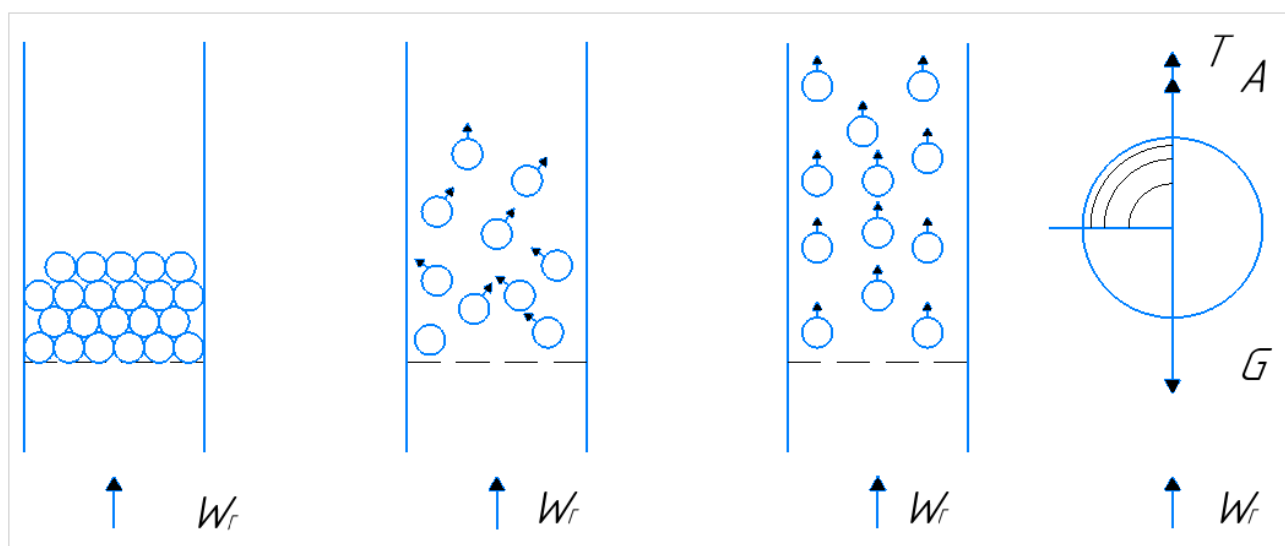


Рис.1. Гідродинаміка шару твердого зернистого матеріалу

Початок псевдо зрідження починається, коли швидкість агента підвищується, рухомість частинок шару зростає, відстань між частинками збільшується, відповідно збільшується й висота шару.

При збільшенні швидкості агента збільшується рухливість частинок у псевдозрідженому шарі, збільшується відстань між частинками, відповідно збільшується висота шару.

При значній швидкості зріджувального агента сила тертя значно перевищує силу тяжіння, частинки отримують точну спрямовану швидкість в русі

зріджувального агента, відбувається режим винесення (пневматично-гідравлічного транспортування), і тверді частинки виносяться з апарату. У цьому випадку слід додатково встановити рукавний фільтр, що дозволяє затримувати частинки і виключати втрати сировини[3].

1.2. Способи і методи сушіння матеріалу

Сушарки киплячого шару поділяються на такі як:

- Сушильна шафа
- Змішувач-сушарка (сушарка порційна)

Сушильна шафа

Застосовується у фармацевтичній галузі для сушіння порошків; гранул; продуктів рослинного походження: трав тощо. Сушильна шафа є альтернативою



сушарці в псевдокиплячому шарі. Ця установка є універсальною, підходить для сушіння більшості матеріалів, вона більш економна та доступна за ціною. Проте, разом з тим – менш продуктивна: процеси завантаження сировини та вивантаження готового продукту вимагають використання ручної праці, тоді як під час роботи з сушаркою в киплячому шарі можна робити ці дії автоматично.

Рис. 2. Сушильна шафа

Принцип роботи вакуум-сушильної шафи полягає в тому, що:

- матеріал, що висушується у вигляді згущеної маси намазується на листи, встановлені на плитах;
- під час роботи камера герметично закрита за допомогою дверцят і з'єднують патрубком з вакуумною лінією;
- завантаження та вивантаження матеріалу проводяться вручну;

- завантаження та вивантаження матеріалу проводяться за допомогою вакууму[4].

Змішувач-сушарка



Універсальне обладнання, що дозволяє досягти рівномірного сушіння та одночасного перемішування сумішей з різних сипких компонентів. Змішувач-сушарка може застосовуватися для термообробки порошкоподібних продуктів, а також для зволоження та подальшого підсушування порошкоподібних або гранульованих продуктів.

Рис. 3. Змішувач-сушарка

Особливості

- Завдяки грануляції порошку покращена плинність та зменшена кількість пилу;
- шляхом гранулювання порошку, досягається поліпшення розчинності;
- Змішування, гранулювання та сушка закінчуються всередині машини;
- експлуатація обладнання безпечна[4]

Сушарка-гранулятор



Компактна мобільна система, призначена для лабораторної сушки, нанесення покриттів та грануляції розпиленням. Повністю автономний, з усіма елементами управління та допоміжними припливними вентиляційними пристроями, вбудованими в основу машини, базовий пристрій може використовуватися разом з різною обробкою для будь-якої кількості різних технологій обробки.

Рис. 4. Мультипроцессор

Можливе застосування

- сушіння
- спрей-грануляція
- пилове покриття
- формування та покриття гранул
- покриття в цілому
- таблетка- оболонка

Операції в псевдозрідженому шарі, такі як сушка, гранулювання або частинки покриття часто є основним етапом процесу виробництва твердих лікарських форм. Перевагою є відсутність механічного регулювання. Необхідно перемикатися між використанням обладнання як сушарки, гранулятора або покриття

За способом підведення теплоти розрізняють:

- конвективне сушіння, що проводиться шляхом безпосереднього контакту матеріалу та сушильного агента. Підведення теплоти здійснюється газовою фазою (повітря або суміш повітря з продуктами згоряння палива), яка в процесі сушіння охолоджується зі збільшенням свого вологовмісту;
- контактне (кондуктивне) сушіння, що реалізується шляхом передачі теплоти від теплоносія до матеріалу через стінку яка їх розділяє;
- радіаційне сушіння - шляхом передачі теплоти інфрачервоним випромінюванням;
- сублимаційне сушіння, при якому волога видалається з матеріалу в замороженому стані (зазвичай у вакуумі);
- діелектричну сушку, при якій матеріал висушується в поле струмів високої частоти[4].

1.3. Постановка задач дослідження

Мета роботи-вивчення та удосконалення процесу сушіння в сушарках для виготовлення тритураційних таблеток.

Для досягнення поставленої мети було виділено наступні задачі:

- провести детальний та розширений огляд існуючих видів сушарок;
- на основі знайдених конструкцій обрати найоптимальнішу геометрію;
- створити математичну модель;
- створити об'ємну модель апарата за допомогою програмного забезпечення Solid Works.

1.4. Постановка мети і задач дослідження

Мета дослідження: встановлення залежності взаємодії рідини з твердим зернистим матеріалом, що характеризують протікання процесу сушіння в псевдозрідженому стані в умовах ультразвуку і розробки сушарки із псевдозрідженим шаром.

Відповідно до поставленої мети досліджень сформульовані наступні задачі:

- Розробити методику експериментального дослідження процесу сушки таблетмаси в умовах ультразвуку.
- Дослідити можливість використання ультразвуку для інтенсифікації процесу сушки таблетмаси найбільш поширеним способом.
- Встановити залежність взаємодії рідини з твердим зернистим матеріалом в умовах ультразвуку.
- Дослідити та зробити розрахунки конструкції сушарки із псевдозрідженим шаром для підтвердження її використання.
- Провести дослідження актуальності використання даного апарату на виробництві
- Провести оцінку економічної ефективності впровадженої сушарки із псевдозрідженим шаром і розробити стартап-проект.

1.5. Висновки

Як один з найпоширеніших процесів масообміну, сушіння матеріалу займає важливе місце у фармацевтичному виробництві. В умовах розвитку

фармацевтичної промисловості у фармацевтичній технології впроваджено велику кількість обладнання, яке дозволяє підвищити якість виробництва та спростити виробничий процес. Сушка має широкий спектр застосування, її можна використовувати на різних етапах технологічного процесу. Завдяки сушінню забезпечується надійне зберігання лікарських препаратів і їх консервування, що значно спрощує процеси подрібнення матеріалів.

2. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ТРИТУРАЦІЙНИХ ТАБЛЕТОК

Таблетка — тверда лікарська форма, яка містить одну дозу однієї або більше діючих речовин і одержана пресуванням певного об'єму часток, одна з найпоширеніших і, на перший погляд, добре відомих лікарських форм, проте її потенціал далеко не вичерпаний. Завдяки досягненням вітчизняної і зарубіжної фармацевтичної науки і промисловості з'являються нові технології отримання таблеток і створюються їх модифікації.

Таблетки одержують пресуванням певного об'єму часток або агрегатів часток, одержаних методами грануляції .

Нині із загальної кількості готових ЛЗ фармацевтичного виробництва, що реалізуються через аптечну мережу, до 40 % припадає на таблетки[5]..

Таблетки класифікують за самими різними ознаками в тому числі і за способом отримання:

- пресовані (власне таблетки);
- тритураційні (формовані).

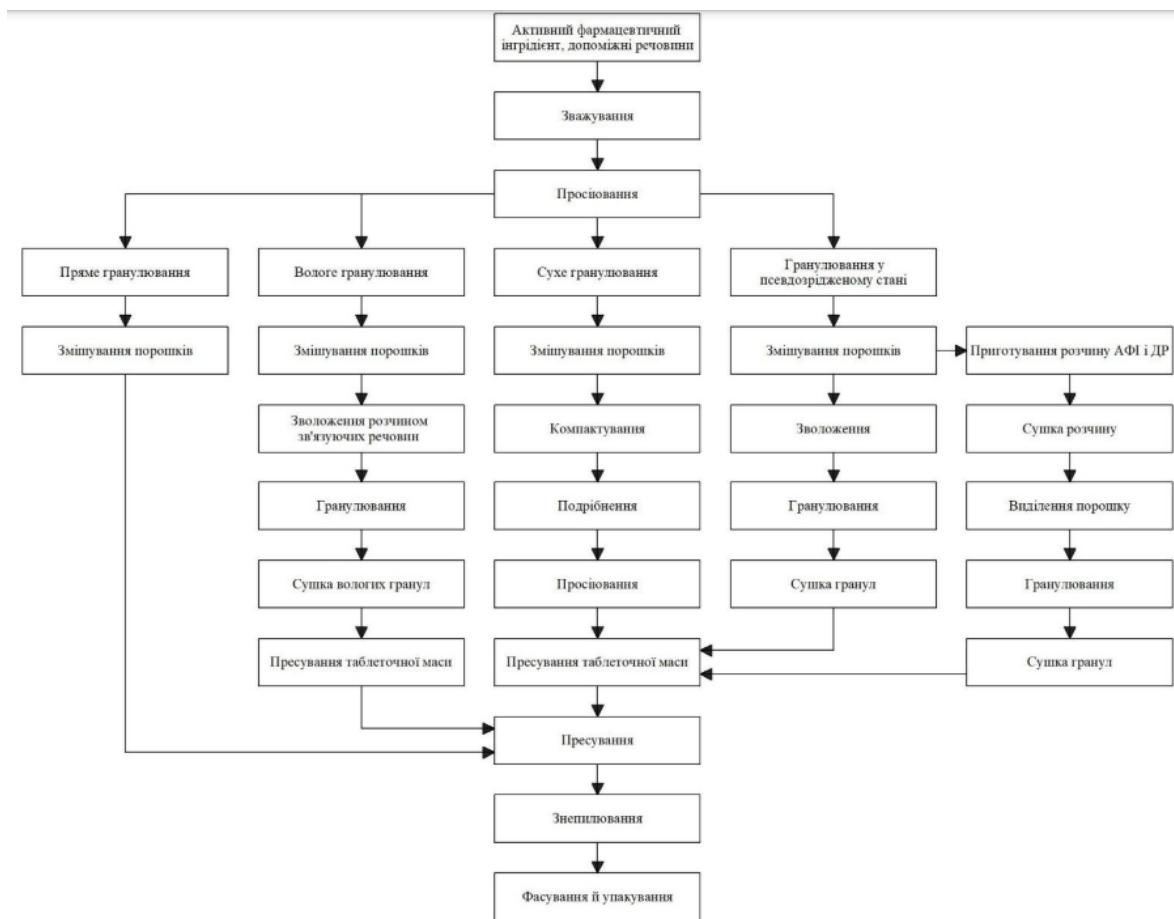


Рис. 5. Технологічна схема виробництва таблетованих лікарських форм (пресовані і тритураційні)[5,6]

Таблетки тритураційні (таблетки формовані, мікротаблетки; лат. *tabuletae friabiles*) — таблетки, що отримуються формуванням при здавлюванні пластичної вологої маси (наприклад, маси зволоженої 60 % етанолом) з подальшим висушуванням.

На відміну від пресованих таблеток, тритураційні таблетки не піддаються впливу високого тиску. Зчеплення частинок в цих таблетках є лише результатом аутогезії в процесі сушіння, тому міцність тритураційних таблеток нижча, ніж у пресованих.

Тритураційний спосіб приготування, а також повна відсутність ковзних речовин і інших нерозчинних допоміжних речовин забезпечують утворення легкокорозинного пористого тіла, тому тритураційні таблетки перспективні для деяких очних крапель, ін'єкційних розчинів, імплантацій під шкіру. У зарубіжній літературі тритураційні таблетки для імплантації іноді називають пеллетами. [7]

Частка тритураційних таблеток у загальній кількості твердих лікарських засобів незначна і становить 1-2% усіх таблеток. Формовані таблетки є важливим способом отримання ліків зі специфічними властивостями, у випадках коли потрібно забезпечити наступні вимоги[7]:

- Частка діючої речовини дуже мала, але необхідно стежити, щоб вона рівномірно розподілялася в масі речовини, наприклад, гомеопатія;
- Використання традиційних методів ущільнення матеріалу (компресії) є проблематичним – препарат містить вибухонебезпечні речовини або є термолабільна життєздатна флора, яка не витримує перегріву матеріалу в процесі ущільнення (пробіотики)
- Частка діючої речовини дуже мала, але необхідно стежити, щоб вона рівномірно розподілялася в масі речовини, наприклад, гомеопатія;
- існують проблеми з традиційним методом ущільнення речовини (пресування) - препарат містить вибухонебезпечні речовини, або є живі термолабільні бактерії, в яких область не витримує перегріву маси в процесі пересування (пробіотики);
- якщо сушка не може бути використана, необхідно отримувати ліофільний порошок;;
- отримувати стерильний порошок із стерильних інгредієнтів без використання традиційних термінальних методів стерилізації (робота автоматизованих установок в ізолюючих технологіях — ізоляторах).

Наразі ми зосереджуємось на технологічному процесі та обладнанні в процесі сушіння в псевдозрідженому шарі. У цьому випадку псевдозрідження — це процес, у якому тверді частини, такі як гранульована таблетувальна маса, стають подібними до рідини під дією енергії сушильного агента. Явище псевдозрідження є результатом взаємодії між компонентами сушіння та таблетмасою.

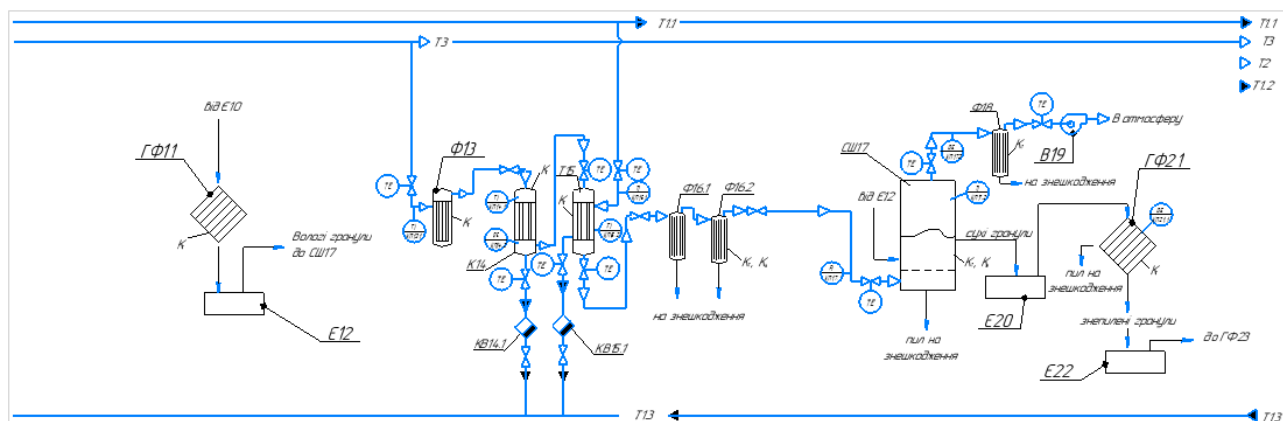


Рис. 6. Апаратурна схема сушки вологої маси у сушарці киплячого/псевдозрідженого шару для великотонажного виробництва: ГФ11 - гранулятор, Є12 - ємність, Ф13 - фільтр касетний, К14 - конденсатор, КВ14.1 - конденсатовідводчик, Т15 - теплообмінник, КВ15.1 - конденсатовідводчик, Ф16.1, Ф16.2 - фільтр ячеювий, СШ17 - сушарка псевдозрідженого шару, Ф18 - фільтр ячеювий, В19 - вентилятор відцентровий, Є20 - ємність, ГФ21 - гранулятор, Є22 - ємність.

На Рис.6 представлена апаратурна схема (АС) процесу сушки вологого грануляту у псевдозрідженому шарі у біотехнології великотоннажних виробництв. Цей метод сушіння був обраний тому, що тривалість циклу сушіння є найкоротшою, оскільки процес є високоінтенсивним за рахунок використання ультразвукової установки.

Вологу масу із ємності (Є10) завантажують вручну через завантажувальний отвір увімкненого в роботу гранулятора (ГФ11), де волога маса продавлюється через сітки з розмірами отворів (4,0 мм) в чисту суху ємність (Є12), після чого ємність закривають та транспортують на стадію ТПЗ.3 „Сушка маси”.

Завантаження вологої маси із ємності (Є12) у сушку псевдозрідженого шару (СШ17) проводиться за допомогою вакуумної системи завантаження.

Підготовка стерильного повітря для установки сушки псевдозрідженого шару з температурою 100 °С подається у нижню частину сушки псевдозрідженого шару (СШ17), і проходячи через газорозподільну ґратку приводить шар вологих гранул у зважений стан. За рахунок збільшення діаметра зони розширення у порівнянні із діаметром продуктового резервуару, швидкість повітря зменшується і гранули

падають у межу зону продуктового резервуару. Відпрацьоване повітря проходить систему рукавних фільтрів та видаляється з апарату.

При досягненні показника залишкової вологи гранул (2,0-3,0) %, процес сушки припиняється, гранули охолоджуються до температури (25-30) °С. Проводиться відбір проби у флакон пробовідбірника за допомогою відкривання клапана вручну. Проби проходять технологічний контроль (Кт) при якому визначається залишкова вологість гранул та контроль вмісту стрептоциду. Після цього продуктивний резервуар (Є20) від'єднується від апарату, до його верхньої частини приєднується воронка із закритим вивантажувальним отвором і він передається на стадію сухого гранулювання

В процесі сушки контролюється витрата повітря, що подається та його температура, вологість відпрацьованого повітря та температура в середині камери.

Резервуар (Є20) із сухою масою перевертається та встановлюється над гранулятором (ГФ21), вивантажувальний отвір відкривають і гранули пересипаються до включеного в роботу гранулятора, де маса продавлюється через сітку з розміром отворів (2,0±0,07) мм у чисту суху ємність (Є22). Після закінчення процесу гранулювання, ємність закривається та направляється на стадію Опудрювання грануляту.

У фармацевтичному виробництві як правило використовують сушарки з продуктивністю 20-50 кг порошку при цьому швидкість сушки майже в 20 разів перевищує швидкість сушки в поличних сушарках і здійснюється упродовж 10- 25 хвилин. Серед виробників сушарок даного типу найбільш відомі Aeromatic-Fielder (GEA-Niro), Glatt, OYSTAR Huttlin, Vector, Diosna, Fitzpatrick та інші. Їх функціональне призначення охоплює широкий спектр технологічних опцій. Наприклад сушарки GEA-Niro серія MP-1 поєднує в собі наступні функції[8]:

- сушіння
- спрей-грануляція
- пилове покриття
- формування та покриття гранул
- покриття в цілому

Операції в псевдозрідженому шарі, такі як сушка, гранулювання або частинки

покриття часто є основним етапом процесу виробництва тверді лікарські форм.

В останні роки для гранулювання таблетованих сумішей для приготування пресованих таблеток широко використовується метод псевдозрідження. Характеризується безперервним рухом оброблюваного матеріалу та утворених частинок.

Основні процеси — змішування компонентів, зволоження суміші розчином клейкої речовини, грануляція, сушіння грануляту і внесення опудрювальних речовин — відбуваються в одному апараті.

Грануляція у псевдозрідженому шарі здійснюється двома способами:

- розпиленням розчину, що містить допоміжні і лікарські речовини в псевдозрідженій системі;
- гранулюванням порошкоподібних речовин із використанням псевдозрідження.

2.1. Висновки

Таблетки є одними із основних форм ЛЗ, дослідження отримання нових форм таблеток проводяться і на даний час.

За способом отримання поділяються на тритураційні і пресовані.

Тритураційні таблетки знайшли своє широке застосування під час виробництва деяких очних крапель, ін'єкційних розчинів, імплантацій під шкіру.

В умовах розвитку фармацевтичних виробництв в технології лікарських засобів було винайдено різні типи процесу сушіння, які дозволяють поліпшувати якість продукції, що випускається і полегшили сам процес виробництва. Одним з таких є сушіння у псевдозрідженому стані. Особливістю цього процесу є оброблюваний матеріал, а потім і утворений гранулят, який безперервно знаходяться в русі.

3. ОПИС І ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

3.1. Опис конструкції сушарки із псевдозрідженим шаром

Відповідно до технологічного процесу в сушарку на сушку надходить гранульована маса вологи для прийому таблеток, яку потрібно видалити від вологості від 60% до 5%.

Сушіння здійснюється за допомогою повітря, нагрітого в калоріях та ультразвукової установки.

Теплоносій подається шляхом руйнування, під розподіл решти.

Сушарка з киплячим шаром матеріалу встановлена на опорах.

Матеріал деталей пристрою вибирається відповідно до середовища, з яким вони контактують. У середині сушарки з псевдозрідженим шаром вижитого матеріалу знаходиться гранульована маса, яка пов'язує гарячий теплоносій, тому для виготовлення ми вибираємо корозійну, термостійку, аустенітова-перлітна сталь жаростійка 12X10H8T ГОСТ 5632-88. Таким чином, корпус, плоска кришка і конічне днище все ще виготовляються зі сталі 12X10H8T ГОСТ 5632-88. Вищезазначена сталь по ГОСТу призначена в робочих агресивних середовищах. Сталь має високі показники міжкристалічної корозійності матеріалу.

Обрана сталь 12X10H8T за ГОСТ 5632-88 має такий відсоток складу домішки: кремнію 0,12; міді 0,3%; марганцю 2,0%; нікелю 9,0-11,0%; хромування 17,0-19,0%, інші домішки до 1% [9.]

Дія елементів бетону на властивості сталі: марганець - підвищує твердість, зносостійкість, стійкість до ударно-міцних напружень; мідь - обмежує розпорюванню корозії; нікель - впливає на міцність, тягучість, опір до корозії; титан - підвищує міцність, стійкість до корозії.

Вуглецева сталь марки St3 (ГОСТ 380-94) використовується для виготовлення опор для лап. Вибір цього сорту сталі зумовлений його здатністю зварювати без обмежень, також ця марка набагато дешевша за інші леговані сталі і з цієї сталі можуть бути виготовлені вироби з високою міцністю, що дуже важливо при виготовленні машинних опор.

Для виготовлення перфорованої решітки ми вибираємо тип сталі у вигляді листа Х16Н18Т товщиною 12 мм.

Кріплення (болти, гайки, шайби) виготовляються зі сталі марки Ст3 (ГОСТ 380-94). Твердість гайки повинна бути менше твердості шпильки (болта) при термічній обробці. Трубопроводи покриті алюмінієвими пластинами [9].

Матеріал теплоізоляції приладу - вата мінеральна ВМСТ ГОСТ 4640-93. Для теплоізоляції виробів ми обираємо мінеральну вату, як теплоізоляційний матеріал

у промисловості для утеплення поверхонь з температурою до 300оС. Теплоізоляцію труб слід проводити пінополіуретаном згідно з ГСТУ 34-204- 88-002-98[9].

3.2 Патентний пошук

UA 143507 U ІНФРАЧЕРВОНА ВАКУУМНА СУШАРКА БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

Номер заявки: u 2020 02127

Дата подання заявки: 30.03.2020

Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 27.07.2020

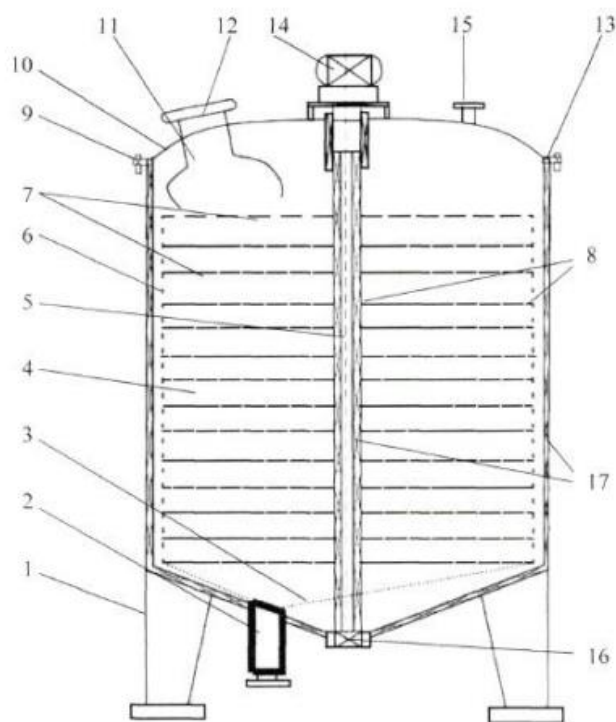
Публікація відомостей про видачу патенту: 27.07.2020, Бюл.№ 14

Винахідник(и): Омельченко Олександр Володимирович (UA), Цвіркун Людмила Олександрівна (UA), Перекрест Володимир Вікторович (UA)

Власник(и): ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ ІМ. М. ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ :

Інфрачервона вакуумна сушарка безперервної дії містить опору, запірний клапан, горловину, робочу камеру, робочий вал, нижня частина якого закріплена в амортизаційному вузлі з пружиною, каркас для лотків, лотки з отворами змінного перерізу, суцільне зварне з'єднання, кришку, затискач, ущільнювач, патрубок для видалення повітря, дозуючий клапан, завантажувальний бункер, вібратор, амортизаційний вузол з пружиною. Обігрівання зовнішньої поверхні робочої камери та внутрішньої поверхні робочого вала здійснюється повторюючим їх геометрію гнучким плівковим резистивним електронагрівачем випромінювального типу (ГПРЕнВТ).



UA 148639 U ВІБРАЦІЙНА КОНВЕЄРНА ІНФРАЧЕРВОНА СУШАРКА

Номер заявки: u 2020 08424

Дата подання заявки: 29.12.2020

Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 02.09.2021

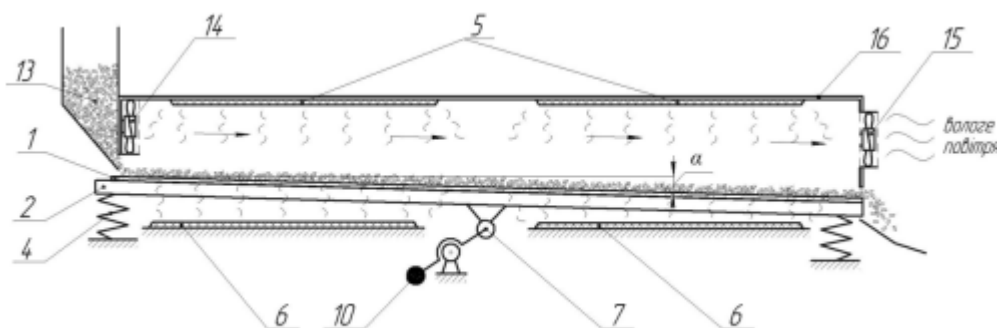
Публікація відомостей про видачу патенту: 01.09.2021, Бюл.№ 35

Винахідник(и): Паламарчук Владислав Ігорович (UA), Гирич Сергій Володимирович (UA), Васишина Ольга Василівна (UA), Пахомська Олена Василівна (UA)

Власник(и): ВІННИЦЬКИЙ ТОРГОВЕЛЬНОЕКОНОМІЧНИЙ ІНСТИТУТ КИЇВСЬКОГО ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ :

Вібраційна конвеєрна інфрачервона сушарка складається з підпружиненого корпусу, який містить механічний вібробудувач, лотковий транспортер для переміщення сипкої продукції, секції інфрачервоних випромінювачів, завантажувальну та розвантажувальну горловини, скляний прозорий лоток, що пропускає інфрачервоні промені, та ексцентриковий вал з противагами на підпружинених опорних вузлах.



UA 147883 У ТЕРМОРАДІАЦІЙНА ОДНОБАРАБАННА ВАЛЬЦЬОВА СУШАРКА ДЛЯ СУШІННЯ ОРГАНІЧНИХ ПАСТ (ПЮРЕ) У НАПІВФАБРИКАТИ ПОРОШКОПОДІБНОЇ ФРАКЦІЇ

Номер заявки: u 2021 00746

Дата подання заявки: 18.02.2021

Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 17.06.2021

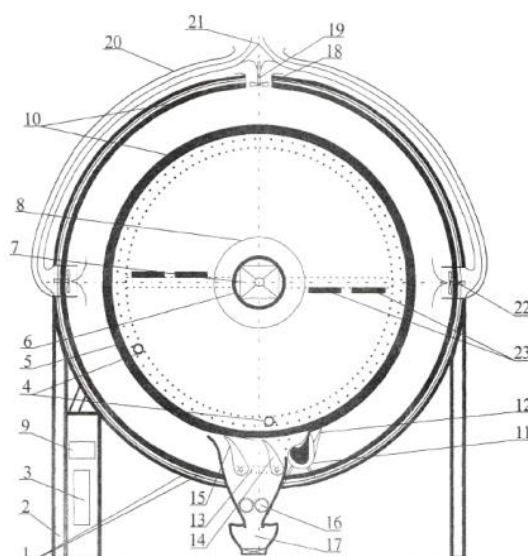
Публікація відомостей про видачу патенту: 16.06.2021, Бюл.№ 24

Винахідник(и): Загорулько Андрій Миколайович (UA), Загорулько Олексій Євгенович (UA), Гордієнко Ірина Олександрівна (UA)

Власник(и): ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ :

Терморадіаційна однобарабанна вальцюва сушарка для сушіння органічних паст (пюре) у напівфабрикати порошкоподібної фракції, що складається з циліндричного корпусу, встановленого на опорі, рифленого барабана, гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінюючого типу, нагнітаючого вентилятора, зрізувальних ножів, патрубка відведення вологовмісного повітря, накопичувальної ємності та зубчастих вальців. Нанесення сировини здійснюється симетрично встановленим відносно рифленої робочої поверхні рифленого барабана конусоподібним розпилювачем (цапфою) з регульованими зазорами товщини шару сировини: 2, 4, 8, 10 мм, бокові кінці якого з'єднані зі змійовиком у внутрішній простір якого шестерінчастим насосом нагнітається сировина, при цьому конусоподібний розпилювач (цапфа) має лезові розділювачі шириною розрізу 0,5 мм,



призначені для розрізання нанесеного шару сировини.

UA 136415 U ВІБРАЦІЙНА СУШАРКА

Номер заявки: а 2019 02032

Дата подання заявки: 28.02.2019

Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 27.08.2019

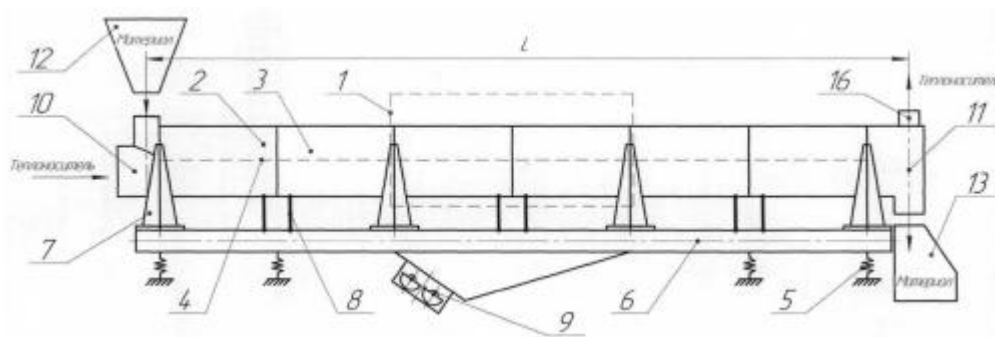
Публікація відомостей про видачу патенту: 27.08.2019, Бюл.№ 16

Винахідник(и): Федоскін Валерій Олексійович (UA), Корніленко Костянтин Ігорович (UA), Федоскіна Олена Валеріївна (UA), Єрісов Микола Миколайович (UA)

Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ :

Вібраційна сушарка містить робочу камеру з газорозподільною решіткою, завантажувальний і розвантажувальний вузли, несучу раму, з якою зв'язані віброзбудувач, кронштейни, компенсуючі ресори. Введена додаткова робоча камера, сполучно і рухливо пов'язана з основною так, що утворюють модуль, який центральною частиною пов'язаний з несучою рамою за допомогою компенсуючих ресор, а по краях жорстко закріплений за допомогою кронштейнів



UA 134994 U СУШАРКА ДЛЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Номер заявки: u 2019 00338

Дата подання заявки: 14.01.2019

Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.06.2019

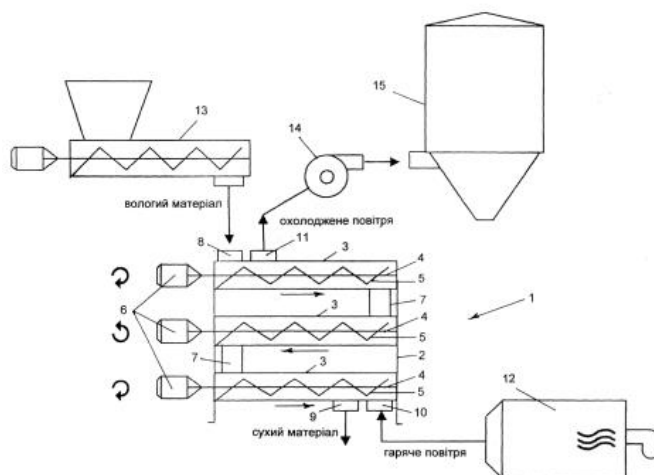
Публікація відомостей про видачу патенту: 10.06.2019, Бюл.№ 11

Винахідник(и): Галаган Юрій Олександрович (UA)

Власник(и): Галаган Юрій Олександрович

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ :

Сушарка для сипких матеріалів містить корпус, завантажувальний і розвантажувальний патрубкі, засоби для введення теплоносія і засоби для відсмоктування охолодженого теплоносія, декілька розміщених одна під одною камер зі встановленими на валах шнеками для переміщення вздовж камер сипкого матеріалу, засоби для обертання шнеків, які виконані з можливістю обертання шнеків кожних двох суміжних камер у протилежних напрямках, причому кожна камера, крім останньої нижньої, має встановлений на кінці по напрямку руху сипкого матеріалу патрубок для пересипання сипкого матеріалу в розташовану під нею камеру. При цьому завантажувальний патрубок приєднаний зверху до першої верхньої камери на початку руху вздовж неї сипкого матеріалу, а розвантажувальний патрубок приєднаний знизу до останньої нижньої камери на кінці руху вздовж неї сипкого матеріалу. Як засіб для введення теплоносія вона містить патрубок, який приєднаний до останньої нижньої камери біля розвантажувального патрубка і призначений для з'єднання трубопроводом з пристроєм для нагрівання повітря.



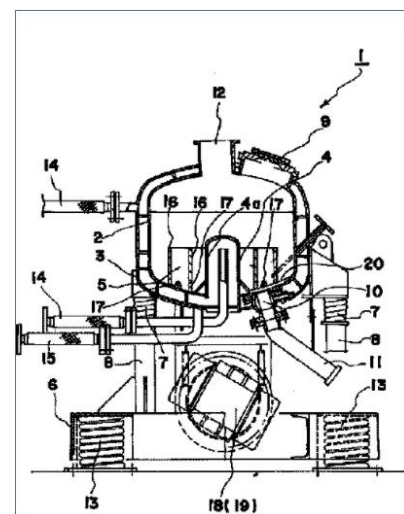
JP2002031481A VIBRATION DRYER

Applicants TAMAGAWA MACHINERY CO LTD
 Inventors TAKEDA KOICHI; TANAKA TSUTOMU; MIURA EIICHI
 Classifications
 IPC C02F11/12; F26B11/02; F26B23/10; F26B25/12; F26B3/22;
 Priorities JP2000220240A·2000-07-21
 Application JP2000220240A·2000-07-21
 Publication JP2002031481A·2002-01-31
 Published as [JP4327338B2](#)

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a vibration dryer for treating to dry in a uniform quality by uniformly mixing, dispersing and agitating a material to be dried, and uniformly heating and drying the material.

SOLUTION: The vibration dryer comprises a container for drying the material to be dried, a jacket provided to surround the container and to supply a heating medium to the sidewall of the container, a heating medium inlet and a heating medium outlet for introducing and exhausting the medium to and from the jacket, a center pillar for forming an annular material to be dried passage between a center of a bottom and the sidewall of the container stood at the center in the container, and a vibration generator provided to give a vibration to the container. The dryer also comprises a plurality of protrusions provided at the bottom and/or the sidewall of the container or together with the peripheral surface of the center pillar, to collide the material in the container to disperse the material.

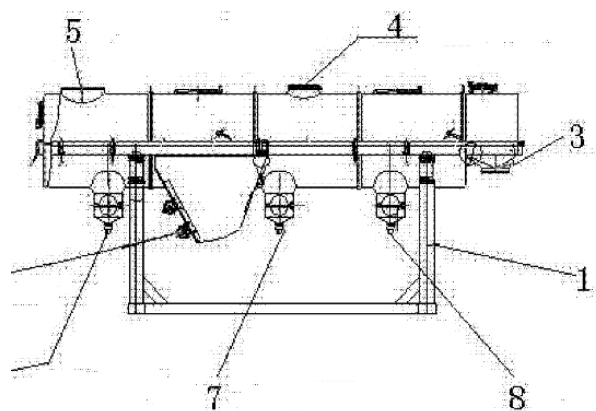


CN103673515A Three-section vibrated fluidized bed

| | |
|-----------------|--|
| Applicants | HEILONGJIANG DAMING DAIRY MACHINERY CO LTD |
| Inventors | LI YONGQIANG; WANG HONGBIAO; MOU QINGWEN |
| Classifications | |
| IPC | A23C1/04; F26B3/092; |
| Priorities | CN201210331736A·2012-09-10 |
| Application | CN201210331736A·2012-09-10 |
| Publication | CN103673515A·2014-03-26 |
| Published as | CN103673515A |

Abstract

The invention provides a three-section vibrated fluidized bed. The three-section vibrated fluidized bed comprises a support, a vibration motor, a feeding opening, a discharging opening, air inlets and an exhaust outlet, wherein the support is arranged on the lower portion of a main body and has the function for supporting the main body, the vibration motor is used as a vibration source, the feeding opening is formed in the main body and allows materials to enter the main body, the discharging opening allows the dried materials to be discharged out of the main body, the number of the air inlets is three, the air inlets are formed in the lower end of the main body and allow hot air to flow into the main body, and the exhaust outlet is placed in the top end of the main body and allows airflow to flow out of the main body. The three-section vibrated fluidized bed is designed to be matched with a 500 vertical type pressure spray drying tower, the vibration motor is used as the vibration source, and a three-section air supply heat exchange system is arranged.



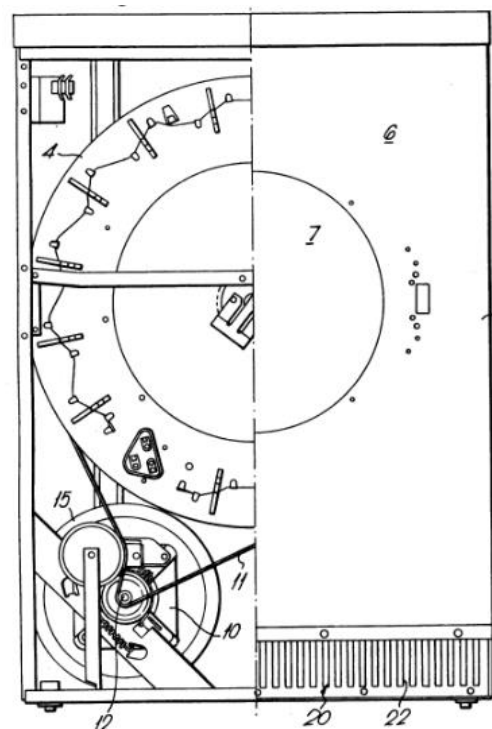
FR2501737A1 SECHOIR A TAMBOUR ROTATIF

| | |
|------------|----------------------|
| Applicants | FISHER & PAYKEL [NZ] |
|------------|----------------------|

| | |
|-----------------|---|
| Inventors | BADGER GORDON GEORGE |
| Classifications | |
| IPC | D06F58/02; (IPC1-7): D06F58/02; F26B3/02; |
| Priorities | NZ19648781A·1981-03-12 |
| Application | FR8204090A·1982-03-11 |
| Publication | FR2501737A1·1982-09-17 |
| Published as | AU8090282A;DE3208067A1;FR2501737A1 |

Abstract

Drum dryer with a housing (1) which has in its interior a rotatable drying drum (2), a heating system (4), an air-blower wheel (15) and drive devices for rotating the blower wheel and the drying drum, the air drawn into the essentially airtight housing (1) via air inlet devices by the air-blower wheel (15) being compressed above atmospheric pressure in the housing so that the pressure in the housing (1) is greater than atmospheric pressure and greater than in the interior of the drying drum (2), the main part of the air in the housing being moved by the pressure difference past the heating system (4) which heats it, through the air inlet and through the rotatable drying drum (2) and thus extracts the moisture from the moist articles situated in the drying drum and finally emerges from the dryer through an air outlet opening (7), the air supply devices having a tunnel (18) which supplies a passage between air inlet (20) and air outlet (17) and is sealed off from the housing interior.



CN110779293A Rotary dryer

Applicants
FACTORY

CHANGZHOU HUAEN GARMENT MACHINERY

Inventors

WANG JUN; QIAN SUYING; HU YING

Classifications

IPC

F26B11/06; F26B21/00; F26B25/00; F26B25/02; F26B25/04;

Priorities

CN201911092346A·2019-11-11

Application

CN201911092346A·2019-11-11

Publication

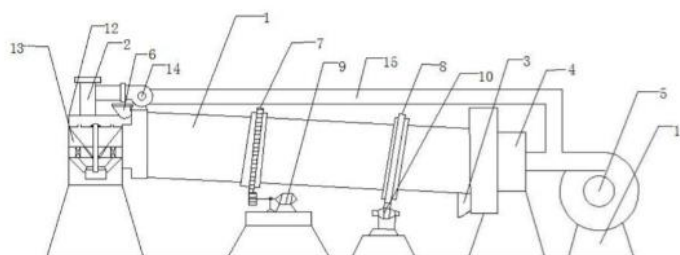
CN110779293A·2020-02-11

Published as

CN110779293A

Abstract

The invention relates to a dryer, in particular to a rotary dryer which comprises a drum, a feeding cylinder, an air blower, a motor, a discharging cylinder and a support structure, wherein a gear and an idler wheel are arranged on the outer wall surface of the drum body in a sleeving manner; a thrust wheel and a support seat of the thrust wheel are arranged at the bottom of the idler wheel; the gear is connected with the output gear of the motor; the feeding cylinder is positioned at the top of the drum; an exhaust gas outlet is formed in the top of the drum; an exhaust gas box is arranged at the bottom of the exhaust gas outlet and is in tight coupling with the top of the drum; the discharging cylinder is positioned at the tail part of the drum; and a heater is arranged at the tail part of the drum and is in tight coupling with the air blower. According to the rotary dryer, the exhaust gas outlet is connected with an induced draft fan; and the outlet of the induced draft fan is connected with the inlet of the air blower through a pipe. With adoption of the structure, the waste heat of the discharged exhaust gas can be effectively utilized to preheat fresh air, so that the working efficiency of the dryer is improved while saving energy.



3.3. Висновки

Матеріал з якої виготовлюють апарат підбирають за функціями і середовищем де буде використовуватись.

В процесі виготовлення сушарки використовують корозійну, термостійку, аустенітова-перлітна сталь жаростійка 12X10H8T ГОСТ 5632- 88. Вона призначена в робочих агресивних середовищах. Сталь має високі показники міжкристалічної корозійності матеріалу.

Проведений патентний пошук показав що конструкція яка використовується для виробництва тритураційних таблеток є актуальною і має вагомні переваги в порівнянні з іншими конструкціями сушарок.

4 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУШАРКИ З ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ

Сушарка киплячого шару була обрана, як апарат, що висушує вологий гранулят для виготовлення таблеток.

| | |
|--|------|
| 1. Продуктивна спроможність сушарки, кг/год | 15 |
| 2. Вологість грануляту початкова, % | 64 |
| 3. Вологість грануляту кінцева, %м | 8 |
| 4. Середовище в апараті: | |
| - волога гранульована маса для таблетування | |
| 5. Середовище в апараті: | |
| - нетоксичне, негорюче, пожежобезпечне | |
| 6. Гріючий агент: | |
| - повітря очищене | |
| 7. Температура початкового теплоносія, °С | 185 |
| 8. Температура кінцева теплоносія, °С | 40 |
| 9. Обрана сталь, що контактує з середовищем 12Х10Н8Т ГОСТ 5632- 88 | |
| 10. Габаритні розміри | |
| довжина, мм | 2495 |
| ширина, мм | 1610 |
| висота, мм | 3985 |
| 11. Маса, кг | 1975 |

5 РОЗРАХУНКИ, ЯКІ ВИЗНАЧАЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ СУШАРКИ

5.1 Матеріальний баланс

Метою розрахунку матеріального балансу є визначення кількості вологи, що видаляється з сушильної камери, і продуктивність сушарки на вологому матеріалі. Схема розрахунку показана на рис. 7.

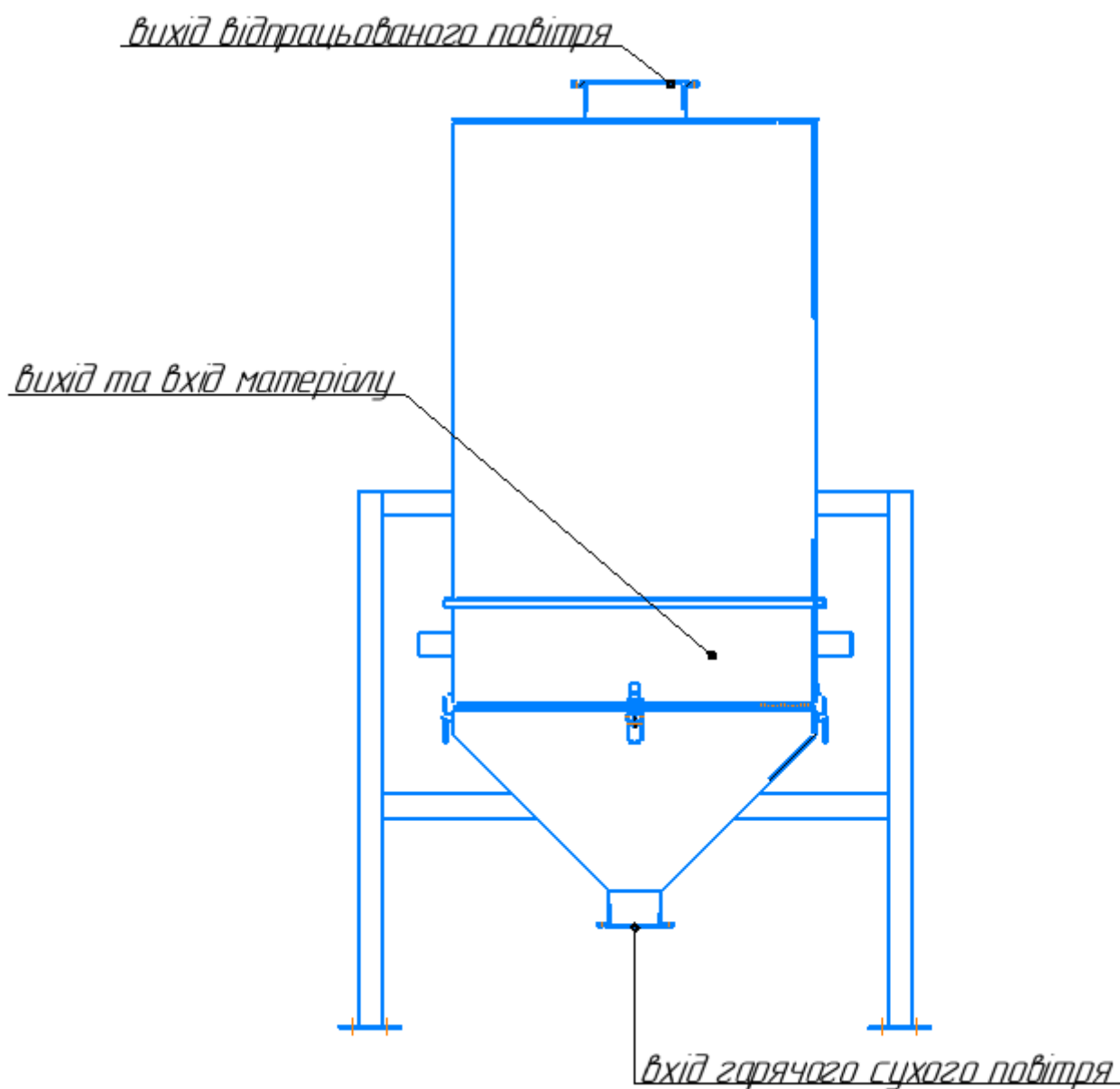


Рисунок 7. Схема розрахунку матеріального балансу

Запишемо матеріальний баланс процесу[10]:

$$G_n = G_k + W,$$

де G_n - продуктивність сушарки по вологому матеріалі;

G_k - продуктивність сушарки по вологому матеріалу;

W – кількість випареної вологи.

Продуктивність сушарки по вологому матеріалу визначають за наступною формулою:

$$G_n = \frac{G_k(100 - w_k)}{100 - w_n} = \frac{15(100 - 8)}{100 - 64} = 38 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

де w_n – початкова вологість матеріалу, $w_n = 64\%$;

w_k – кінцева вологість матеріалу, $w_k = 8\%$;

Кількість випареної вологи визначимо з матеріального балансу наступним чином:

$$W = G_n - G_k = 38 - 15 = 23 \text{ кг/год.}$$

Використовуючи всі отримані раніше дані, запишемо рівняння матеріального балансу процесу:

$$G_n = G_k + W$$

$$38 \frac{\text{кг}}{\text{год}} = 15 \frac{\text{кг}}{\text{год}} + 23 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

5.1.2 Тепловий розрахунок сушарки

Кінцеві дані:

Матеріал - матеріал, що висушується - вологий гранулят таблеткової маси

Продуктивність висушеного матеріалу G_k 10 кг/год

Стартовий вологовміст матеріалу w_n 64%

фінішний вологовміст матеріалу w_k 8%

початкова температура теплоносія t_1 85°C

кінцева температура теплоносія t_2 47°C

початкова температура матеріалу θ_1 25°C

початкова температура матеріалу θ_2 37°C

Під час процесу сушіння волога з матеріалу, поданого у сушарку, випарюється і виноситься сушильним агентом. Для випарювання вологи та виконання інших термічних процесів із сушкою інших термічних процесів до матеріалу необхідно підводитись тепло. Відповідно до різних методів сушіння, його можна підводити по-різному. Для визначення витрати тепла на сушку та витрати відповідно до

пального, електреенергії та пари використовують рівняння теплового балансу. Схема до розрахунку представлена на рисунку 8.

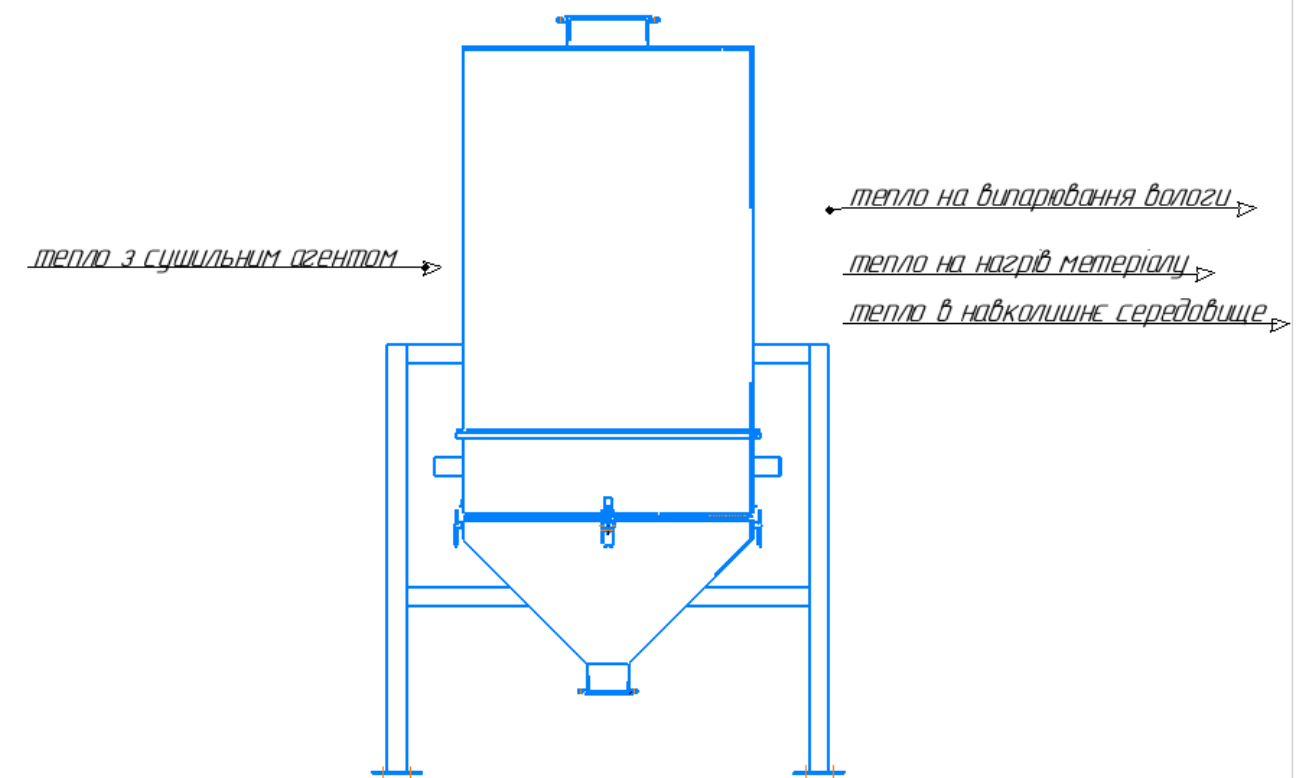


Рисунок 9. Схема розрахунку теплового балансу

Метою теплового балансу є визначення витрати сухого повітря та його вологовмісту. Для цього нам необхідно розрахувати загальну витрату тепла, для визначення якої, у свою чергу, потрібно скласти рівняння теплового балансу.

Для того, щоб скласти рівняння теплового балансу, запишемо всі складові витрати тепла :

- тепло, що витрачається на випарювання вологи:

$$Q_{\text{вип}} = W[r_0 + c_n(t_2 - \theta_1)],$$

тут r_0 – теплота випарювання при 0°C ;

c_n - теплоємність водяної пари;

t_2 – температура теплоносія на виході з сушильної камери;

θ_1 – температура матеріалу на виході в сушильну камеру.

- тепло, що витрачається на нагрів матеріалу:

$$Q_{\text{нагр}} = G_k c_m (\theta_2 - \theta_1),$$

тут c_m – теплоємність матеріалу;

θ_2 – температура матеріалу на виході з сушильної камери;

Втрати тепла в навколишнє середовище (приймаємо їх рівними 15% від перших двох складових) :

$$Q_{\text{витрат}} = 0,15(Q_{\text{вип}} + Q_{\text{нагр}}).$$

Тепер складемо рівняння витрати тепла:

$$Q = Q_{\text{вип}} + Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{витрат}}.$$

Розпишемо складові рівняння, врахувавши формули:

$$\begin{aligned} Q &= Q_{\text{вип}} + Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{витрат}} = 1,15\{W[r_0 + c_n(t_2 - \theta_1)] + G_k c_m(\theta_2 - \theta_1)\} \\ &= 1,15 \left\{ \frac{23}{3600} [2490 \cdot 10^3 + 1,97 \cdot 10^3(47 - 25)] + \frac{15}{3600} \cdot 0,780 \cdot 10^3(37 - 25) \right\} \\ &= 187,6 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Витрату сухого повітря визначатимемо за формулою:

$$L = \frac{Q}{c_n(t_1 - t_2)} = \frac{187,6 \cdot 10^3}{1,97 \cdot 10^3(85 - 47)} = 2,53 \text{ кг/с}.$$

де c_n – теплоємність сухого повітря, $c_n = 1,97 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К); [11]

Визначимо питомі витрати сухого повітря:

$$l = \frac{L}{W} = \frac{2,53}{23} = 0,31 \text{ кг/кг}$$

Параметри повітря перед нагрівачем : $t_0 = 19^\circ\text{C}$, $\varphi_0 = 70\%$ [11].

Вміст вологи в повітрі перед обігрівачем:

$$x_1 = \frac{622 \cdot \varphi_0 \cdot \rho_n}{B - \varphi_0 \cdot \rho_n} = \frac{622 \cdot 0,7 \cdot 17,54}{745 - 0,7 \cdot 17,54} = 10,42 \text{ г/кг} = 0,01 \text{ кг/кг},$$

де B – барометричний тиск

Вміст вологи повітря на виході із сушильної камери:

$$x_2 = x_1 + \frac{1}{l} = 0,01 + \frac{1}{0,31} = 3,2 \text{ кг/кг}.$$

Проведемо розрахунок теплової ізоляції сушарки, метою якого є визначити товщину ізоляції.

В якості матеріалу для ізоляції обрано вату мінеральну ВМСТ ГОСТ 4640-93, що має коефіцієнт теплопровідності $\lambda_i = 0,72 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ [11]. Приймаємо

температуру зовнішньої поверхні стінки $t_{ct} = 60^\circ\text{C}$. Температуру зовнішнього середовища $t_c = 19^\circ\text{C}$. Тоді товщина шару ізоляції:

$$s_1 = \frac{\lambda_i(t_1 - t_{cm})}{\alpha_3(t_{cm} - t_c)} = \frac{0,72(85 - 60)}{12,78(60 - 19)} = 0,034 \text{ м,}$$

тут $\alpha_3 = 9,3 + 0,05t_{cm} = 9,3 + 0,05 \cdot 60 = 12,78 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні апарата в навколишнє середовище[12].

Визначаємо шар товщини ізоляції $s_1 = 0,04 \text{ м}$

5.2. Гідродинамічний розрахунок апарату

5.2.1. Параметри повітря на виході з сушильної камер

Визначимо густину та в'язкість повітря на виході з сушильної камери.

Густина повітря на виході з сушарки[10]:

$$\rho_t = 1,293 \frac{273}{273 + 85} = 0,99 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Коефіцієнт динамічної повітря при температурі 85°C :

$$\mu_t = \mu_0 \frac{273 + C}{T_2 + C} \left(\frac{T_2}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 17,3 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 124}{320 + 124} \left(\frac{320}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 19,64 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с,}$$

де $\mu_0 = 17,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$, - коефіцієнт при 0°C динамічній в'язкості повітря[11];

T_2 – температура повітря на виході з сушильної камери, К.

Коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря:

$$\nu_t = \frac{\mu_t}{\rho_t} = \frac{19,64 \cdot 10^{-6}}{0,99} = 19,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Робоча швидкість повітря [10]

Отримаємо критерії Архімеда:

$$Ar = \frac{gd^3}{\nu_t^2} \cdot \frac{\rho_M - \rho_t}{\rho_t} = \frac{9,8 \cdot 2^3 (10^{-3})^3}{(19,8 \cdot 10^{-6})^2} \cdot \frac{1540 - 0,99}{0,99} = 611132,$$

тут g – прискорення вільного падіння;

d – діаметр гранул таблеткової маси, $d = 2 \text{ мм}$;

ρ_M – густина таблеткової мачи, $\rho_M = 1540 \text{ кг}/\text{м}^3$ [11]

Визначення критерія Рейнольдса[14]:

$$Re_p = \frac{Ar \cdot 0,6^{4,75}}{18 + 0,61 \sqrt{Ar \cdot 0,6^{4,75}}} = \frac{611132 \cdot 0,6^{4,75}}{18 + 0,61 \sqrt{611132 \cdot 0,6^{4,75}}} = 323,9$$

Визначення щільності киплячого шару:

$$\varepsilon = \left(\frac{18 \cdot Re_p + 0,36 \cdot (Re_p)^2}{Ar} \right)^{0,21} = \left(\frac{18 \cdot 323,9 + 0,36 \cdot (323,9)^2}{611132} \right)^{0,21} = 0,57.$$

Визначимо робочу швидкість повітря:

$$V_p = \frac{Re_p \nu_t}{d} = \frac{323,9 \cdot 19,8 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-3}} = 3,2 \text{ м/с.}$$

Визначення критичного критерію Ляценка: $Ly_{кр} = 10^{-4}$ [11]

$$\omega_{кр} = \sqrt[3]{Ly_{кр} \cdot \mu_t \cdot g \cdot \rho_1 / \rho_t^2} = \sqrt[3]{10^{-4} \cdot 19,64 \cdot 9,81 \cdot 0,99 / 0,99^2} = 0,27 \text{ м/с.}$$

5.2.2. Визначаємо діаметр газорозподільної решітки

При $\varepsilon = 0,6$, обираємо $Ly = 5,2 \cdot 10^{-1}$ [11]

Визначення площі решітки газорозподільної:

$$S_p = \frac{L(1 + x_2)}{\rho_t V_p} = \frac{2,53(1 + 3,2)}{0,99 \cdot 3,2} = 3,3.$$

Діаметри апарата:

$$D = \sqrt{\frac{S_p}{0,785}} = \sqrt{\frac{3,3}{0,785}} = 1,74.$$

Отриманий діаметр обираємо з таблиці визначені ГОСТом $D = 1,6$ м[15].

Число коефіцієнту псевдосрідження:

$$K_\omega = \sqrt[3]{Ly / Ly_{кр}} = \sqrt[3]{5,2 \cdot 10^{-1} / 10^{-4}} = 17,3$$

Отримана швидкість в перерізі:

$$\omega = K_\omega \cdot \omega_{кр} = 17,3 \cdot 0,27 = 5,02 \text{ М/с.}$$

5.2.3. Висота киплячого шару

Критерій Прандтля:

$$Pr = \frac{c_n \mu_t}{\lambda_t} = \frac{1,97 \cdot 10^3 \cdot 19,64 \cdot 10^{-6}}{0,035} = 1,1,$$

λ_t – теплопровідність повітря, $\lambda_t = 0,035$ Вт/(м · К)[11].

Критерій Нусельта:

$$Nu = 0,4 \left(\frac{Re_p}{\varepsilon} \right)^{0,67} Pr^{0,33} = 0,4 \left(\frac{323,9}{0,57} \right)^{0,67} 1,1^{0,33} = 28,9.$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = \frac{Nu \lambda_t}{d} = \frac{28,9 \cdot 0,035}{0,002} = 506,17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Число одиниць переносу:

$$m_0 = \ln \frac{t_1 - \theta_2}{t_2 - \theta_2} = \ln \frac{85 - 37}{47 - 37} = 1,6$$

Об'єм киплячого шару:

$$V_{\text{ш}} = \frac{L c_n m_0}{\alpha S_{\text{пит}} (1 - \varepsilon)} = \frac{2,53 \cdot 1,97 \cdot 10^3 \cdot 1,6}{506,17 \cdot 1200 \cdot (1 - 0,57)} = 1,46 \text{ м}^3,$$

де $S_{\text{пит}}$ - це питома поверхні шару, що визначається формулою:

$$S_{\text{пит}} = \frac{6}{0,002} = 1200 \text{ м}^{-1}.$$

Отримаю дійсні площу решітки:

$$S_{\text{реш}} = \frac{L}{\rho_t \cdot \omega} = \frac{2,53}{0,99 \cdot 5,02} = 0,5 \text{ м}^2.$$

Висота шару:

$$H_{\text{ш}} = \frac{V_{\text{ш}}}{S_p} = \frac{1,46}{3,3} = 0,5 \text{ м}.$$

Визначаємо висоту апарата (обичайки):

$$H = 4H_{\text{ш}} = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ мм}.$$

Отримуємо діаметри $d_0 = 2 \text{ мм} = 2 \text{ мм}$, які розсверленні зверху 4 мм. По висоті псевдозрідженого шару залежить від діаметру отворів наступним чином:

$H = 80 \cdot d_0 = 80 \cdot 0,002 = 160 \text{ мм}$. Висота шару, розрахована раніше, та визначена за практичними даними, тому можна вважати їх приблизно рівними

. Томі вирішуємо кількість отворів розподільної решітки :

$$n = \frac{4S_{\partial} \phi}{\pi d_0^2} = \frac{4 \cdot 3,3 \cdot 0,1}{3,14 \cdot 0,004^2} = 294 \text{ отв.}$$

5.2.4. Визначення умов виносу з пристрою дрібних частинок

Приймаємо мінімальний діаметр частинок $d_{min} = 0,5$ мм

Для таких частинок з таким діаметром визначаємо критерії Архімеда за формулою:

$$Ar_{min} = \frac{gd_{min}^3}{v_t^2} \cdot \frac{\rho_m - \rho_e}{\rho_t} = \frac{9,8 \cdot 0,5^3 (10^{-3})^3}{19,8 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{1540 - 0,99}{0,99} = 4889.$$

Визначення критерія Рейнольдса:

$$Re_p = \frac{Ar}{18 + 0,61\sqrt{Ar}} = \frac{4889}{18 + 0,61\sqrt{4889}} = 84,2.$$

Визначимо швидкість витання частинок:

$$V_{вип} = \frac{Re_p v_t}{d_{min}} = \frac{84,2 \cdot 19,8 \cdot 10^{-6}}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 3,33 \text{ м/с.}$$

Швидкість висхідних частинок більша за робочу швидкість повітря. Тому ми можемо використовувати циліндричний пристрій. [15]

Переріз сепараційного простору:

$$S_{сеп} = 1,1 S_{реш} \frac{\omega}{V_{вип}} = 1,1 \cdot 0,5 \frac{5,02}{3,1} = 0,89 \text{ м}^2.$$

Діаметр сепараційного простору:

$$D_{сеп} = \sqrt{\frac{S_{сеп}}{0,785}} = \sqrt{\frac{0,89}{0,785}} = 1,1 \text{ м.}$$

5.2.5. Перевірка стану псевдозріджених частинок

Приймаємо максимальний діаметр часток $d_{max} = 3,5$.

Швидкість повітря біля решітки:

$$V_{реш} = V_p \frac{(273 + t_1)}{(273 + t_2)} = 2,46 \frac{273 + 85}{273 + 47} = 2,75 \text{ м/с.}$$

Швидкість повітря у розрахованих отворах:

$$V_{от} = \frac{V_{реш}}{\varphi} = \frac{2,75}{0,1} = 27,5 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

де φ – частка на перетину решітки, $\varphi = 0,1$ [11].

Швидкість псевдозрідження частинок максимальних розмірів:

$$V_{\text{кр(от)}} = \frac{V_{\text{от}}}{k} = \frac{27,5}{2,5} = 11 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

де k – число псевдозрідження, $k = 2,5$ [11].

Критерій Архімеда для частинок максимального розміру:

$$Ar_{\text{max}} = \frac{g d_{\text{max}}^3}{\nu_t^2} \cdot \frac{\rho_{\text{м}} - \rho_{\text{е}}}{\rho_t} = \frac{9,8 \cdot 3,5^2 (10^{-3})^3}{19,8 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{1540 - 0,99}{0,99} = 611132.$$

Параметри повітря біля решітки за температури 85°C:

Густина за формулою:

$$\rho_{12} = 1,293 \frac{273}{273 + 85} = 0,99,$$

коефіцієнт динамічної в'язкості:

$$\mu_{12} = 17,3 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 124}{320 + 124} \left(\frac{320}{273} \right)^{3/2} = 19,64 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с},$$

кінематично динамічний коефіцієнт вязкості:

$$\nu_{12} = \frac{\mu_{12}}{\rho_{12}} = \frac{19,64 \cdot 10^{-6}}{0,99} = 19,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Критерії Рейнольдса:

$$Re_p = \frac{Ar}{1400 + 0,61\sqrt{Ar}} = \frac{611132}{18 + 0,61\sqrt{611132}} = 321.$$

Швидкість повітря, яка необхідна для зрідження частинок максимального розміру:

$$V_{\text{кр(max)}} = \frac{Re_p \nu_{12}}{d_{\text{max}}} = \frac{321 \cdot 19,8 \cdot 10^{-6}}{0,0035} = 1,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Псевдозрідження частинок максимального розміру забезпечується, оскільки виконується умова $V_{\text{кр(от)}} > V_{\text{кр(max)}}$

5.3. Гідравлічний розрахунок сушарки

5.3.1. Гідравлічний опір

Гідравлічний опір ΔP складається з наступних складових:

- опір псевдозрідженого шару:

$$\Delta P_{\text{ш}} = H_{\text{ш}}(1 - \varepsilon)(\rho_{\text{м}} - \rho_{\text{т}})g = 0,6(1 - 0,57)(1540 - 0,99)9,8 = 3613 \text{ Па};$$

- розрахунок опору решітки:

$$\Delta P_{\text{реш}} = \xi \left(\frac{V_p}{\phi} \right)^2 \frac{\rho_{12}}{2} = 1,75 \left(\frac{3,2}{0,1} \right)^2 \frac{0,99}{2} = 887,04,$$

де ξ – коефіцієнт опору решітки, $\xi = 1,75$ [11].

Обчислення гідравлічного опору:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{реш}} + \Delta P_{\text{реш}} = 3613 + 887,04 = 4500,04 \text{ Па}.$$

5.4. Розрахунок штуцерів

Для подачі матеріалу на сушіння, гарячого теплоносія в сушарку та видалення висушеного матеріалу і вихлопу газу з апарату вибираємо штуцери з приварними плоскими фланцями і тонкостінними патрубками для умовного тиску всередині апарату до 0,6МПа за АТК 24.218.06-90 .

Діаметр штуцерів для входу та виходу повітря розраховується за формулою[16]:

$$d = \sqrt{\frac{L}{0,785w\rho}},$$

де L – масова втрата теплоносія;

w – швидкість руху теплоносія в штуцері;

ρ – густина теплоносія.

Приймаємо:

Швидкість повітря в штуцері на вході $w_1 = 3 \cdot V_{\text{кр}(max)} = 5,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

Кінцева швидкість повітря на виході $w_2 = V_{\text{кр}(max)} = 1,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Тоді штуцер для входу повітря:

$$d_1 = \sqrt{\frac{2,53}{0,785 \cdot 5,4 \cdot 0,99}} = 0.197 \text{ мм},$$

приймаємо $d_1 = 200$ мм.

Штуцер для виходу повітря:

$$d_2 = \sqrt{\frac{2,53}{0,785 \cdot 1,8 \cdot 1,1}} = 0,395 \text{ мм},$$

приймаємо $d_1 = 400$ мм.

5.5. Розрахунки апарату на міцність

5.5.1. Розрахунок обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском

Розраховуємо товщину циліндричної обичайки апарату.

10

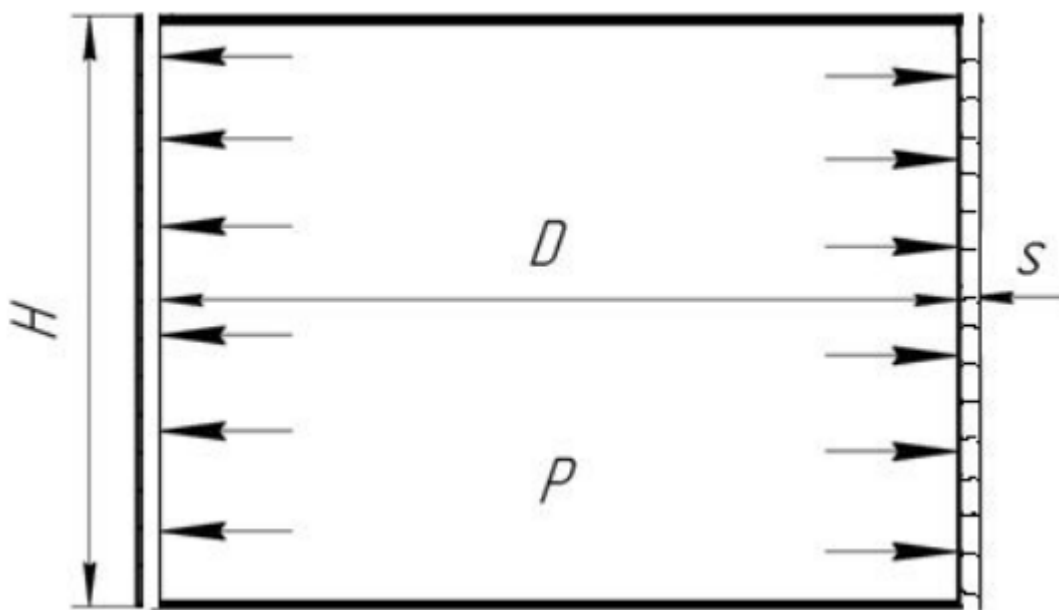


Рисунок 10. . Схема до розрахунку циліндричної обичайки сушарки, навантаженої надлишковим тиском

За формулою визначаємо товщину стінки[15].:

$$S = \frac{DP}{2[\sigma]\varphi - P} + c,$$

φ – коефіцієнт ослаблення для сталі;

$[\sigma]$ – допустиме напруження сталі;

P – тиск;

c – поправка до товщини стінки;

$$c = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = (0,5 + 0,4 + 0 + 0) \cdot 10^{-3} = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

тут $c_1 = \Pi \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м,

де Π – проникність, або швидкість корозії. Приймаємо $\Pi = 0,005$ мм/рік;

$c_2 = 0,4 \cdot 10^{-3}$ м – прибавка на компенсацію мінусового допуску на товщині листа;

c_3 - технологічна прибавка, яка враховує стоншення листа внаслідок технологічних операцій, приймаємо $c_3 = 0$;

c_4 – прибавка на округлення до стандартного значення.[16]

Обрахуємо формулу:

$$S = \frac{DP}{2[\sigma]\varphi - P} + c = \frac{1,5 \cdot 0,3 \cdot 10^6}{2 \cdot 173 \cdot 10^6 \cdot 0,8 - 0,3 \cdot 10^6} + 0,9 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

приймаємо товщину обичайки $S=3$ мм

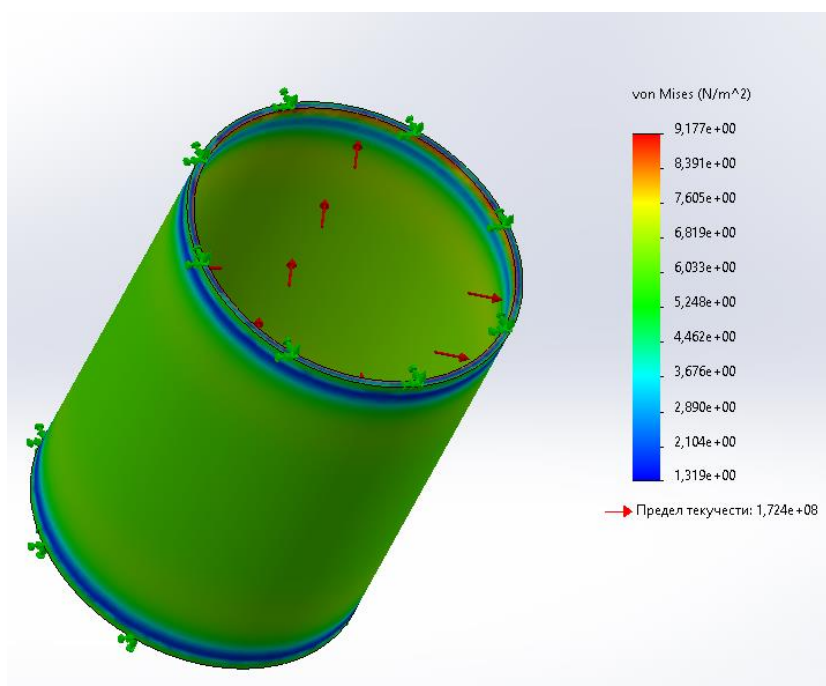
Допустимий тиск з умови міцності розраховується за формулою:

$$[P] = \frac{2[\sigma]\varphi \cdot (S - c)}{D + (S - c)} = \frac{2 \cdot 173 \cdot 10^6 \cdot 0,8 \cdot (3 - 0,9) \cdot 10^{-3}}{1,5 + (3 - 0,9) \cdot 10^{-3}} = 14,1 \cdot 10^6 \text{ Па,}$$

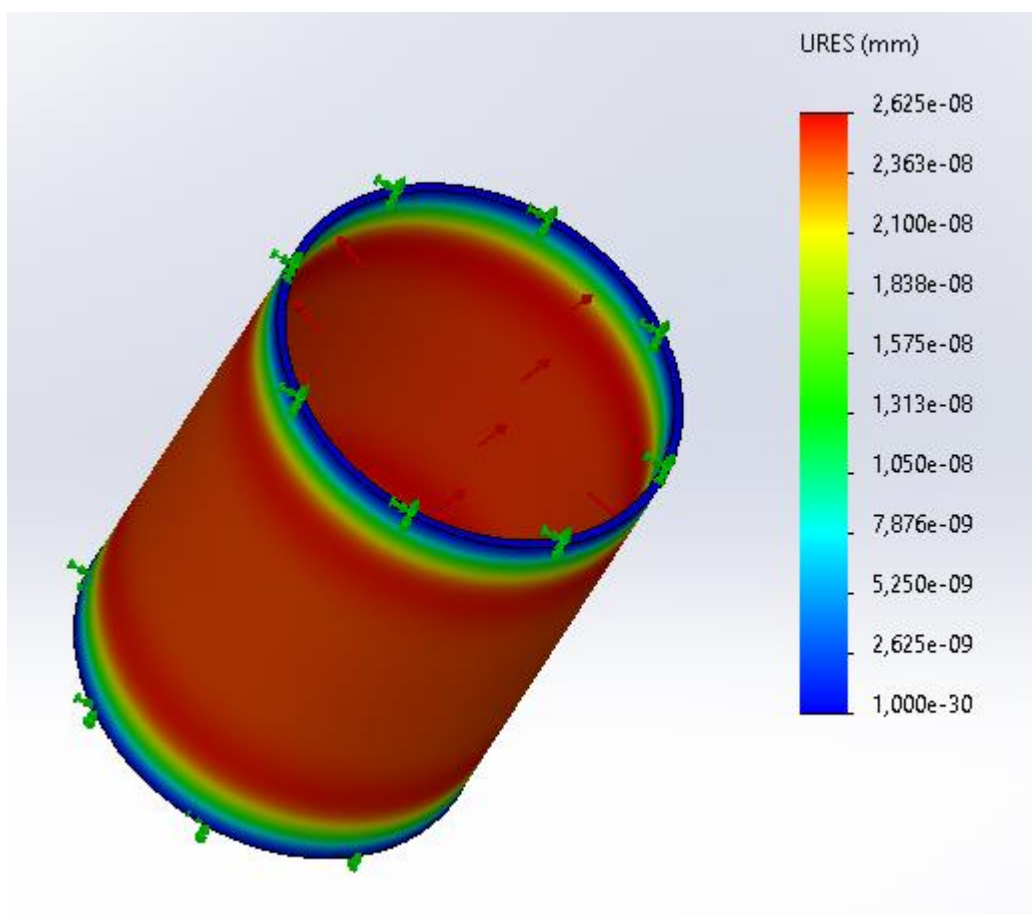
$0,3 \cdot 10^6 < 14,1 \cdot 10^6, P < [P]$, тому умова міцності виконується.

Для підтвердження міцності змодельовали 3-D модель за допомогою програми *SolidWorks*. Та показали 3 діаграми стану: напругу, деформацію і переміщення точок(зміщення) обичайки:

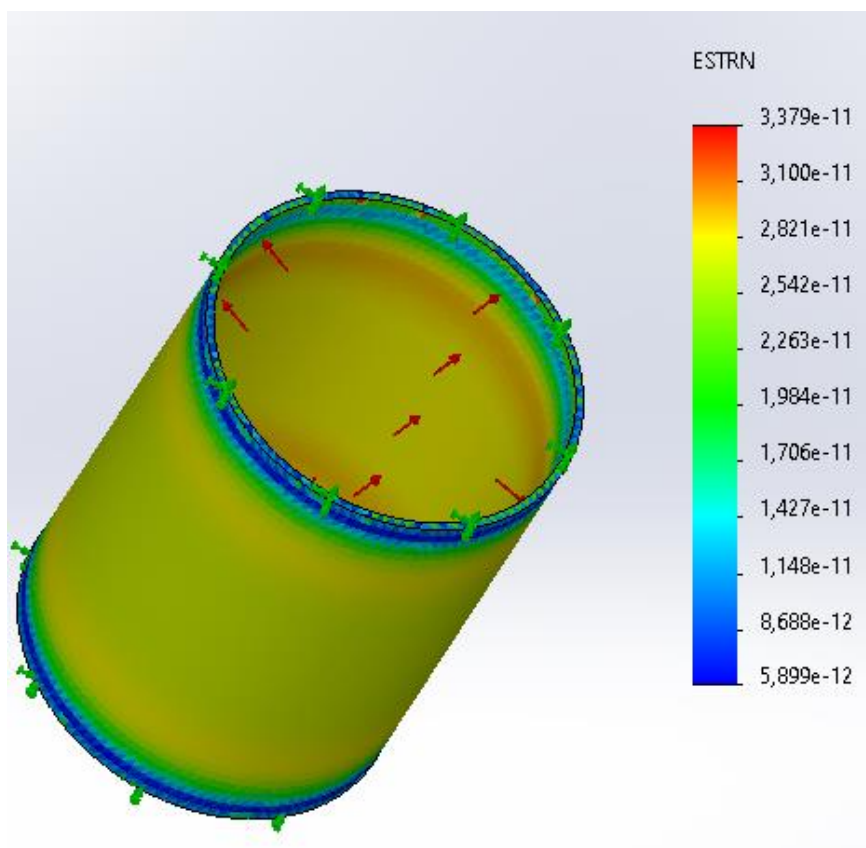
Напруга



Зміщення



Деформація



Для проведення даного моделювання використовував одну із функцій програми SolidWorks, а саме SolidWorks Simulation. Де застосовуючи статичне дослідження, отримав результати напруги зміщення та деформації.

Під час моделювання фіксовано закріпив обичайку в місцях зварювання і надав навантаження на стінки обичайки тиском який дорівнював $P = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$, тиск перевірявся по всьому периметру обичайки, вздовж всієї висоти та діаметру.

Отримавши результат напруги в межах 0,9 – 0,13 МПа, результат зміщення в межах 0,02 – 0,01 мм та результат деформації $0,31 - 0,05 \cdot 10^{-10}$ (ESTRN – еквівалентна деформація) визначив з представленого моделювання, що обичайка знаходиться в межах відхилення з результатами розрахунків.

Можна вважати, що розрахована та змодельована обичайка працездатна та задовольняє умови міцності, але в місцях де обичайка з'єднується зварюванням електродом з кришкою та днищем є слабкі точки. Отже умови задовільні.

5.5.2. Розрахунок конічного днища, навантаженого внутрішнім надлишковим тиском

Розрахуємо конічне днище апарату .

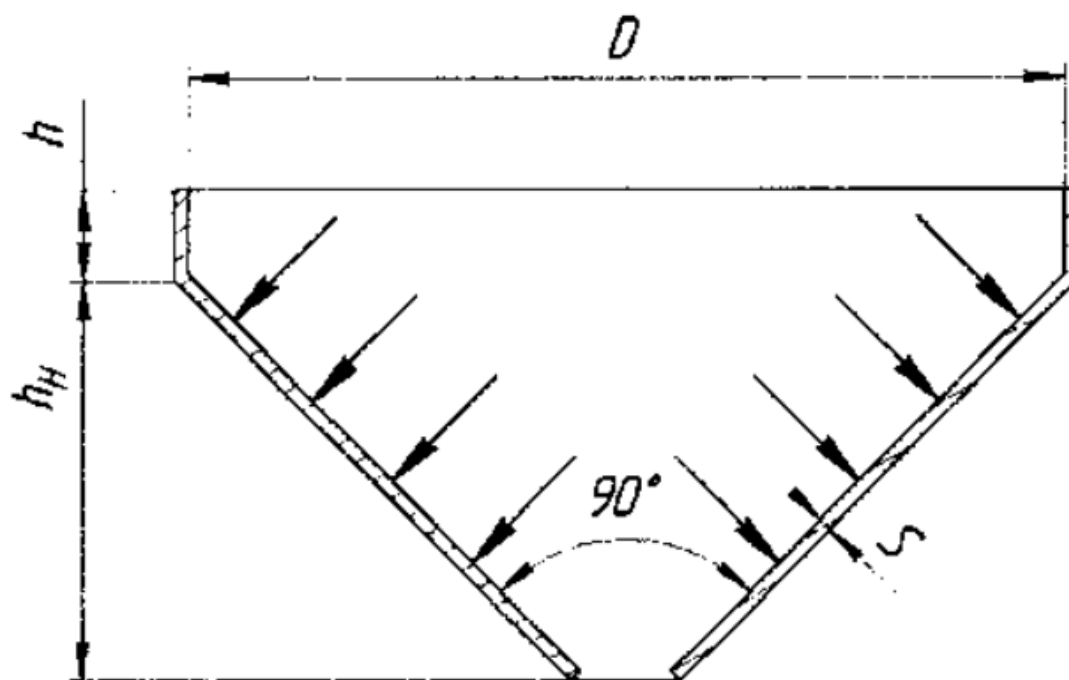


Рисунок 11. Схема до розрахунку конічного днища сушарки, навантаженого внутрішнім надлишковим тиском

Товщина стінки конічного днища визначається за формулою[15]:

$$S_k = \frac{D_{\text{кон}} P}{2[\sigma]\varphi - P} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1} + c_k,$$

де $D_{\text{кон}} = D - 1,4\alpha_1 \sin \alpha_1 = 1500 - 1,4 \cdot 1,5 \sin 45^\circ = 1498 \text{ мм} = 1,498 \text{ м}$,

кут $\alpha_1 = 45^\circ$,

коефіцієнт $\alpha_1 = 0,7 \sqrt{\frac{D \cdot 10^{-3}}{\cos \alpha_1} (s - c)} = 0,7 \sqrt{\frac{1500 \cdot 10^{-3}}{\cos 45} (3 - 0,9)} = 1,5 \text{ мм}$.

Тоді

$$S_k = \frac{D_{\text{кон}} P}{2[\sigma]\varphi - P} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1} + c_k = \frac{1498 \cdot 0,3 \cdot 10^6}{2 \cdot 173 \cdot 10^6 \cdot 0,8 - 0,3 \cdot 10^6} \cdot \frac{1}{\cos 45} = 3,2 \text{ мм},$$

тут $c = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = (0,5 + 0,4 + 0 + 0) \cdot 10^{-3} = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Приймаємо товщину днища $S_e = 3 \text{ мм}$.

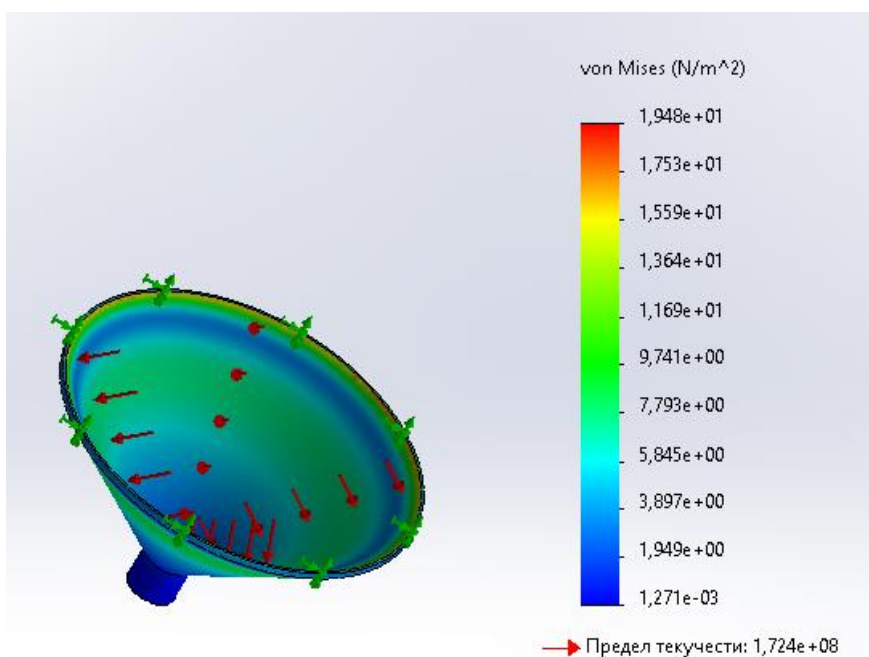
Допустимий тиск з умови міцності розраховується за формулою:

$$[P] = \frac{2[\sigma]\varphi \cdot (S_k - c_k)}{\frac{D_{\text{кон}}}{\cos \alpha_1} + (S_k - c_k)} = \frac{2 \cdot 173 \cdot 10^6 \cdot 0,8 \cdot (3 - 0,9) \cdot 10^{-3}}{\frac{1,498}{\cos \alpha_1} + (3 - 0,9) \cdot 10^{-3}} = 139,1 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

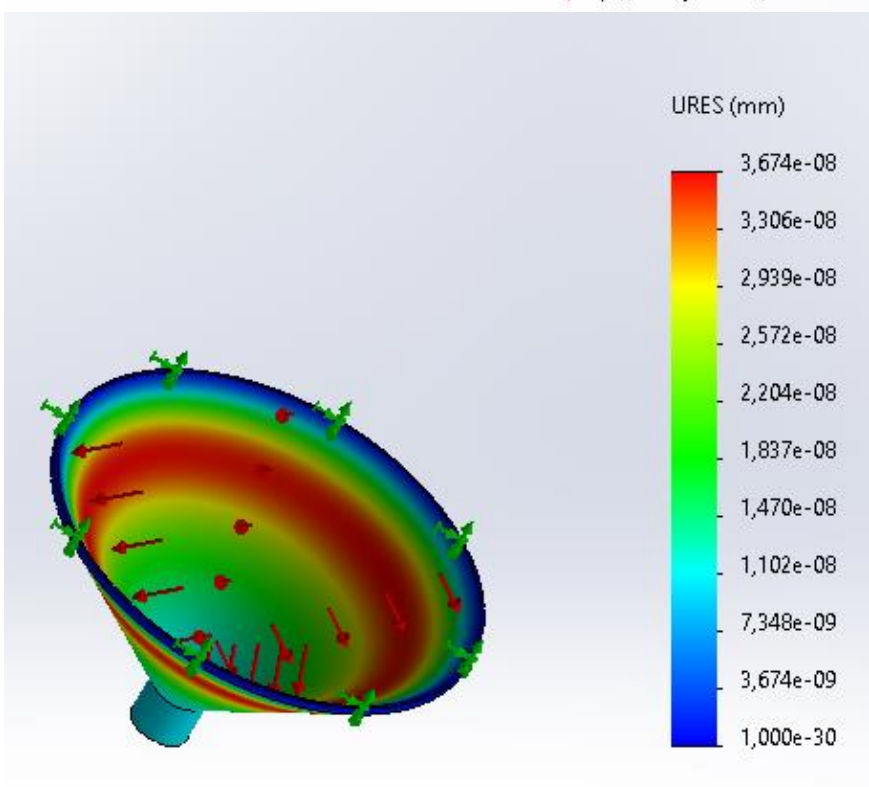
$0,3 \cdot 10^6 < 139,1 \cdot 10^6, P < [P]$, тому умова міцності виконується.

Для підтвердження міцності змодельовали 3-D модель за допомогою програми *SolidWorks*. Та показали 3 діаграми стану: напругу, деформацію і переміщення точок(зміщення) обичайки:

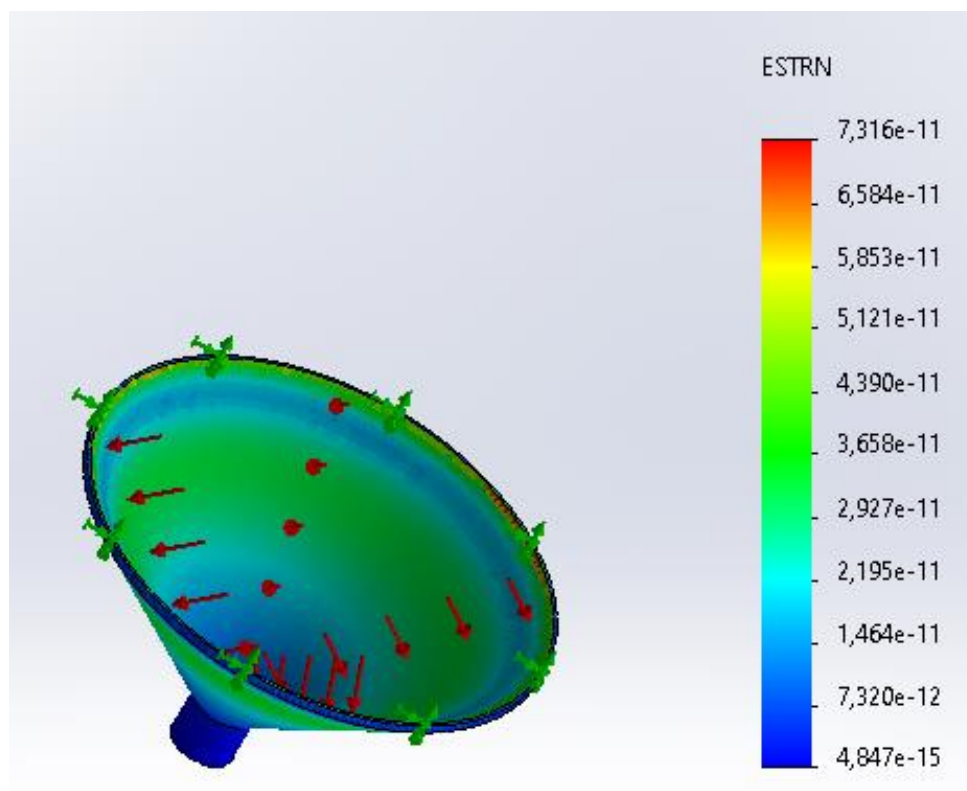
Напруга



Переміщення



Деформація



Для проведення даного моделювання використовував одну із функцій програми SolidWorks, а саме SolidWorks Simulation. Де застосовуючи статичне дослідження, отримав результати напруги зміщення та деформації.

Під час моделювання фіксовано закріпив обичайку в місці зварювання і надав навантаження на конічні стінки днища тиском який дорівнював $P = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$, тиск перевірявся по всьому периметру днища, вздовж всієї висоти під кутом 45° С та діаметру.

Отримавши результат напруги в межах $0,19 - 0,02 \text{ МПа}$, результат зміщення в межах $0,036 - 0,01 \text{ мм}$ та результат деформації $0,57 - 0,0 \cdot 10^{-10}$ (ESTRN – еквівалентна деформація) визначив з представленого моделювання, що обичайка знаходиться в межах відхилення з результатами розрахунків.

Можна вважати, що розрахована та змодельована обичайка працездатна та задовольняє умови міцності, але в місцях де обичайка з'єднується зварюванням електродом з кришкою та днищем є слабкі точки. Отже умови задовільні.

5.5.3. Розрахунок плоскої кришки, навантаженої внутрішнім тиском

Розрахуємо плоску кришку апарату .

Умова застосування формули наступна:

$$\frac{s - c}{D} \leq 0,1, \frac{3 - 0,9}{1500} = 0,001, 0,001 \geq 0,1.$$

Дана умова виконується, тому можна застосувати наступні формули розрахунку плоскої кришки:

$$s_n = KK_0D \sqrt{\frac{P}{[\sigma]\varphi}} + c_n$$

тут $K = 0,5$ - розрахунковий коефіцієнт, обирається з таблиці[16],

K_0 - коефіцієнт послаблення кришки,

$$K_0 = \sqrt{1 + \frac{d}{D} + \left(\frac{d}{D}\right)^2} = \sqrt{1 + \frac{400}{1500} + \left(\frac{400}{1500}\right)^2} = 1,15,$$

$c = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = (0,5 + 0,4 + 0 + 9) \cdot 10^{-3} = 9,9 \cdot 10^{-3}$ м прибавочний коефіцієнт.

Тоді

$$s_n = KK_0D \sqrt{\frac{P}{[\sigma]\varphi}} + c_n = 0,5 \cdot 1,15 \cdot 1,5 \sqrt{\frac{0,3 \cdot 10^6}{173 \cdot 10^6 \cdot 0,8}} + 9,9 \cdot 10^{-3} = 5 \text{ мм.}$$

Приймаємо товщину кришки $S_i = 5$ мм.

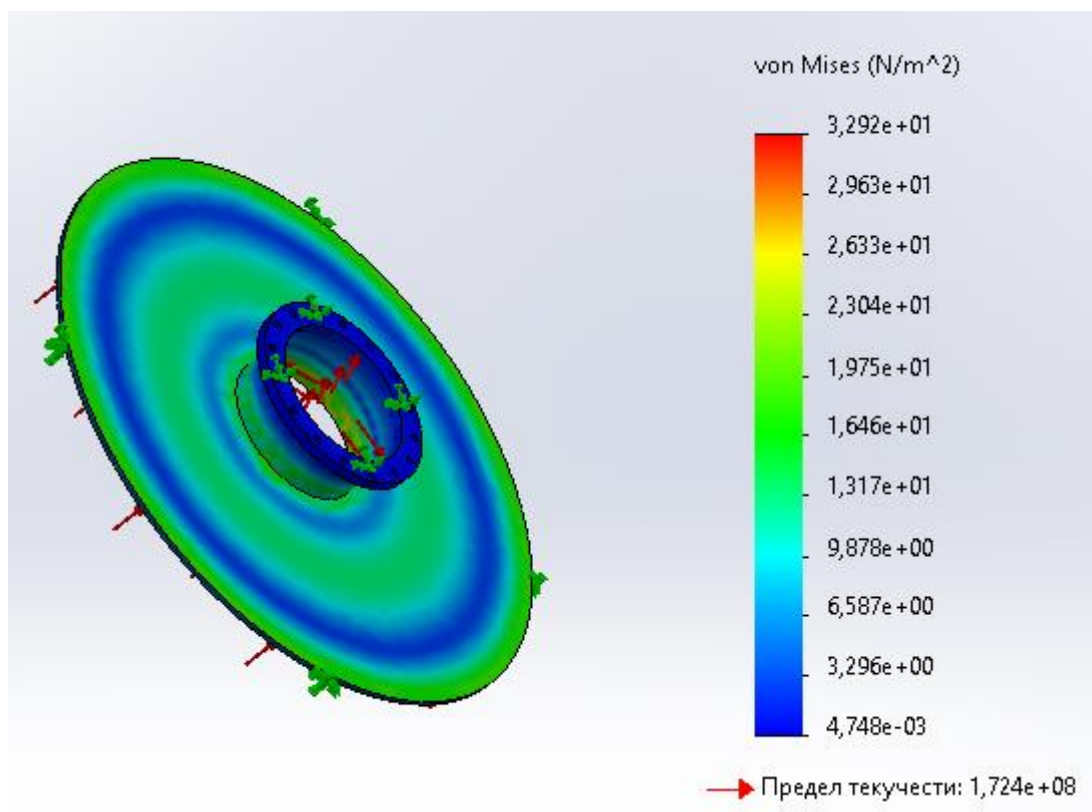
Допустимий тиск з умови міцності розраховується за формулою:

$$[P] = \left(\frac{S_k - c_k}{KK_0D}\right)^2 [\sigma]\varphi = \left(\frac{(5-0,9) \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 1,15 \cdot 1,5}\right)^2 173 \cdot 10^6 \cdot 0,8 = 1,74 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

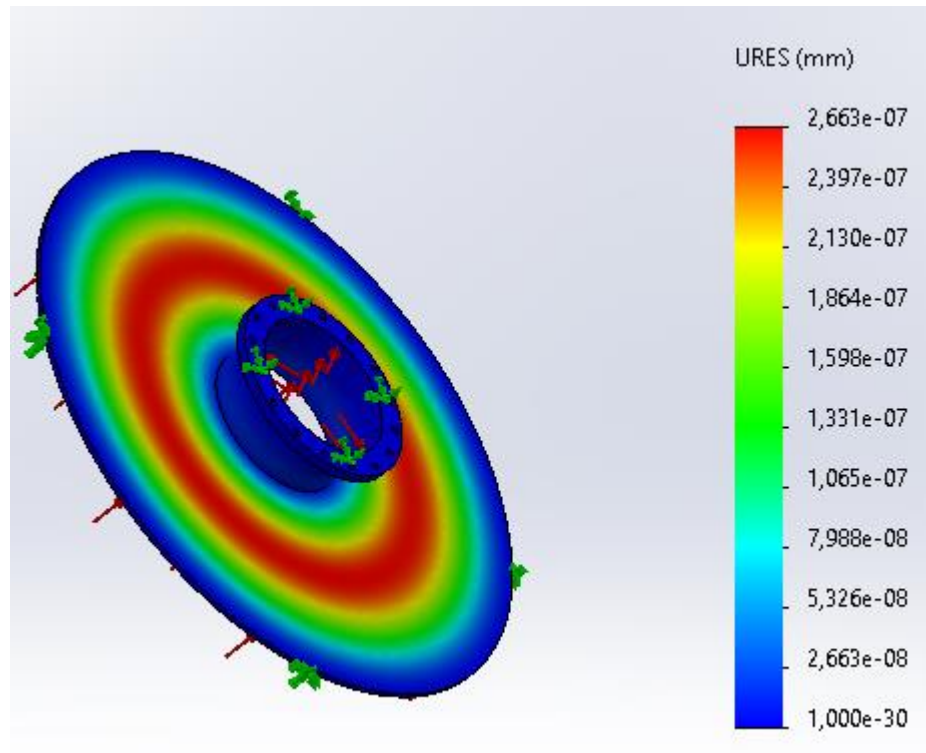
$0,3 \cdot 10^6 < 1,74 \cdot 10^6, P < [P]$, тому умова міцності виконується.

Для підтвердження міцності змодельована 3-Д модель за допомогою програми SolidWorks. Дані діаграми вказують на напругу, деформацію і переміщення точок(зміщення) кришки:

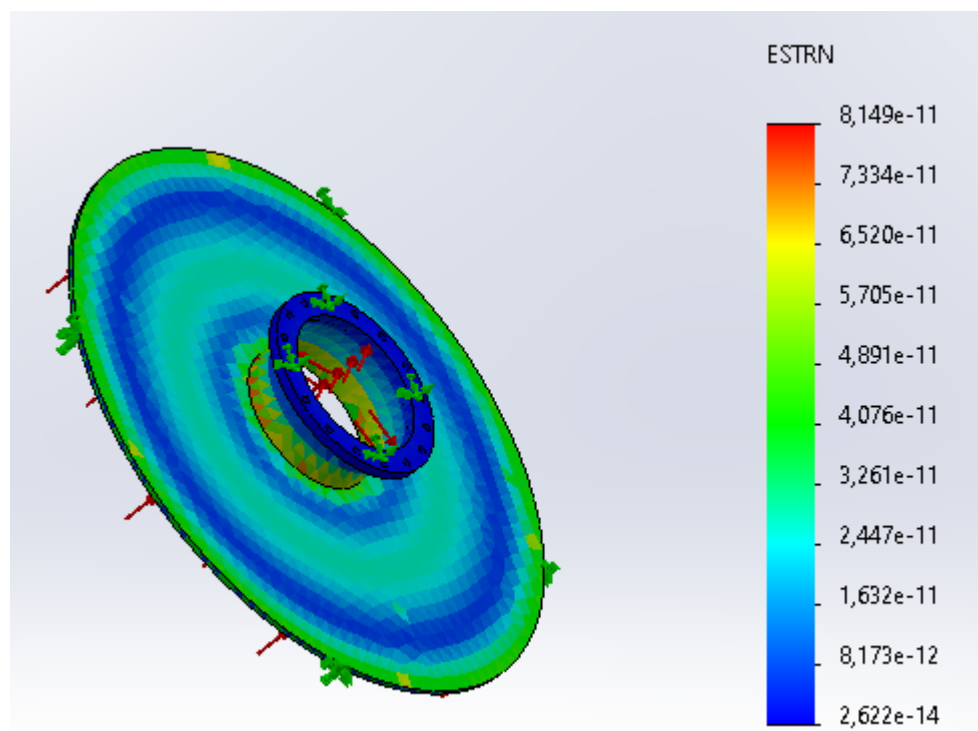
Напруга



Переміщення



Деформації



Для проведення даного моделювання використовував одну із функцій програми SolidWorks, а саме SolidWorks Simulation. Де застосовуючи статичне дослідження, отримав результати напруги зміщення та деформації.

Під час моделювання фіксовано закріпив кришку і надавав навантаження на днище кришки та на стінку штуцера тиском який дорівнював $P = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$, тиск перевірявся по всьому периметру кришки, вздовж всієї висоти та діаметру.

Отримавши результат напруги в межах $0,32 - 0,04 \text{ МПа}$, результат переміщення в межах $0,26 - 0,01 \text{ мм}$ та результат деформації $0,43 - 0,02 \cdot 10^{-10}$ (ESTRN – еквівалентна деформація) визначив з представленого моделювання, що обичайка знаходиться в межах відхилення з результатами розрахунків.

Можна вважати, що розрахована та змодельована обичайка працездатна та задовольняє умови міцності, але в місцях де обичайка з'єднується зварюванням електродом з кришкою та днищем є слабкі точки. Отже умови задовільні.

5.5.4. Перевірка розподілюючої решітки на міцність

Перевіримо обрану раніше розподілюючу решітку на міцність.

Допустимий тиск на круглій решітці визначимо за формулою [17]:

$$[P] = \frac{\varphi_0^2 [\sigma] s^2}{K^2 D^2},$$

тут φ_0^2 – коефіцієнт ослаблення решітки;

$K = 0,12$ – допоміжний коефіцієнт, обирається в залежності від конструкції решітки [17].

Розташування отворів обрано шахове. При такому розташуванні коефіцієнт ослаблення решітки розраховується;

$$\varphi_0 = \frac{1 - \frac{2d}{\sqrt{t^2 + t_1^2}}}{\sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{t^2}{t^2 + t_1^2} \right)^2}} = \frac{1 - \frac{2 \cdot 4}{\sqrt{196 + 196}}}{\sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{196}{196 + 196} \right)^2}} = 0,66,$$

тут $d = 4$ мм – діаметр отворів решітки;

$t = t_1 = 14$ мм – кроки отворів решітки;

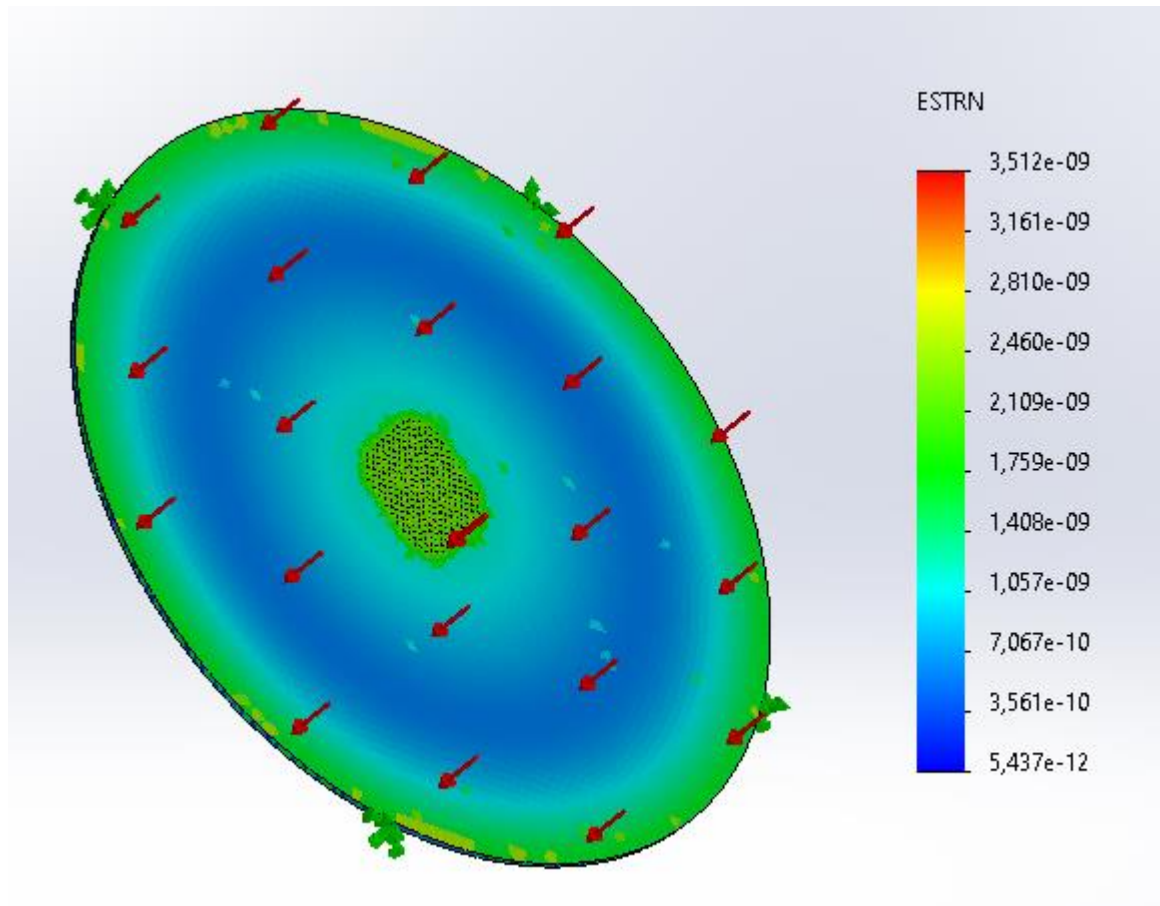
Обрахуємо допустимий тиск:

$$[P] = \frac{\varphi_0^2 [\sigma] s^2}{K^2 D^2} = \frac{0,48^2 \cdot 173 \cdot 10^6 \cdot 0,012^2}{0,12^2 \cdot 1,5^2} = 188,3 \text{ МПа.}$$

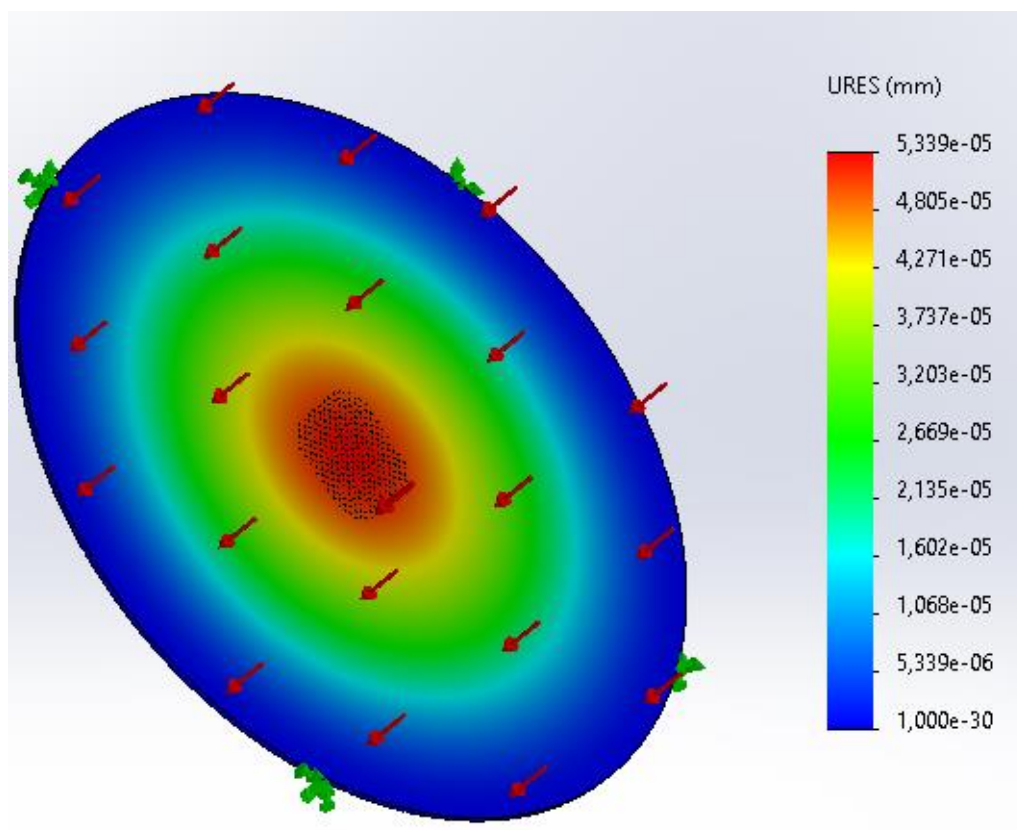
$0,3 \cdot 10^6 < 188,3 \cdot 10^6, P < [P]$, тому умова міцності виконується.

Для підтвердження міцності змодельована 3-Д модель за допомогою програми SolidWorks. Дані діаграми вказують на напругу, деформацію і переміщення точок(зміщення) решітка:

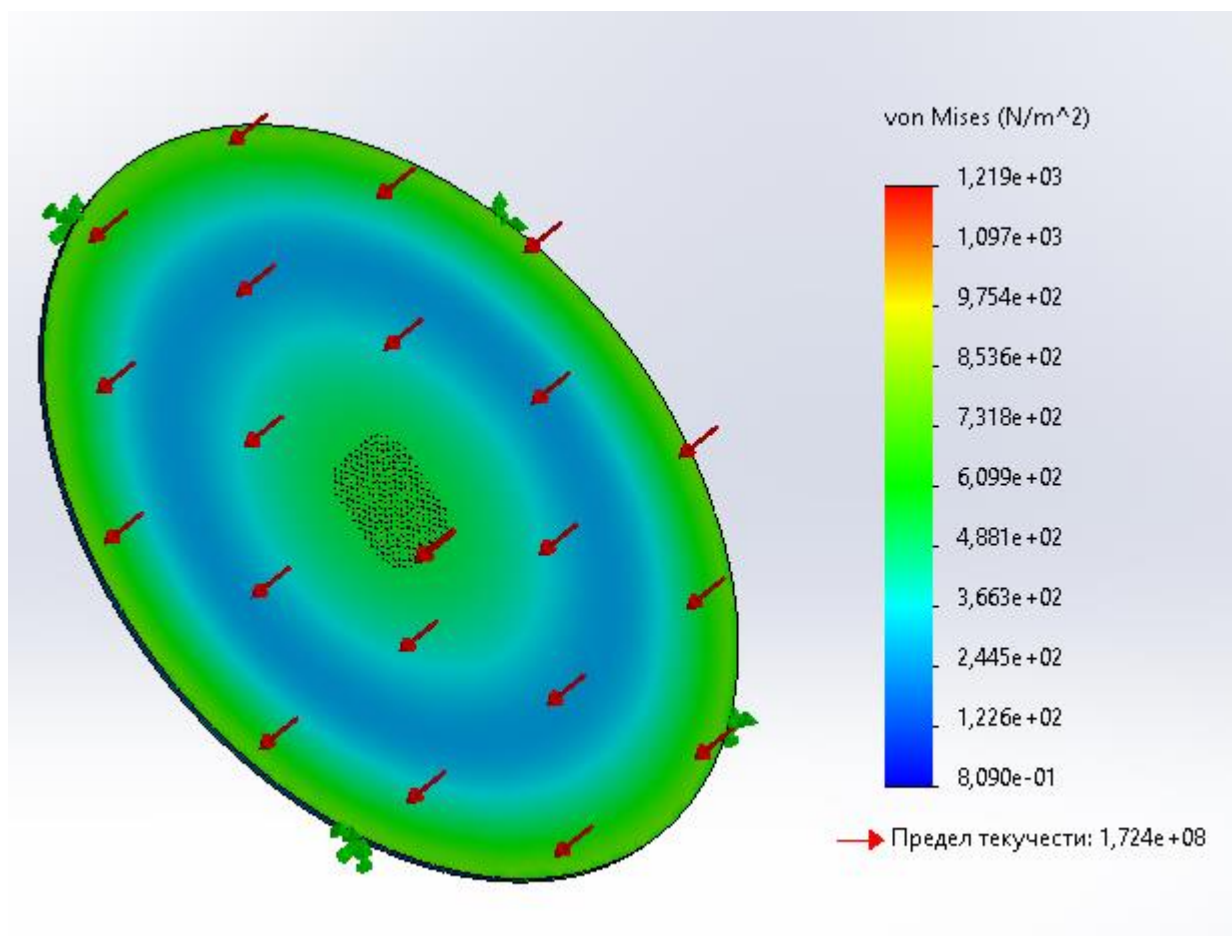
Деформація



Переміщення



Напруга



Для проведення даного моделювання використовував одну із функцій програми SolidWorks, а саме SolidWorks Simulation. Де застосовуючи статичне дослідження, отримав результати напруги зміщення та деформації.

Під час моделювання фіксовано закріпив решітку в місці закріплення її в апараті і надавав навантаження на поверхню та на один з отворів сітки тиском який дорівнював

$P = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$, тиск перевірявся по всьому периметру сітки.

Отримавши результат напруги в межах 0,12 – 0,008 МПа, результат переміщення в межах 0,5 – 0,001 мм та результат деформації 0,35 – 0,05 · 10⁻¹⁰ (ESTRN – еквівалентна деформація) визначив з представленого моделювання, що обичайка знаходиться в межах відхилення з результатами розрахунків.

Можна вважати, що розрахована та змодельована обичайка працездатна та задовольняє умови міцності, але в місцях де обичайка з'єднується зварюванням електродом з кришкою та днищем є слабкі точки. Отже умови задовільні.

5.5.5. Перевірка несучої спроможності апарату під дією опорних навантажень

Обчислимо масу апарата. Вона складається з наступних складових:

- маса циліндричної обичайки[17]:

$$M_{об} = 0,785(D_3^2 - D^2)H\rho_{ст} = 0,785(1,506^2 - 1,500^2)2 \cdot 7900 = 264 \text{ кг},$$

де H – висота циліндричної обичайки;

$\rho_{ст}$ – густина сталі, $\rho_{ст} = 7900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ [11];

D_3 – зовнішній діаметр обичайки, $D_3 = D + 2s = 1500 + 2 \cdot 3 = 1506 \text{ мм}$;

- маса плоскої кришки:

$$M_{п} = 0,785D^2S_n\rho_{ст} = 0,785 \cdot 1,5^2 \cdot 0,005 \cdot 7900 = 70 \text{ кг};$$

- маса конічного днища:

$$M_k = \rho \cdot V = 7900 \cdot 0,138 = 1214 \text{ кг},$$

де $V = \frac{\beta}{2} [S_k \alpha_1 (2R - \alpha_1) + S_k ((R - \alpha_1)^2 - r^2)] = \frac{3,14}{2} [3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6} (2 \cdot 1100 - 1,5) \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 10^{-3} ((1100 - 1,5)^2 \cdot 10^{-6} - 140 \cdot 10^{-3})] = 0,138 \text{ м}^3$,

тут $R = \frac{D_{кон}}{2 \sin \alpha_1} = \frac{1,498}{2 \sin 45} = 1,1 \text{ м}$ – радіус розгортки,

$r = \frac{d}{2 \sin \alpha_1} = \frac{0,2}{2 \sin 45} = 0,14 \text{ м}$ внутрішній радіус розгортки,

$R = \beta = \pi D_{кон} \Rightarrow \beta = \pi$ – кут конусності.

- маса допоміжного обладнання (завантажувальні та розвантажувальні пристрої, фланці штуцера, газорозподілююча решітка) приймається 30% від маси основних частин апарата.

Тоді повна маса апарата:

$$M = 1,3(M_{об} + M_{п} + M_k) = 1,3 \cdot (264 + 70 + 1224) = 1975 \text{ кг}.$$

Вага апарата:

$$G = Mg = 1975 \cdot 9,8 = 19,3 \text{ кН}.$$

Приймаємо, що апарат встановлений на двох опорах. Тоді навантаження, що припадає на одну опору, становить:

$$Q_{оп} = \frac{G}{2} = \frac{19,3}{2} = 9,65 \text{ кН.}$$

Обираємо попри, що виготовляються з профільних труб за ГОСТ 1050-88 [.

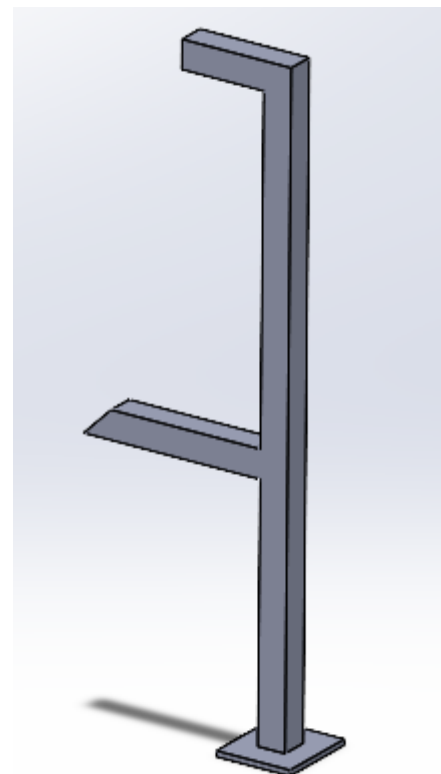
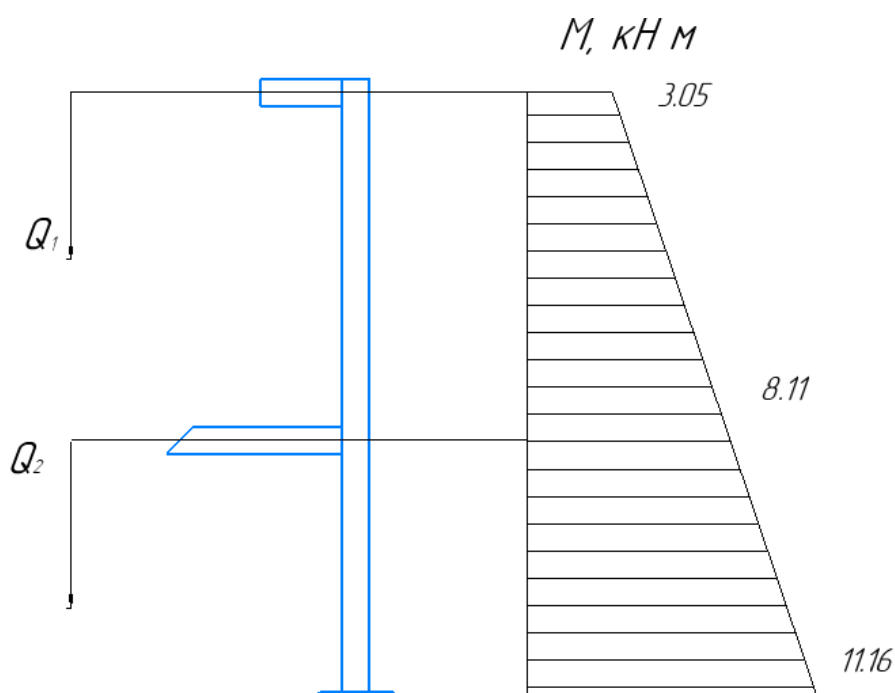


Рисунок 12. Схема навантаження опори

Максимальний згинаючий момент

$$M_{max} = M_1 + M_2 = 3,05 \cdot 10^3 + 8,11 \cdot 10^3 = 11,16 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Де:

$$M_1 = \frac{Q_1 g}{2} l_1 = \frac{1,3(124 + 289)}{2} 9,8 \cdot 1,11 = 3,05 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м,}$$

та

$$M_2 = \frac{2g}{2} l_2 = \frac{1,3(1106 + 42)}{2} 9,8 \cdot 1,11 = 8,11 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Умова міцності:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W} \leq [\sigma],$$

де: $[\sigma]$ – допустиме напруження:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_t}{n_t} = \frac{250}{1,5} = 1,667 \text{ Мпа},$$

σ_t – границя текучості;

n_t – запас міцності .

Тоді:

$$\sigma_{max} = \frac{11,16 \cdot 10^3}{69,6 \cdot 10^{-3}} = 160,8 \cdot 10^6 \leq [\sigma] = 166,7 \cdot 10^6,$$

Умова виконується.

5.6. Висновки

Внаслідок здійснення розрахунку матеріального балансу, встановлено, що кількість випареної вологи за 1 робочу годину становить 23 кг.

Результати теплового розрахунку показали, що витрати тепла становлять $Q = 187$ кВт, в той час як вміст вологи склав $x_2 = 3,2$ кг/кг. Робоча швидкість повітря в сушарці склала $V_p = 3,2$, а висота киплячого шару сягає

Провівши розрахунки обичайки, циліндричного днища, кришки і решітки на міцність та підтвердивши ці розрахунки 3-D моделюванням у програмі SolidWorks встановили 3 типи дослідження (напруга, переміщення, деформація), визначили, що за тиску в апараті який становить становить $P = 0,3 \cdot 10^6$ МПа, можна вважати, що розрахована та змодельована сушарка працездатна та задовольняє умови міцності, але є місця де міцність слабка.

6. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Математична модель процесу включає в себе умови однозначності і енергію руху, сформульовані для окремих компонентів середовища, враховуючи взаємодію компонентів в ньому[18].

При загальних рівняннях моделі відбувається опис зв'язку загального руху дисперсії з рухом компонентів, яку вони складають, а також взаємозв'язок властивостей переносу окремих компонентів.

Рух дисперсії в загальному випадку описується:

$$\frac{\rho dU_i}{dt} + \sum_s \frac{K_m^s \rho_p^s dU_{pi}^s}{dt_p^s} = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} [\mu_{fm} \Delta_{ji} + \mu_{fm2} \theta \partial_{ji}] + \frac{\partial}{\partial x_i} \sum_s K_m^s [\mu_{fm}^s (\Delta_p^s)_{ji} + \mu_{pm2}^s \theta_p^s \partial_{ji}] + \rho F_i + \sum_s \frac{K_m^s \rho_p^s f_{pi}^s}{m^s}.$$

У рівнянні прийняті такі позначення:

$$\frac{d}{dt_p^s} = \frac{\partial}{\partial t_p} + U_i \frac{\partial}{\partial x_i},$$

$$\frac{d}{dt_p^s} = \frac{\partial}{\partial t_p} + U_{pj}^s \frac{\partial}{\partial x_i}.$$

Швидкість деформації зсуву дисперсії:

$$(\Delta)_{ji} = \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i}.$$

Швидкість деформації подовження:

$$\theta = \frac{\partial U_k}{\partial x_k}.$$

Символ Кронекера $\partial_{ij} = 0$ при $j \neq i$ і $\partial_{ij} = 1$ при $j = i$

В апараті киплячого шару двофазна система, яка складається суцільної дискретної фази.

Так як дискретна фаза не виявляє суттєвого впливу на статичний тиск системи, то для дискретної фази до компоненту S запишемо:

$$\frac{\rho dU_i}{dt} = - \left[1 - \sum_s K_m^s \frac{\rho_p^s}{\rho_p^s} \right] \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} [\mu_{fm} \Delta_{ji} + \mu_{fm2} \theta \partial_{ji}] + \rho F_i -$$

$$\frac{1}{2} \bar{\rho} \sum_s K_m^s \frac{\rho_p^s d}{\rho_p^s dt_p^s} (U_i - U_{pi}) - \frac{9}{2\sqrt{\pi a_s}} \sqrt{\mu \rho} \sum_s K_m^s \frac{\rho_p^s}{\rho_p^s} \int_{t_0}^{t_p^s} \left[\frac{d}{dt} (U_i - U_{pi}^s) (t_p^d - \tau) \right]^{-\frac{1}{2}} d\tau -$$

$$\sum_s K_m^s \rho_m^s F^s.$$

Для розв'язання рівняння руху дискретної і суцільної фази сформулюємо умови однозначності. Рівняння енергії багатофазної системи, яка складається з q компонентів включає в себе співвідношення, що характеризує обмін енергії, як обмін енергії між твердими частинками.

Рівняння енергії для компоненти а системи має вигляд:

$$\frac{\rho^q dE^q}{dt^q} = \frac{\partial}{\partial x_i} U_j^q \left[-p^q \delta_{ji} + \mu_{m2}^q \Delta_{ji}^q + \mu_{m2}^q \theta^q \delta_{ji} \right] + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\lambda_m^q \frac{\partial T^q}{\partial x_i} \right] + F_e^q + c^q \rho^q \sum_p G^{qp} (T^p - T^q),$$

де ρ^q -густина компонента q ;

E^q -внутрішня енергія компонента q ;

T^p -температура компонента p ;

T^q -температура компонента q .

Рівняння енергії для дискретної фази (Б) включає співвідношення, яке характеризує обмін енергії між твердими частинками і теплоносієм, а також іншими твердими частинками[18]:

$$\begin{aligned} \partial_p^s \frac{d}{dt^s} [c_p^s T_p^s] &= \frac{\partial}{\partial x_i} \lambda_{pm}^s \frac{\partial T_p^s}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} U_{pi}^s [\mu_{pm}^s (\Delta_p^s)_{ji} + \mu_{pm2}^s \theta_p^s \delta_{ji}] + F_{pe}^s \\ &+ c_p^s \rho_p^s G^s (T - T_p^s) + c_p^s \rho_p^s \sum G_p^{sr} (T_p^r - T_p^s), \end{aligned}$$

Рівняння енергії для безперервної фази:

$$\rho \frac{d}{dt} [c_p T] = \frac{\partial}{\partial x_i} \lambda_m \frac{\partial T}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} U_i [\mu_{fm} \Delta_{ji} + \mu_{fm2} \theta \delta_{ji}] + F_E,$$

F_E -джерело теплоти;

λ_m -коефіцієнт теплопровідності суцільної фази;

λ_p -коефіцієнт теплопровідності дискретної фази;

c_p -питома теплоємність суцільної фази при постійному тиску;

c_p^s -питома теплоємність дискретної фази при постійному тиску;

$G^{(sr)}$ -постійна часу процесу теплообміну між множиною частинок.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} U_{pi}^s [\mu_{pm}^s (\Delta_p^s)_{ji} + \mu_{pm2} \theta_p^s \delta_{ji}],$$

дисипативна складова рівняння енергії:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} U_i [\mu_{fm} \Delta_{ji} + \mu_{fm2} \theta \delta_{ji}].$$

Рівняння руху і енергії враховує загальний рух, теплообмін та силові поля. Для розв'язання даних рівнянь необхідно сформулювати умови однозначності.

Процес гранулювання в псевдозрідженому шарі протікає у апаратах прямокутної форми. Для рішення задачі доцільно вибрати прямокутну систему координат.

Рівняння руху і енергії враховує загальний рух, теплообмін та силові поля. Для розв'язання даних рівнянь необхідно сформулювати умови однозначності.

Процес гранулювання в псевдозрідженому шарі протікає у апаратах прямокутної форми. Для рішення задачі доцільно вибрати прямокутну систему координат.

Для описання процесів гідродинаміки і теплообміну необхідно визначити властивості твердої та газової фази і суміші, а також коефіцієнти переносу.

Якщо позначити Y^s –об'ємна частка частинок опору s , густина множини частинок (s) однакового розміру і з однієї і тієї ж самої речовини- ρ_p^{-s} , то ці величини пов'язані співвідношенням:

$$\rho_p^s = Y^s \rho_p^{-s}.$$

Густина множини твердих частинок:

$$\rho_p = \sum_s \rho_p^s.$$

Густина теплоносія $\bar{\rho}$ і уявна густина газової фази зав'язані рівнянням:

$$\rho = \bar{\rho} \left[1 - \sum_s \frac{\rho_p^s}{\bar{\rho}_p^s} \right] = \bar{\rho} \left[1 - \frac{\rho_p}{\rho_p} \right],$$

де $\frac{\rho_p}{\rho_p}$ – об'ємна частка твердих частинок всієї дискретної фази.

Густина суміші визначається по рівнянню:

$$\rho_m = \rho + \sum_s \rho_p^s$$

Для визначення в'язкості компоненту q в суміші μ_m^q використовуємо рівняння:

$$\mu_m^q \Delta_{ji}^q = \mu_m \frac{\rho^q}{\rho_m} \Delta_{ji}^q + \frac{\mu_m}{\rho_m} \left[(U_i^q - U_{mi}) \frac{\partial \rho^q}{\partial x_i} + (U_j^q - U_{mi}) \frac{\partial \rho^q}{\partial x_j} \right] + \rho^q (U_i^q - U_{mi})(U_j^q - U_{mj})$$

$$\mu_m^q \theta^q = \mu_{m2} \frac{\rho^q}{\rho_m} \theta^q + \frac{\mu_{m2}}{\rho_m} (U_k^q - U_{mk}) \frac{\partial \rho^q}{\partial x_k}$$

Для суміші з одним сортом частинок в'язкість можна визначити за допомогою рівняння:

$$\mu_{fm} \approx \left[1 - \frac{\rho_p}{\rho} \right] \mu_m,$$

$$\mu_{pm} \approx \frac{\rho_p}{\rho} \mu_m.$$

Уявна в'язкість множини частинок:

$$\mu_p^s = \frac{9}{4} Y^s \bar{\mu},$$

Коефіцієнт теплопровідності суміші:

$$\lambda_{fm} \approx \left[1 - \frac{\rho_p c_p}{\rho_p c_p} \right] \lambda_m,$$

$$\lambda_{pm} \approx \frac{\rho_p c_p}{\rho c_p} \lambda_m.$$

Постійна часу процесу взаємодії рідини з частинками:

$$F^s = \frac{9\mu}{2a_s^r \rho_p^{-s}}.$$

Для частинок в псевдозрідженому шарі:

$$F^s = \frac{75}{2} \cdot \frac{1-E}{E^2} \cdot \frac{\bar{\mu}}{\bar{\rho}_p a_p^2} + \frac{1.75}{2E} \cdot \frac{\bar{\rho}}{\bar{\rho}_p} \cdot \frac{U_E}{\bar{\rho}_p} S_r.$$

Приймаємо, що сила опору внаслідок зіткнень частинок s з частинками r будемо позначати F^{sr} .

Постійна часу F^{sr} записується у вигляді:

$$F^{sr} = \frac{F_{psr}}{m_s [U_p^r - U_p^s]},$$

де - m_s маса частинок сорта s .

Частинки r рухаються відносно часток:

$$\Delta U_p^{sr} = |U_p^r - U_p^s|,$$

Тоді силу, що діє на частинку s внаслідок зіткнення з частинками r можна визначити за формулою:

$$\begin{aligned} F^{sr} &= \eta^{sr} n_p^r \pi (a_s - a_r)^2 \frac{m_s m_r}{m_s + m_r} \Delta U_p^{sr} |U_p^r - U_p^s| \\ &= \eta^{sr} \left[1 + \frac{m_r}{m_s} \right]^{-1} \rho_p^r (a_s - a_r)^2 |U_p^r + U_p^s|, \end{aligned}$$

Для частинок майже однакових розмірів. Постійна часу знаходиться за формулою:

$$F^{sr} = \frac{3}{4} \eta^{sr} \frac{\left(\sqrt{\frac{a_s}{a_r}} + \sqrt{\frac{a_r}{a_s}} \right) \Delta U_p^{sr} \rho_p^r}{\sqrt{a_r a_s} \sqrt{\rho_p^s \rho_p^s} \left(\sqrt{\frac{m_r}{m_s}} + \sqrt{\frac{m_s}{m_r}} \right)},$$

У загальному:

$$F^{sr} = \frac{\frac{3}{4} \eta^{sr} (a_s - a_r)^2 \Delta U_p^{sr} \rho_p^r}{a_s^3 \rho_{rp}^r \left[1 + \frac{m_r}{m_s} \right]},$$

В цих формулах $\frac{3}{4} \eta^{sr}$ для частинок r , що стикаються з частинками s .

Параметр η^{sr} визначається із співвідношення, яке можна записати у вигляді

$$\eta^{sr} = f(\psi, \Phi).$$

Так званий параметр інерції при взаємодії Ψ дорівнює співвідношенню сили інерції до сили в'язкості і знаходиться за формулами:

- для випадку частинок з майже однаковими розмірами:

$$\psi^{sr} = \left(\sqrt{\frac{m_r}{m_s}} + \sqrt{\frac{m_s}{m_r}} \right)^{-1} \left(\sqrt{\frac{a_s}{a_r}} + \sqrt{\frac{a_r}{a_s}} \right)^{-1} \left[\frac{2 \sqrt{a_r a_s} \Delta U_p^{sr} \rho}{18 \bar{\mu}} \right] \frac{\sqrt{\rho_p^s \rho_p^s}}{\bar{\rho}} \sqrt{\frac{a_s}{a_r}},$$

- в загальному випадку:

$$\psi^{sr} = \left[1 + \frac{m_r}{m_s} \right]^{-1} \frac{\rho_p^{-r} \Delta U_p^{sr}}{2(a_s - a_r) 18 \bar{\mu}} (2a_r)^2.$$

Параметр взаємодії за межами застосування закону Стокса Φ знаходиться за рівнянням:

$$\Phi = \frac{\text{Re}_0^2}{2\psi}.$$

При відносному русі частками s і r:

- для випадку часток майже однакового розміру:

$$\Phi^{sr} = \left(\sqrt{\frac{m_r}{m_s}} + \sqrt{\frac{m_s}{m_r}} \right) \left(\sqrt{\frac{a_s}{a_r}} + \sqrt{\frac{a_r}{a_s}} \right) \left[\frac{18\sqrt{a_r a_s} \Delta U_p^{sr} \rho}{\bar{\mu}} \right] \left(\frac{\sqrt{\rho_p^s \rho_p^s}}{\bar{\rho}} \right)^{-1} \left(\frac{a_s}{a_r} \right)^{\frac{2}{3}},$$

-в загальному випадку:

$$\Phi^{sr} = \left[1 + \frac{m_r}{m_s} \right] \frac{9\rho_p^r \Delta U_p^{sr} [2(a_s - a_r)]}{\rho_p^r \bar{\mu}},$$

де, m_s -маса частинки s;

m_r -маса частинки r;

a_s -радіус частинки s;

a_r -радіус частинки r;

Постійна часу конвективного теплообміну між часткою та рідиною

$$G^s = \frac{\text{Nu}^s \lambda 2\pi a_s}{m}.$$

Для сферичної частки в області справедливості закону Стокса

$$G^s = \frac{3\bar{\lambda}}{C_p^s \bar{\rho}_p a^2}.$$

Введемо позначення:

$$C_1 = \left[1 - \sum K_m^s \frac{\rho_p^s}{\rho_p^s} \right],$$

$$C_2^s = K_m^s \frac{\rho_p^s}{\rho_p^s},$$

$$C_3 = \frac{9}{2\sqrt{\pi} a_3},$$

$$C_4^s = K_m^s \rho_m^s F^s,$$

$$\Delta U_i = U_i - U_{pi}^s,$$

$$\Delta U_{pi} = U_{pi}^r - U_{pi}^s.$$

Запишемо рівняння руху для рідкої (суцільної) та дискретної фази в проекціях на координатні вісі.

Суцільне середовище:

проекція на вісь x:

$$\begin{aligned} & \rho \left(\frac{\partial U_x}{\partial \tau} + U_s \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y} + U_z \frac{\partial U_x}{\partial z} \right) \\ &= -C_1 \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu_{fm} \frac{\partial U_x}{\partial x} - \frac{2}{3} \mu_{fm} \left(\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_x}{\partial y} + \frac{\partial U_x}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_{fm} \left(\frac{\partial U_x}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) \right] \\ & \quad + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu_{fm} \left(\frac{\partial U_x}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial x} \right) \right] + \rho F_x \\ & \overline{-\frac{1}{2} \rho \sum_s C_2^s \frac{d}{dt_3^s} \Delta U_x - C_3 \sum_s C_2^s \int_{t_0}^{t_p^s} \left[\frac{d}{dt} (\Delta U_x) (t_p^s - \tau)^{\frac{1}{2}} d\tau \right]} - \sum_s C_4^s \Delta U_x. \end{aligned}$$

проекція на вісь y:

$$\begin{aligned} & \rho \left(\frac{\partial U_y}{\partial \tau} + U_x \frac{\partial U_y}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} + U_z \frac{\partial U_y}{\partial z} \right) \\ &= -C_1 \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu_{fm} \frac{\partial U_y}{\partial y} - \frac{2}{3} \mu_{fm} \left(\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_{fm} \left(\frac{\partial U_x}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) \right] \\ & \quad + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu_{fm} \left(\frac{\partial U_y}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial x} \right) \right] + \rho F_y \\ & \overline{-\frac{1}{2} \rho \sum_s C_2^s \frac{d}{dt_3^s} \Delta U_y - C_3 \sum_s C_2^s \int_{t_0}^{t_p^s} \left[\frac{d}{dt} (\Delta U_y) (t_p^s - \tau)^{\frac{1}{2}} d\tau \right]} - \sum_s C_4^s \Delta U_y. \end{aligned}$$

проекція на вісь z:

$$\begin{aligned} & \rho \left(\frac{\partial U_z}{\partial \tau} + U_x \frac{\partial U_z}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_z}{\partial y} + U_z \frac{\partial U_z}{\partial z} \right) \\ &= -C_1 \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu_{fm} \frac{\partial U_z}{\partial z} - \frac{2}{3} \mu_{fm} \left(\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_{fm} \left(\frac{\partial U_z}{\partial y} + \frac{\partial U_x}{\partial z} \right) \right] \\ & \quad + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_{fm} \left(\frac{\partial U_y}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial y} \right) \right] + \rho F_z \\ & \overline{-\frac{1}{2} \rho \sum_s C_2^s \frac{d}{dt_3^s} \Delta U_z - C_3 \sum_s C_2^s \int_{t_0}^{t_p^s} \left[\frac{d}{dt} (\Delta U_z) (t_p^s - \tau)^{\frac{1}{2}} d\tau \right]} - \sum_s C_4^s \Delta U_z. \end{aligned}$$

Для дискретної фази:

- проекція на вісь x [18]:

$$\begin{aligned} & \rho_p^s \left(\frac{\partial U_{px}^s}{\partial \tau} + U_{px}^s \frac{\partial U_{px}^s}{\partial x} + U_{py}^s \frac{\partial U_{py}^s}{\partial y} + U_{pz}^s \frac{\partial U_{px}^s}{\partial z} \right) \\ &= \rho_p^s F_{px}^s + \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu_{fm} \frac{\partial U_{px}^s}{\partial x} - \frac{2}{3} \mu_{fm} \left(\frac{\partial U_{px}^s}{\partial x} + \frac{\partial U_{py}^s}{\partial y} + \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial z} \right) \right] \\ &+ \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_{pm}^s \left(\frac{\partial U_{px}^s}{\partial y} + \frac{\partial U_{py}^s}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_{pm}^s \left(\frac{\partial U_{px}^s}{\partial z} + \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial y} \right) \right] + \rho_p^s F^s \Delta U_x \\ &+ \rho_p^s \sum_s F^{sr} \Delta U_{px}. \end{aligned}$$

- проекція на вісь y:

$$\begin{aligned} & \rho_p^s \left(\frac{\partial U_{py}^s}{\partial \tau} + U_{px}^s \frac{\partial U_{py}^s}{\partial x} + U_{py}^s \frac{\partial U_{py}^s}{\partial y} + U_{pz}^s \frac{\partial U_{py}^s}{\partial z} \right) \\ &= \rho_p^s F_{py}^s + \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu_{fm} \frac{\partial U_{py}^s}{\partial y} - \frac{2}{3} \mu_{fm} \left(\frac{\partial U_{px}^s}{\partial x} + \frac{\partial U_{py}^s}{\partial y} + \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial z} \right) \right] \\ &+ \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_{pm}^s \left(\frac{\partial U_{px}^s}{\partial y} + \frac{\partial U_{py}^s}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu_{pm}^s \left(\frac{\partial U_{py}^s}{\partial z} + \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial y} \right) \right] + \rho_p^s F^s \Delta U_y \\ &+ \rho_p^s \sum_s F^{sr} + \Delta U_{py}. \end{aligned}$$

проекція на вісь z:

$$\begin{aligned} & \rho_p^s \left(\frac{\partial U_{pz}^s}{\partial \tau} + U_{pz}^s \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial x} + U_{py}^s \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial y} + U_{pz}^s \frac{\partial U_{py}^s}{\partial z} \right) \\ &= \rho_p^s F_{pz}^s + \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu_{fm} \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial z} - \frac{2}{3} \mu_{fm} \left(\frac{\partial U_{px}^s}{\partial x} + \frac{\partial U_{py}^s}{\partial y} + \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial z} \right) \right] \\ &+ \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_{pm}^s \left(\frac{\partial U_{pz}^s}{\partial y} + \frac{\partial U_{px}^s}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_{pm}^s \left(\frac{\partial U_{py}^s}{\partial z} + \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial y} \right) \right] + \rho_p^s F^s \Delta U_z \\ &+ \rho_p^s \sum_s F^{sr} \Delta U_{pz}. \end{aligned}$$

В суцільному та дискретному середовищах дисипативна складова значно менше ніж в інших складових рівняння енергії, запишемо рівняння енергії для суцільної та дискретної фази.

Суцільне середовище:

$$\begin{aligned} & \rho \left(\frac{\partial(C_p T)}{\partial t} + U_x \frac{\partial}{\partial x} (C_p T) + U_y \frac{\partial}{\partial y} (C_p T) + U_z \frac{\partial}{\partial z} (C_p T) \right) \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_m \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_m \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_m \frac{\partial T}{\partial z} \right) + F_E. \end{aligned}$$

Дискретна фаза:

$$\begin{aligned} & \rho_p^s \left(\frac{\partial(C_p^s T^s)}{\partial t} + U_{px}^s \frac{\partial}{\partial x} (C_p^s T^s) + U_{py}^s \frac{\partial}{\partial y} (C_p^s T^s) + U_{pz}^s \frac{\partial}{\partial z} (C_p^s T^s) \right) \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_{pm}^s \frac{\partial T_p^s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_{pm}^s \frac{\partial T_p^s}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_{pm}^s \frac{\partial T_p^s}{\partial z} \right) + F_{pe}^s \\ & + C_p^s \rho_p^s G^s (T - T_p^s) + C_p^s \rho_p^s \sum_s G_p^{sr} (T_p^r - T_3^s). \end{aligned}$$

Враховуючи, що розглядається стаціонарний процес гранулювання, члени в рівнянні руху, що враховують вплив сили Бассе малі і ними можна знехтувати та членом рівняння руху, що враховує вплив прискорення уявної маси частинок відносно теплоносія.

Компоненти вектора швидкості тєлєносія та дискретної фази $U_x, U_y, U_{px}, \partial U_{py}$ приймаємо рівним нулю. Градієнт тиску у напрямку осі z та осі x відсутній.

$$\begin{aligned} \rho_p U_{px} \frac{\partial U_z}{\partial z} &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu_{pm} \frac{\partial^2 U_{pz}}{\partial x^2} \rho_p (U_z - U_{pz}) F^s + (\rho + \rho_p) g, \\ \rho U_{px} \frac{\partial U_z}{\partial z} &= -\frac{\partial p}{\partial z} \left(1 - \frac{\rho_p}{\rho} \right) - \bar{\rho} g + \bar{\rho} F^s (U_z - U_{pz}) + \mu \frac{\partial^2 U_{pz}}{\partial x^2}. \end{aligned}$$

Рівняння енергії для суцільної та дискретної фаз:

$$\begin{aligned} \rho C_p U_z \frac{\partial T}{\partial z} &= F_E, \\ \rho_p^s c_p^s U_{pz} \frac{\partial T}{\partial z} &= \lambda_{pm}^s \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + F_{pe}^s + C_p^s \rho_p^s G^s (T - T_p^s), \end{aligned}$$

Рівняння належать до диференціальних рівнянь в часткових похідних, алітичний розв'язок цих рівнянь є проблематичним [17,18].

6.1. Висновок

Провівши математичний огляд в прямокутній системі координат для осей X , Y , Z , дискретної фази та лінійної (рідкої) фази, вдалося описати зв'язки загального руху дисперсії з рухом компонентів, яку вони складають, а також взаємозв'язок властивостей переносу окремих компонентів частинки r та частинки s .

7. РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА МОНТАЖУ

На місці, де відбувається підготовка обладнання до монтажу, та на місці монтажу необхідно встановити не менше двох вогнегасників у кожному з вищезазначених місць.

Не слід перевищувати температуру поверхонь приладів, які нагріті, і труб на робочому місці. Використовують теплоізоляцію для запобігання опіків та зменшення тепловиділення.

Трубопроводи повинні відповідати вимогам щодо їх конструкції, матеріалу та механічній міцності експлуатації та специфічним властивостям продуктів, що транспортуються через них. Для зручності орієнтації трубопроводи фарбують у різні кольори за ГОСТ 14202-69; водно-зелений; пара - червоний; повітряна - блакитна; легкозаймисті та негорючі гази - жовтий; кислота - оранжевий; луки - фіолетові; інші речовини (живильне середовище, культуральна рідина тощо) - сірі. Пожежні труби пофарбовані в червоний колір. При прокладанні трубопроводів враховують необхідність контролю за їх робочим станом, перевірку герметичності, що зменшує ризик пошкодження.

Пристрій збирається в наступному порядку. Під час установки пристрій приварюється до 2-х опор, таких як лапи, які попередньо прикріплені до металевої конструкції. Кришка, решітка, дно та продуктова камера з'єднуються між собою зажимними важелями та шарнірами до корпусу пристрою. Переконавшись, що змонтоване обладнання готове, протестовується пристрій на холостому ході. Після монтажу, випробувань та регулювання, а також перед початком установки проводять зовнішній огляд корпусу.[19]

8. ОПИС НОВИЗНИ ДЛЯ СУШАРКИ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО ШАРУ

8.1. Опис експериментальної установки

Основою випробувального стенду являється заглибний блок ультразвукових випромінювачів марки УЗП-6-1 (Україна), який формує ультразвуковий промінь частотою 42 кГц з плоским фронтом.

Усередину сушарки над решіткою встановлюється блок з ультразвуковим випромінюванням.

Дослідження процесу сушіння проводиться для вологої тритураційної маси, дії ультразвукової кавітації відбувається в сушарці (рис. 14).

Експериментальна установка на рис. 14 складається з ультразвукового генератора 1 та ультразвукового перетворювача 2. Ультразвуковий перетворювач являє собою заглибний блок, який встановлюється в ємність 3 з робочою рідиною. На штативі 4 встановлений прототип сушарки 5

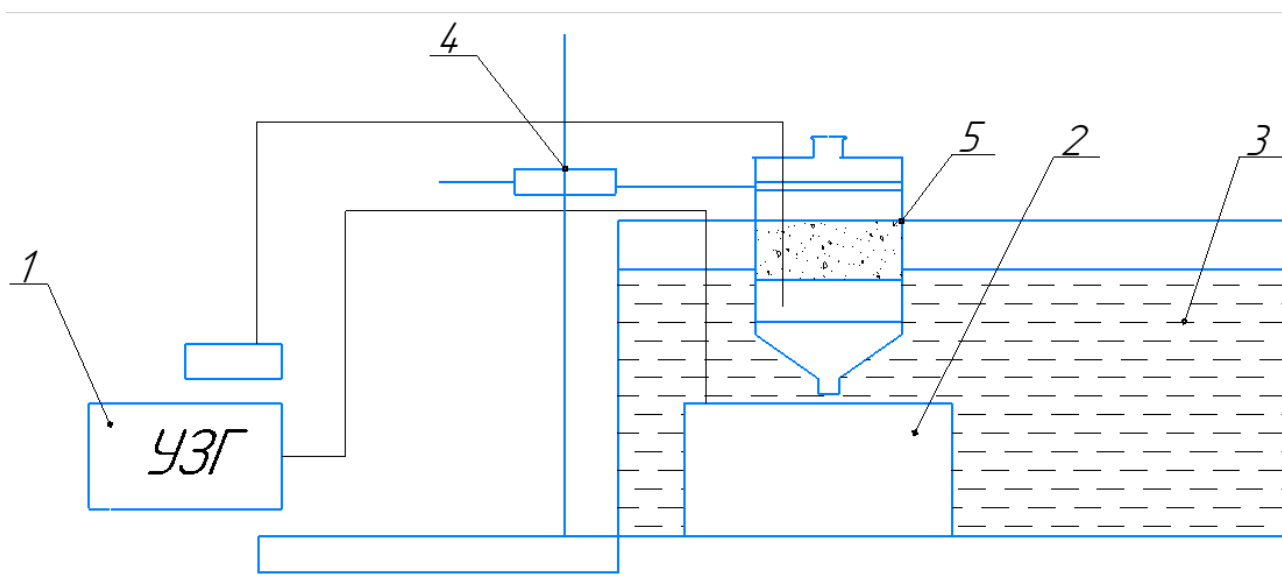
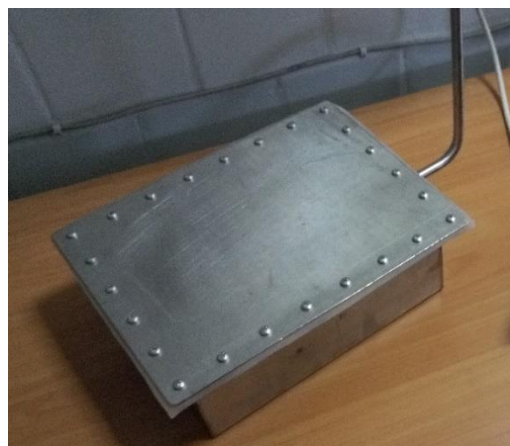


Рис 14. Принципова схема експериментальної установки:

- 1 – ультразвуковий генератор; 2 – ультразвуковий перетворювач;
3 – ємність; 4 – штатив; 5 – сушарка;



а



б

Рис. 15. Світлина ультразвукової установки: а – ультразвуковий генератор; б – ультразвуковий перетворювач 2 (заглибний блок)

Джерелом ультразвукових коливань служить низькочастотний ультразвуковий генератор 1 (рис. 15) із частотою випромінювання ультразвукових коливань 36 кГц, потужністю 300 Вт, інтенсивністю ультразвукових коливань 1,65 Вт/ см³ та габаритами 200x180x74 мм.

Блок генераторів поміщається в окремий корпус, який з'єднується з випромінювачами окремим кабелем довжиною до 3-5 м і може бути встановлений в окремому приміщенні. Живлення на випромінювачі подається окремим кабелем, який підключений до блоку генератора. Органи управління, індикації та контролю розміщуються на передній стінці блоку генератора.

На передній панелі ультразвукового генератора розташовані органи управління:

- Тумблер включення живлення «СЕТЬ».
- Ручка встановлення часу «ТАЙМЕР».
- Індикатор таймеру.
- Кнопка «ПУСК/СТОП».

Ультразвуковий перетворювач 2 (заглибний) (рис. 2, б) виготовлений з нержавіючої сталі, та складається з 6 ультразвукових випромінювачів, які перетворюють електричну енергію в ультразвукові коливання і має такі габаритні розміри 200x210x100 мм.

Заглибний блок з ультразвуковими випромінювачами з'єднується з виносним ультразвуковим генератором. Заглибний блок виконаний з нержавіючої сталі, який може розташовуватися на дні і/або на бічних стінках апарату. В середині заглибний блоку розміщуються ультразвукові випромінювачі.

Заглибний блок з'єднаний з ультразвуковим генератором 1 та встановлюється в продуктову камеру 3 таким чином, щоб був повністю покритий робочою масою. Це пов'язано з тим, що УЗ коливання використовуються в процесах, пов'язаних з вологими станами реагентів, оскільки тільки в них виникає специфічний процес – УЗ кавітація, що забезпечує максимальні енергетичні впливу на різні речовини.

8.2. Дослідження процесу розчинення сухої кристалічної речовини кавітацією

Для дослідження використовувався один розчинник – проточна вода. В якості сировини використовувались кристалічні гранули. Для отримання результату дії ультразвуку використовувалась ультразвукова установка.

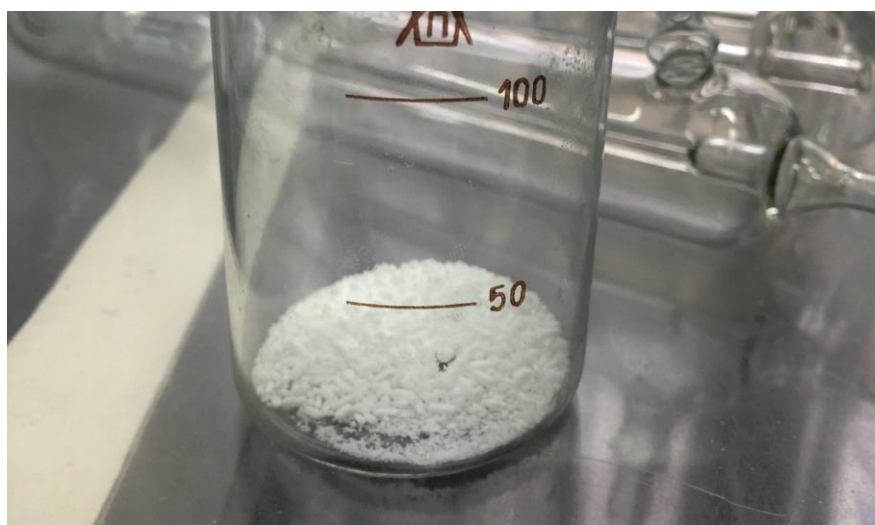


Рис. 16. Сировина – кристалічні гранули

Методика проведення експерименту №1.

1. Зважити 2 наважки по 5 г гранул.
2. В 2 колби засипати по 5 г гранул.
3. В кожен колбу залити по 50 г проточної води.
4. Першу колбу залишити на 15 хвилин не використовуючи установку.
5. Другу колбу помістити в ультразвукову установку на 15 хвилин.

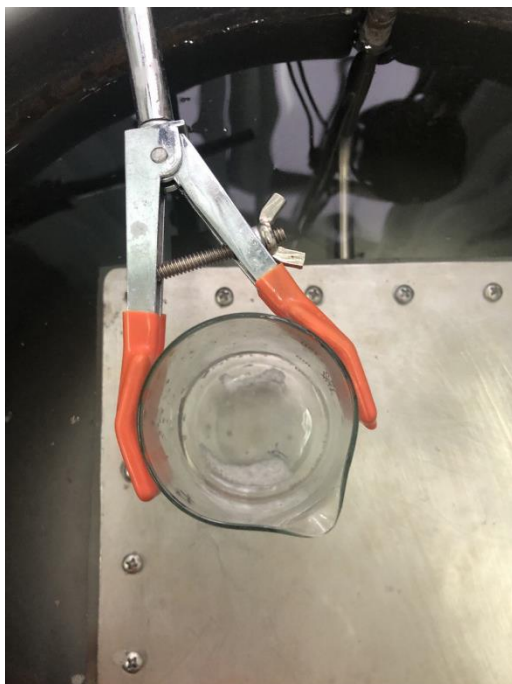


Рис. 17. Результат під дією
ультразвукової установки.



Рис. 18. Результат не використовуючи
ультразвукову установку.

Результати досліджень наведені в таблиці 1.

| Умови | Сировина | Час кавітації, хв | Маса сировини, г | Маса проточної води, г | Час розчинення сировини, хв |
|--------------------|------------------------------|----------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Без ультразвуку | Дрбнокристалічний порошок | 15 | 5 | 50 | Не відбулося |
| Ультразвук | Дрбнокристалічний порошок | 15 | 5 | 50 | 2 |

8.3. Дослідження процесу руйнування сухої кристалічної речовини без додавання розчинника

Для дослідження використовувався тільки кристалічний порошок без додавання розчинника.

Методика проведення експерименту №2.

1. Зважити 5 г гранул.
2. В колбу засипати 5 г гранул.
3. Колбу помістити в ультразвукову установку на 15 хвилин.

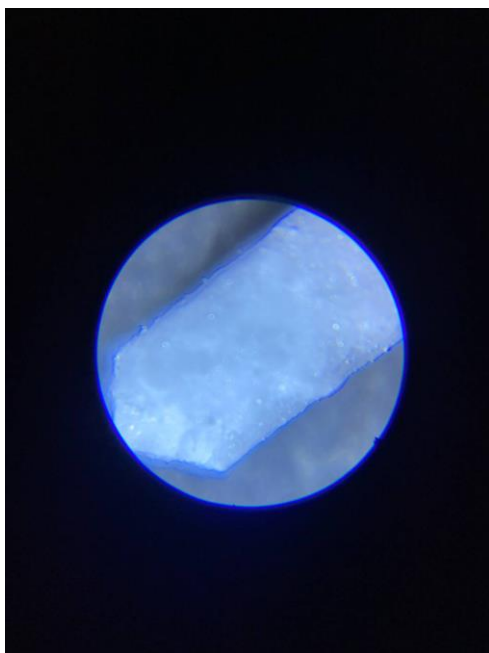


Рис.18. Результат до кавітації
під мікроскопом x70.

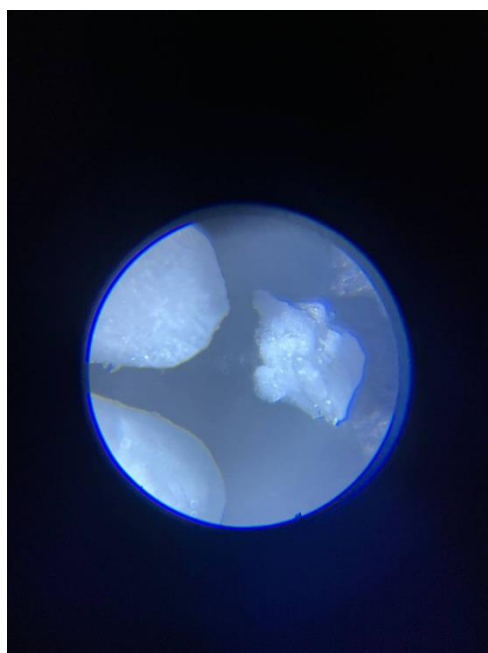


Рис.19. Результат після кавітації
під дією ультразвукової установки.

8.4. Аналіз результатів

В результаті проведення експерименту процесу кавітації без дії ультразвуку речовина не піддалась розпаду.

В результаті проведення експерименту процесу кавітації під дією ультразвуку, кристалічна речовина розчинилась протягом 2 хвилин, тобто бульбашки, які утворились в рідині, створили перемішування середовища, інтенсифікуючи процес, внаслідок чого кристали швидше розчинились.

Отже визначаємо, що під дією ультразвуку відбувається процес руйнування кристалів, що підтвердилось дослідом №2 та швидке розчинення вологої маси це підтверджує позитивний вплив ультразвукової установки.

9. СТАРТАП

9.1. Резюме

Сушіння в псевдозрідженому шарі є дуже ефективним видом висушування твердих речовин, тому його вважають однією з найважливіших стадій виробництва ліків. Перед формувальною стадією готових таблеток, таблетмаса має бути висушена до певної вологості, що дозволяє сформувати таблетку та забезпечує її подальшу міцність.

Актуальність цієї теми полягає в тому, що сушіння в псевдозрідженому шарі є найкращим способом контролю та рівномірного висушування частинок. Завдяки інтенсивному тепло/масообміну в псевдозрідженому шарі процес є особливо ефективним і швидким. Спосіб реалізують у відповідному обладнанні для сушіння в псевдозрідженому шарі.

Такий метод є найбільш оптимальним завдяки рівномірності сушки грануляту та інтенсивності масообміну в киплячому шарі.

Ідея стартап-проєкту: «сушарка псевдозріджена для гранулювання тритираційних таблеткових сумішей».

Мета стартап-проєкту: Впровадження сушарки в апаратурно-технологічну схему, і, як наслідок, підвищення швидкості виробництва і якості продукції, технічне рішення для подальшої автоматизації.

Основною метою наукової розробки є отримання прибутку від виробництва та реалізації обладнання з відмінними показниками якості. Проєкт передбачає розробку і удосконалення сушарки для сушіння таблеткових гранулятів, згущення рідин у шарі з киплячими інертними тілами, гранулювання таблеткових сумішей, нанесення захисного покриття на таблетки, який може використовуватися в різних галузях промисловості. Розробка апарату передбачається на території м. Київ.

Таблиця 1. Структура та логічна послідовність відповідей на ключові запитання у процесі формування ідеї підприємницького проєкту: **ЩО Є? ЩО ЯКЩО? ЩО ВАУ? ЩО РОБИТИ?**

Таблиця 2. Структурно-логічне формування ідеї.

| <i>Питання</i> | <i>Відповідь</i> |
|--------------------|---|
| Що є? | Виробництво формованих таблеток. |
| Що якщо? | Що якщо покращити технологічну схему виробництва, а саме: замінити звичайну сушарку на <i>сушарку псевдозрідженого шару</i> . |
| Що ВАУ? | Внаслідок впровадження у схему сушарки з <i>псевдозрідженим шаром</i> , збільшиться швидкість процесу перемішування і сушіння. |
| Що <i>робити</i> ? | Розробити модель сушарки з <i>псевдозрідженим шаром</i> , провести комп'ютерне моделювання, дослідити процес. Провести лабораторні випробування апарату. Змінити <i>апаратно-технологічну схему процесу</i> . |

У таблиці 2 наведені стартові характеристики стартап ідеї, а саме: визначені об'єкт та суб'єкт стартапу, наведені потреби, що відповідають цьому проєкту, а також визначене місце стартапу у ланцюжку цінностей.

Таблиця 3. Стартові характеристики стартап ідеї.

| Характеристика | Розкриття характеристики |
|---|---|
| Об'єкт стартапу | Інноваційна продукція (модернізований апарат, сушарка псевдозрідженим шаром для сушіння таблеткової маси). |
| Суб'єкт стартапу | Фізична особа, розробник стартапу (тобто я). |
| Потреба, яку задовольняє стартап: - У споживача - У виробника | У споживача: задовольняє потребу в отриманні якісних пігулок (за рахунок впровадження в сушарку ультразвукового випромінювача). У виробника: збільшення виробництва (за рахунок інноваційного обладнання пігулки |

| | |
|--|---|
| | будуть мати кращу якість), зменшення часу виробництва, і, як наслідок, виробник отримує прибуток. |
| На покращення якого фактору у моделі ділової досконалості підприємства спрямований стартап | На покращення: «результатів для споживача». |
| Місце стартапу у ланцюжку цінностей продукту | «Технологічні розробки». |
| Гранична корисність стартапу | Сервісне обслуговування лінії виробництва. |

9.2. Планові варіанти розвитку стартап ідеї

1. Перший продукт, який можна надати, - це сушарка з псевдозрідженим шаром. Тип товару – матеріальний. Споживачі отримають інноваційне обладнання, яке необхідно включити в виробничу лінію. Розглянутий варіант є найдешевшим, але приносить найменший прибуток.

2. Лінія сушіння таблетмаси. Споживач отримає лінію сушіння, яке необхідне для виготовлення готового продукту. Даний варіант потребує значних затрат, але ціна всієї лінії, відповідно, більша.

3. Готовий продукт – суха таблетмаса. Споживач буде забезпечений таблетмасою.

У таблиці 4. описані варіанти і опис можливого розвитку стартапу.

| Варіанти | Стислий опис можливого розвитку |
|----------------------------------|---|
| 1. сушарка псевдозрідженим шаром | Продуктивність висушеного матеріалу GK 10 кг/год Стартовий вологовміст матеріалу w_n 64% фінішний вологовміст матеріалу w_k 8% початкова температура теплоносія t_1 85°C кінцева температура теплоносія t_2 47°C початкова температура матеріалу θ_1 : 25 °C кінцева температура матеріалу θ_2 37°C |
| 2. Лінія виробництва таблеток. | Включає в себе: Сушарка – 70000 грн |

| | |
|----|---|
| | Ємність – 7000 грн Ємність – 5000 грн Теплообмінник – 15000грн Фільтр ячеювий – 11000 грн Фільтр касетний – 10000 грн Гранулятор - 25000грн Вентилятор відцентровий – 7000 грн Конденсаторвідводчик – 18000 грн Конденсатор – 20000 грн |
| 3. | Таблетки, одержані формуванням зволжених мас, застосовують тоді, коли доза препарату становить 0,01 і менше. Діючі речовини вводять у вигляді тритурацій, як у процесі підготовки маси до таблетування, так і при обпудрюванні готового продукту. |

У таблиці 4 наведені основні прогнозовані елементи витрат.

Таблиця 5. Складові структури витрат стартап-проєкту

| Прогнозований елемент витрат | Прогнозована кількість, од | Прогнозована вартість, грн | Джерело покриття витрат |
|--|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| 1. Технічна документація сушарки (Складальне креслення, Специфікація, креслення загального виду) | 1 | 10 000 | Підприємство замовник як «ФАРММАШ» |
| 2. Корпус з кришкою, днищем, опорними підставками, штуцерами. | 1 | 18 000 | Підприємство замовник як «ФАРММАШ» |
| 3. Решітка | 1 | 6 000 | Власні кошти |
| 4. Камера продуктова | 1 | 12 000 | Інвестори |
| 5. Опора | 1 | 5000 | Родина. |
| 6. Зажим <u>важельний</u> | 4 | 2500 | Власні кошти |
| 7. Випробування апарату. | 3 | 21 000 | Потенційні покупці. |

9.3. Вплив зовнішнього та зовнішнього оперативного середовища на цінність стартап-ідеї

Кожне промислове підприємство у своєму розвитку та процесі роботи постійно зазнає впливу зовнішнього середовища. Можна сказати, що результати та ефективність діяльності підприємства безпосередньо залежать від зовнішнього

середовища. Зовнішні економічні фактори включають географію, демографію, політику, економіку, культуру і, звісно ж, науково-технічний прогрес.

Базова цінність цього стартапу – «сушарка псевнозрідженим шаром». Отже, в таблиці 3.1 представлено вплив зовнішнього середовища на цінність стартап-ідеї.

Базова цінність цього стартапу – «сушарка псевнозрідженим шаром». Отже, в таблиці 3.1 представлено вплив зовнішнього середовища на цінність стартап-ідеї.

Таблиця 6. Зовнішнє середовище та цінність стартап-ідеї

| Фактор | Загроза | | | Можливості | | |
|----------|--|---|--|---|---|---|
| | Сутність загрози | Ймовірність настання | Вплив на цінність стартапу | Сутність можливості | Ймовірність настання | Вплив на цінність стартапу |
| Політика | 1.Доступність сертифікатів на виготовлення обладнання. 2. Міжнародна сертифікація. 3. Державне мито на експорт\ імпорт продукції. 4.Пандемія коронавірусу (закриття кордонів). 5.Війна на сході України. | 1.74% 2.79% 3.83% 4.99% 5.78% | 1.74% Збільшує та ускладнює процес виробництва сушарки. 2.Додаткова вартість отримання міжнародного сертифіката становить 81% 3.49% додаткові витрати при експорті деталей сушарки. 4. 73% не можуть вийти на міжнародний ринок. 5. 18% загроза зупинення виробництва | 1. Наявність сертифікатів виробництва обладнання. 2.Міжнародна сертифікація. Держава зацікавлена в розвитку ідей, створених на базі державних інституцій. 3. Тарифи країни на експорт \ Імпортна продукція. 4. Пандемія коронавірусу (закриті кордони). 5. Війна на сході України. | 1.78% 2.79% 3.84% 4.98% 5.84% | 1.22% Держава зацікавлена у створенні інноваційного обладнання. 2.76% Можливість відкриття зовнішніх ринків 3.53% Ймовірність отримання додаткових коштів при імпорті готового обладнання 4.54% менша конкуренція на вітчизняному ринку. 5.12% можливість переорієнт |

| | | | | | | |
|-----------|---|---|---|--|---|---|
| | | | | | | увати продукцію . |
| Економіка | <p>1.Встановлення цін у доларах США.</p> <p>2. Інфляція в країні.</p> <p>3.Вартість комплектуючих і сировини досить висока.</p> <p>4.Придбання комплектуючих для обладнання у вітчизняних виробників.</p> | <p>1.91%</p> <p>2.78%</p> <p>3.83%</p> <p>4.72%</p> | <p>1.15%</p> <p>Внутрішні споживачі вимагатимуть, щоб ціни були номіновані у їхній власній валюті.</p> <p>2.89%</p> <p>зниження купівельної спроможності грошей.</p> <p>3.68%</p> <p>Держава не зможе надати фінансування стартапам, Тому для його розвитку необхідно шукати фінансування.</p> <p>4.22%</p> <p>відсутність деталей до інноваційної продукції на вітчизняних ринках.</p> | <p>1. Ціна в доларах США.</p> <p>2. Внутрішня інфляція</p> <p>3. Вища вартість комплектуючих і сировини.</p> <p>4. Жорстка ринкова конкуренція.</p> <p>5. Закупівля комплектуючих і комплектуючих обладнання вітчизняних виробників.</p> | <p>1.87%</p> <p>2. 80%</p> <p>3.85%</p> <p>4.50%</p> <p>5.75%</p> | <p>1.80%</p> <p>Убезпечити виробника від падіння гривні.</p> <p>2.50%</p> <p>Зменшіть витрати, не підвищуючи заробітну плату робітника м, і підвищите ціни на обладнання за ціною в доларах США.</p> <p>3.20%</p> <p>Виробники комплектуючих зацікавлені пропонувати знижки на виготовлення інноваційних пристроїв</p> <p>4.65%</p> <p>можливість переходу споживачів від конкурентів.</p> <p>5. 80%</p> <p>Вітчизняні комплектуючі</p> |

| | | | | | | |
|------------|--|--|--|--|--|---|
| | | | | | | дешевші за імпортні. |
| Географія | <p>1. Під час роботи обладнання будуть утворюватися небезпечні відходи, які негативно впливатимуть на навколишнє середовище.</p> <p>2. При розробці та випробуванні обладнання в Києві заробітна плата залучених працівників вища, ніж в інших регіонах.</p> <p>3. При залученні працівників з сусідніх міст, сіл, СМТ необхідний трансфер.</p> <p>4. У столиці багато постачальників сировини.</p> <p>5. У столиці обладнання можна постачати на найбільші заводи без необхідності тривалих і дорогих поставок.</p> | <p>1.70%</p> <p>2.60%</p> <p>3.50%</p> <p>4.80%</p> <p>5.75%</p> | <p>1.80%</p> <p>Необхідність очищати відходи, утилізувати їх – це тягне додаткові витрати.</p> <p>2.80%</p> <p>Збільшує собівартість апарату.</p> <p>3.75%</p> <p>додаткові витрати на трансфер працівників</p> <p>4.50%</p> <p>сировина дорожча ніж в інших регіонах.</p> <p>5.40% більша конкуренція серед виробників.</p> | <p>1. Під час роботи обладнання будуть утворюватися небезпечні відходи, які негативно впливатимуть на навколишнє середовище.</p> <p>2. При розробці та випробуванні обладнання в Києві заробітна плата залучених працівників вища, ніж в інших регіонах.</p> <p>3. При залученні працівників з сусідніх міст, сіл, СМТ необхідний трансфер.</p> <p>4. У столиці багато постачальників сировини.</p> <p>5. У столиці обладнання можна постачати на найбільші заводи без необхідності тривалих і дорогих поставок.</p> | <p>1.70%</p> <p>2.60%</p> <p>3.50%</p> <p>4.80%</p> <p>5.75%</p> | <p>1.30%</p> <p>Можливість переробки відходів. Ви зможете знайти високоякісну сировину за короткий час.</p> <p>2.80% менші затрати на трансфер працівників.</p> <p>3.30% ЗП працівників менша ніж працівники в столиці.</p> <p>4.65% менші затрати на транспортування сировини.</p> <p>5.65% Зменшення собівартості за рахунок НЕ значних витрат на доставку.</p> |
| Демографія | <p>1. Відтік кадрів, все більше бажаючих</p> | <p>1.50%</p> <p>2.20%</p> <p>3.40%</p> <p>4.50%</p> | <p>1.50%</p> <p>Важко знайти кваліфікова</p> | <p>1. Відтік кадрів, все більше бажаючих</p> | <p>1.50%</p> <p>2.20%</p> <p>3.40%</p> <p>4.50%</p> | <p>1.10%</p> <p>Можливість оновлюват</p> |

| | | | | | | |
|----------|--|--|---|--|--|--|
| | <p>працювати за кордоном. 2. Студентів яких можна залучати 5-6 курсів навчання 3. Більшість молодих спеціалістів хочуть працювати в офісі. 4. Часто молоді спеціалісти не затримуються довго на робочих місцях.</p> | | <p>них фахівців з досвідом. 2.20% Студентам потрібен час щоб включитися в роботу. 3.40% Важко знайти молодих спеціалістів, які підходять для цієї роботи. 4. 50% «Летучка кадрів».</p> | <p>працювати за кордоном. 2. Студентів яких можна залучати 5-6 курсів навчання 3. Більшість молодих спеціалістів хочуть працювати в офісах. 4. Часто молоді спеціалісти не затримуються довго на робочих місцях.</p> | | <p>и кадри часто. 2.40% Можливо, знайти персонал серед студентів без досвіду. 3.20% Можливість зацікавити спеціалістів інновацією 4.15% Можливість часто змінювати працівників.</p> |
| Культура | <p>1. Для людей є більш привабливим працювати в офісі ніж виготовляти апарати. 2. Робітники іноді недбало ставляться до обладнання. 3. Необхідність автоматизації процесу. 4. Необхідність надавати вихідні на державні свята. 5. Необхідно забезпечити хорошу соціальну атмосферу в компанії.</p> | <p>1.50% 2.70% 3.30% 4.50% 5.50%</p> | <p>1.50% Складність залучення персоналу для роботи з обладнанням. 2.70% збільшення витрат на ремонт. 3.30% значні затрати на автоматизацію. 4.50% у вихідні процес роботи зупиняється збільшується час виготовлення продукції. 5.50% Потрібні додаткові</p> | <p>1. Для людей є більш привабливим працювати в офісі ніж виготовляти апарати. 2. Робітники іноді недбало ставляться до обладнання. 3. Необхідність автоматизації процесу. 4. Необхідність надавати вихідні на державні свята. 5. Необхідно забезпечити хорошу соціальну атмосферу в компанії.</p> | <p>1.10% 2.10% 3.80% 4.15% 5.70%</p> | <p>1.10% за рахунок додаткової плати залучити іноземних провідних спеціалістів. 2.10% Можливість стягнення певної суми компенсації за заподіяну шкоду. 3.80% Автоматизовані процеси зменшать кількість співробітників, тим самим</p> |

| | | | | | | |
|-----|--|---|--|--|---|--|
| | | | витрати на коригування соціальної атмосфери робочого місця | | | зменшуючи фактор людських помилок. 4.15% працівники які гарно відпочили, налаштовані на працю. 5.70% працівники, які задоволені роботодавцем прагнуть працювати краще. |
| НТП | <p>1. Деякі працівники потребують перепідготовки.</p> <p>2. Застосування інноваційних технологій.</p> <p>3. Застосування інноваційного обладнання.</p> <p>4. Брати участь у розробці інноваційних проєктів.</p> <p>5. Так як ВНЗ України йдуть «в ногу» з НТП, випускники будуть обізнані у нових технологіях.</p> | <p>1.70%</p> <p>2. 50%</p> <p>3.45%</p> <p>4.55%</p> <p>5.20%</p> | <p>1.70% Витрата часу і ресурсів на перекваліфікування працівників 2.50%</p> <p>Необхідні ресурси та кваліфіковані працівники для отримання достатньої інформації про нові технології. 3.45%</p> <p>Купівля або розробка нового обладнання вимагає великих грошей. 4.55%</p> <p>не всі працівники згодні на участь у</p> | <p>1. Деякі працівники потребують перепідготовки.</p> <p>2. Застосування інноваційних технологій.</p> <p>3. Застосування інноваційного обладнання.</p> <p>4. Брати участь у розробці інноваційних проєктів.</p> <p>5. Так як ВНЗ України йдуть «в ногу» з НТП, випускники будуть обізнані у нових технологіях.</p> | <p>1.70%</p> <p>2. 50%</p> <p>3.45%</p> <p>4.55%</p> <p>5.20%</p> | <p>1.50% Перекваліфіковані працівники принесуть нові можливості підприємству.</p> <p>2.70% інноваційні технології значно продуктивніші за старі.</p> <p>3.70% Інноваційне обладнання має кращі показники якості, тим самим посилюючи процеси та збільшуючи</p> |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | <p>проектах, хіба що за значну додаткову працю. 5.20% При підборі нових співробітників з кваліфікованими експертами виникає питання, як поводитися зі старими співробітниками.</p> | | | <p>и прибуток. 4.80% участь у інноваційних проектах дозволить слідкувати за всіма новинками у НТП. 5.70% Є достатньо кваліфікованих фахівців, готових продемонструвати чудову якість роботи.</p> |
|--|--|--|--|--|--|--|

Таблиця 7. Вплив у відсотках

| Фактор | Сутність/ймовірність настання | Загроза (%) | Можливість (%) | Вплив на цінність |
|-----------|-------------------------------|-------------|----------------|-------------------|
| Політика | 1.80% | 75 | 20 | 43 % загроза |
| | 2.80% | 80 | 75 | 4% загроза |
| | 3.85% | 50 | 50 | 0 |
| | 4.20% | 20 | 10 | 8.5% можливість |
| Економіка | 1.90% | 15 | 80 | 58,5% можливість |
| | 2.80% | 90 | 50 | 32% загроза |
| | 3.85% | 70 | 20 | 42,5% загроза |
| | 4.50% | 40 | 65 | 12.5% можливість |
| | 5.75% | 25 | 80 | 41.25% можливість |
| Географія | 1.70% | 80 | 30 | 35% загроза |
| | 2.60% | 80 | 80 | 0 |

| | | | | |
|------------|-------|----|----|-----------------------|
| | 3.50% | 75 | 30 | 22,5% загроза |
| | 4.80% | 50 | 65 | 12% МОЖЛИВІСТЬ |
| | 5.75% | 40 | 65 | 15% МОЖЛИВІСТЬ |
| Демографія | 1.50 | 50 | 10 | 20% загроза |
| | 2.20 | 20 | 40 | 4% МОЖЛИВІСТЬ |
| | 3.40 | 40 | 20 | 8% загроза |
| | 4.50 | 50 | 15 | 17,5 % загроза |
| Культура | 1.50 | 50 | 10 | 20% загроза |
| | 2.70 | 70 | 10 | 7% загроза |
| | 3.30 | 30 | 80 | 15% МОЖЛИВІСТЬ |
| | 4.50 | 50 | 15 | 17.5 % загроза |
| | 5.50 | 50 | 70 | 10% МОЖЛИВІСТЬ |
| НТП | 1.70 | 70 | 50 | 14% загроза |
| | 2.50 | 50 | 70 | 14% МОЖЛИВІСТЬ |
| | 3.45 | 45 | 70 | 11.25 % МОЖЛИВІСТЬ |
| | 4.55 | 55 | 80 | 13.25% МОЖЛИВІСТЬ |
| | 5.20 | 20 | 70 | 10% МОЖЛИВІСТЬ |

Аналізуючи зовнішнє середовище, виявлено, що відносна політична доступність сертифікатів (43%) є основним негативним фактором, тоді як пандемія коронавірусу (15%) приносить нові можливості; економічний фактор вартість комплектуючих(43.5%) – є основною загрозою стартапу, але ціна в доларах США (58,5%) надає певні можливості та забезпечує безпеку виробників; розташування стартапів у Києві має перевагу в доставці продукції (15%), але загроза криється у тому, обладнання утворюватиме небезпечні для району відходи (35%); загроза для населення – відтік працівників (20%), але це чудова можливість залучити студентів старших курсів (5%); Українська культура також становить загрозу, адже офісна

робота більш приваблива для людей (20%), але якщо автоматизувати процес, це буде головною культурною можливістю (15%), з точки зору культури; НТП потребує за собою перепідготовки працівників (14%)., це призведе до додаткових витрат, але величезна можливість – використання інновацій у виробництві (14%).

Зовнішнє бізнес-середовище підприємства визначає технічні та організаційні умови для цього підприємства. Це результат управлінських рішень. Метою аналізу внутрішнього середовища можна вважати виявлення сильних і слабких сторін компанії.

Виробники повинні мати внутрішній потенціал, щоб скористатися зовнішніми можливостями, тому важливо розуміти їхні слабкі сторони, які можуть посилити зовнішні загрози. Постачальники, виробники, конкуренти, посередники та споживачі – усе це чинники зовнішнього бізнес-середовища.

У таблиці 8 представлений аналіз переваг і недоліків зовнішнього середовища на цінність стартап-ідеї.

Таблиця 8. Вплив зовнішнього оперативного середовища на цінність стартап ідеї

| Фактор | Переваги | | | Недоліки | | |
|--------------|--|---|---|--|---|---|
| | Сутність | Ймовірність настання | Вплив на цінність | Сутність | Ймовірність настання | Вплив на цінність |
| Постачальник | 1. Великий вибір постачальників сировини. 2. Одноразовий внесок в обладнання та можливість його подальшого використання в інших процесах. 3. Зросла ціна на сировину. 4. Взаємозамінність і стандартизація біотехнологій, хімічної та | 1.90% 2.75% 3.50% 4.70% 5.40% | 1.80% можливість обрати постачальника з найменшими цінами. 2.70% зменшення витрат на нові одиниці обладнання. 3.10% збільшення | 1. Великий вибір постачальників сировини. 2. Одноразовий внесок в обладнання та можливість його подальшого використання в інших процесах. | 1.90% 2.75% 3.50% 4.70% 5.40% | 1.20% недовіра до постачальників, з якими не мали справу. 2.50% загроза застаріння обладнання. 3.80% збільшен |

| | | | | | | |
|-------------|---|---|---|--|--|---|
| | харчової промисловості. 5. Не вистачає компаній, які задовольняють корпоративні потреби. | | ціни на продукцію. 4.60% можливість закупки деталей з хімічно-го чи харчового виробництва. 5. 40% компанії надаватимуть якісні послуги, щоб не втратити клієнта. | 3. Зросла ціна на сировину. 4. Взаємозамінність і стандартизація біотехнологій, хімічної та харчової промисловості. 5. Не вистачає компаній, які задовольняють корпоративні потреби. | | ня собівартості обладнання. 4.15% Можливість придбання сильнозношених деталей. 5.40% значні ціни на послуги компаній. |
| Посередники | 1. Відсутність бази посередників. 2. Використання старих посередників. 3. Залучення посередників при експорті 4. Оптовою реалізацією товару займаються посередники. 5. Посередник має налагоджену мережу контактів. | 1.40% 2.65% 3.70% 4. 80% 5. 90% | 1.50% можливість знайти посередників, які працюватимуть з інноваційною продукцією. 2.60% старі посередники гарно знайомі з ринком. 3. 50% менший обсяг капіталовкладень при експорті (не потрібно створювати новий закордо- | 1. Відсутність бази посередників. 2. Використання старих посередників. 3. Залучення посередників при експорті 4. Оптовою реалізацією товару займаються посередники. 5. Недостатня увага посередника до | 1.40% 2.65% 3.70% 4. 80% 5.40% | 1.30% необхідно затратити час, щоб знайти посередників. 2. 30% старі посередники можуть відмовитися працювати з інноваційною продукцією. 3.65% ізолюваність |

| | | | | | | |
|------------|--|--|---|---|--|--|
| | | | <p>ний торговий апарат). 4.75% прода-вещь менше ризикує. 5.65% можливість швидко знайти споживача продукції.</p> | <p>роботи з товарами експортера.</p> | | <p>виробника від ринку. 4. 80% залежність експортера від посередника. 5.80% можливість пошкодження продукції.</p> |
| Конкуренти | <p>1. Перехід від конкурентів через інтерес до інновацій та вдосконалених процесів. 2. Інші компанії купують права на інновації. 3. Кількість на ринку невелика. 4. Самозадоволення серед компаній-конкурентів. 5. Покладайтеся на інноваційні продукти, лідируючи на ринку серед конкурентів. Можливість придбання сильно зношених деталей.</p> | <p>1.50% 2.80% 3.65% 4.50% 5.60%</p> | <p>1.70% Збільшення кількості споживачів продукту і результат збільшення прибутку. 2.80% Отримання прибутку. 3.70% Споживачі зацікавлені в інноваційних продуктах. 4.40% можливість витримати конкуренцію. 5. 60% збільшення прибутку за рахунок переходу</p> | <p>1. Перехід від конкурентів через інтерес до інновацій та посилення процесу. 2. Придбати інноваційні права інших компаній. 3. Кількість на ринку невелика. 4. Можливість появи нових конкурентів 5. Уразливість до конкурентного тиску.</p> | <p>1.50% 2.80% 3.65% 4.50% 5.60%</p> | <p>1. Необхідно задовольнити потреби нових клієнтів і збільшити виробництво, що вимагає великих витрат 2.70% зменшення ринку збуту. 3.35% недовіра до нової продукції. 4.40% змен-</p> |

| | | | | | | |
|-----------|--|--|--|---|---|---|
| | | | споживачів від конкурентів . | | | шитися кількість споживачів. 5.30% Нести додаткові витрати ринкової конкуренції. |
| Споживачі | 1.Завжди є підприємства, які зацікавлені в продукції. 2.Можливість розширення закордонного ринку. 3.Вузький ринок збуту. 4.Хороша репутація у споживачів. 5. Зростання сили торгу в покупців і постачальників. | 1.80% 2.85% 3.65% 4.85% 5. 50% | 1.80% є можли-вість продати обладнання. 2.85% можливо знайти закордонних споживачів,які платитимуть в доларах США. 3.50% не значні витрати на рекламу. 4.70% споживачі не зацікавлені у переході до конкурентів . 5.45% можли-вість збільшити ціну апарату за рахунок торгу. | 1. Внутрішній ринок занадто вузький. 2. Можливість розширення зовнішніх ринків. 3. Не всі споживачі зацікавлені в придбанні інноваційно ї продукції. 4. Змінити потреби та смаки споживачів. 5. Підвищення переговорної спроможності покупців і постачальників. | 1.65% 2.95% 3.50% 4.60% 5.50% | 1.60% складно знайти споживача в Україні. 2.85% додаткові витрати на отримання міжнародних сертифікатів. 3.40% Реклама необхідна для залучення інтересу споживачів, що вимагає додаткових витрат. 4.50% необхідність модерні- |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | зувати апарат, що тягне значні витрати. 5. 45% Можливість знижувати ціни на обладнання шляхом торгу |
|--|--|--|--|--|--|--|

Таблиця 9. Вплив зовнішнього – оперативного середовища у відсотках

| Фактор | Сутність/ймовірність настання | Переваги Вплив(%) | Недоліки Вплив(%) | Вплив |
|--------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| Постачальник | 1.90% | 80 | 20 | 54% перевага |
| | 2.75% | 70 | 50 | 15% перевага |
| | 3.50% | 10 | 80 | 35% недолік |
| | 4.70% | 60 | 15 | 31,5% перевага |
| | 5.40% | 40 | 40 | 0 |
| Посередник | 1.40% | 50 | 30 | 8% перевага |
| | 2.65% | 60 | 30 | 19,5% перевага |
| | 3.70% | 50 | 65 | 10,5% недолік |
| | 4.80% | 75 | 80 | 4% недолік |
| | 5.90% | 65 | 80 | 13,5% недолік |
| Конкуренти | 1.50% | 70 | 30 | 20% перевага |
| | 2.80% | 80 | 70 | 8% перевага |
| | 3.65% | 70 | 35 | 12,75%перевага |
| | 4.50% | 40 | 40 | 0 |
| | 5.60% | 60 | 30 | 18% перевага |
| Споживач | 1.80% | 80 | 60 | 16% перевага |
| | 2.85% | 85 | 85 | 0 |

| | | | | |
|--|-------|----|----|---------------|
| | 3.65% | 50 | 40 | 6,5% перевага |
| | 4.85% | 70 | 50 | 17% перевага |
| | 5.50% | 45 | 45 | 0 |

Після аналізу зовнішнього і зовнішнього оперативного середовища, було визначаються загрози та можливості, переваги та недоліки того чи іншого фактора. Визначте слабкі та сильні сторони компанії. Цей аналіз показує, в якому напрямку вам потрібно успішно керувати та розвивати свою компанію. Для забезпечення нормальної роботи підприємства необхідно спиратися на позитивні фактори та мінімізувати вплив негативних факторів.

Тому для постачальників головною перевагою є широкий вибір (54%), а основним недоліком є підвищення ціни на сировину або деталі (34%); посередники: використання старих посередників є перевагою (19,5%), і вони мають налагоджену мережу споживачів (13,5%) є недоліком; трансформація споживачів від конкурентів (20%) є перевагою, а їх невелика кількість (0) не впливає на підприємництво; вони повинні мати хорошу репутацію серед споживачів (17%)—це перевага і не впливає на зростання товарообігу та розширення зовнішніх ринків

9.4. Канали просування стартап-проєкту

Важливою умовою просування стартапів є кілька каналів. Завдання розробника використовувати всі можливі канали збуту, що буде коштувати грошей і можливостей.

Для цього стартапу основними ефективними та відносно не дорогими каналами будуть:

- Контекстна реклама. Так як на апарати для виробництва таблеток є певний попит у пошукових системах, цей метод є досить ефективним для нас;
- Просування в соціальних мережах. Необхідно створити цікаву та грамотну офіційну сторінку. Також необхідне придбання рекламних публікацій на різних тематичних сторінках. Слід просувати оголошення, щоб споживач відразу переходив на наш сайт.
- Канал на YouTube – записувати короткі і цікаві відео про те, як працює та з чого складається апарат. Це зацікавить клієнтів[22,23].

- Крауд-маркетинг. Необхідно поширювати інформацію про продукт через рекомендації на інших веб-сайтах. Наприклад, користувачі на конкретних форумах зацікавляться новинками сушарок, а співробітники інтернет-магазину нададуть вичерпні консультації і направлять їх на потрібний сайт.
- Блог на сайті. Після створення на сайті розділу блогу ми розмістимо навчальні матеріали щодо використання обладнання та варіантів його використання. Це приверне увагу споживачів.
- Публікація в цільовому ЗМІ. Якщо ми побачимо ефект від такого підходу, публікації будуть регулярними (у фахових газетах і журналах, орієнтованих на цільову аудиторію).
- Участь в івентах. Ми привернемо увагу ЗМІ та першу партію замовників цікавими доповідями на тематичних виставках чи конференціях. Якщо зацікавити всіх своїм виступом, кожен може взяти участь безкоштовно.
- Платформи і каталоги. Створимо сторінку з описом свого продукту попросимо користувачів оцінити його та надати пропозиції щодо покращення. Це підвищить довіру споживачів.

Всі вище перелічені методи будуть використані, як канали розповсюдження стартапу.

9.5. Визначення потенційного споживача підприємства

9.5.1. Характеристика потенційного споживача

У таблиці 9. наведені характеристики потенційного споживача продукції стартапу (сушарки псевдозрідженим шаром).

Таблиця 10. Характеристика потенційного споживача.

Отже, з огляду на те, що в Україні більшість підприємств по виготовленню таблеток є приватними, потенційний споживач переважно повинен бути представником приватного підприємства, хоча ми будемо радо співпрацювати і з державними виробництвами.

КВЕД секція С – переробна промисловість, клас 21.2 – **Виробництво фармацевтичних препаратів і матеріалів.**

| Критерій оцінки потенційного споживача | Значення |
|--|---|
| Форма власності | Державне, приватне. |
| КВЕД | 10.37 |
| За потужністю | Малі, середні. |
| За масштабами виробництва | Серійні. |
| За рівнем спеціалізації | Багатопрофільне. |
| За ресурсами, що споживаються | Капіталомісткі |
| За чисельністю персоналу | Малі, середні. |
| За сферою діяльності | Виробничі. |
| За приналежністю капіталу і контролю | Національні, іноземні. |
| За географічним розташуванням | Територія України. |
| За наявністю вільних <u>ОбЗ</u> | Підприємство має вільні <u>ОбЗ</u> у вигляді сировини |

Дана сушарка підходить як і для малого, так і середнього за потужністю підприємства. Підприємства з великою потужністю потребують апарат більшого розміру. Доцільно використовувати сушарку серійного виробництва.

Ми радо співпрацюватимемо як з національними, так і з іноземними інвесторами та замовниками. Також передбачений трансфер обладнання по території України, щоб транспортувати обладнання за кордон необхідні додаткові кошти.

9.5.2. Анкета для споживачів

Анкета – це інструмент для збору даних, мета якого - підтвердження певної інформації. Анкетування прийнято застосовувати для того, щоб забезпечити швидкість отримання результатів, багатофакторності і ефективного використання коштів.

Метою проведення анкетування є:

- Визначити споживчі переваги і фактори, які впливають на прийняття рішень.
- Виявити ставлення споживача до модернізованої продукції.

Нижче наведений приклад анкети для споживачів апаратів для виробництва таблеток.

Анкета

1. Чи готові Ви придбати модернізоване обладнання з покращеними показниками якості?

- **Так**
- **Ні**

Якщо потенційний замовник відповість **Так** – необхідно: детальніше дізнатися з якою метою йому потрібне обладнання, за якою ціною готовий придбати його. Також необхідно детальніше розповісти про апарат, можливо відповісти на питання які цікавлять споживача.

У разі відповіді **Ні** – необхідно дізнатися по якій причині споживач не потребує інноваційного обладнання, спробувати зацікавити його для подальшої співпраці.

2. Чи готові Ви співпрацювати з виробником, який нещодавно вийшов на ринок або ж надає перевагу лідерам галузі?

- **Готовий(-а)**
- **Не готовий (-а)**

Готовий - пропонуємо споживачу свою продукцію, залучаємо до співпраці.

Не готовий – намагаємося донести до споживача всі переваги роботи з «молодими» виробниками, доводимо йому що інноваційне обладнання має відмінні показники якості, які дозволять оптимізувати виробництво.

3. Виділіть фактори, які мають ключове значення для вашого підприємства:

- **Ціна**
- **Інноваційність продукту**
- **Досвідченість виробника**
- **Ваш варіант** _____

Ціна – необхідно запропонувати вигідну ціну споживачу;

Інноваційність продукту – надати повну інформацію по апарату, представити які саме переваги несе модернізація сушарки.

Досвідченість виробника – ознайомити споживача з результатами досліджень, які доведуть що «молодий» виробник має перспективну продукцію.

4. Чи бажаєте Ви бути лідером у своїй галузі використовуючи інноваційне обладнання?

- **Бажаю**
- **Не бажаю**

Бажаю – надати інформацію як саме наше обладнання допоможе стати лідером.

Не бажаю – провести дослідження, які доведуть ефективність застосування інноваційного обладнання.

5. *Чому Вас цікавить саме наше інноваційне обладнання?*

Відкрите питання, яке передбачає розгорнуту відповідь.

6. *За якою ціною Ви готові придбати наше обладнання?*

- **До 10 000**
- **Більше 10000**
- **Ваш варіант _____**

Визначаємо мінімальну суму, яка може нас задовольнити, якщо споживач пропонує нам її або ж більшу, погоджуємось, якщо ж ціна нас не задовольняє – намагаємось підняти її шляхом реклами і переговорів з споживачем.

7. *Чи готові ви придбати 10 одиниць обладнання?*

- **Так**
- **Ні**

Так – пропонуємо знижку як оптовому покупцю.

Ні – ми готові продавати обладнання від 1 шт.

8. *Як на вашу думку збільшиться Ваша цінність, якщо Ви придбаєте наше обладнання?*

Відкрите питання, яке передбачає розгорнуту відповідь.

9. *Ви маєте намір укласти договір зараз чи на наступному тижні?*

Питання спрямування. По суті нам важливо щоб уклався договір якомога швидше, але не критично, якщо це станеться не зараз, а через тиждень.

10. *Чи готові Ви зараз придбати наше інноваційне обладнання?*

- **Так**
- **Ні**

Питання перевірки, дозволяє визначити наміри споживача, на скільки були правдиві попередні відповіді.

9.6. Формування рівноваги ціни

9.6.1. Визначення економічних складових стартап-проєкту

Таблиця 11. Економічні складові

| № п/п | Складова | Сума, грн |
|-------|---|-------------------|
| 1 | Сировина та матеріали | 50 000 |
| 2 | Вартість приміщення | 5000 |
| 3 | Нематеріальні активи | 10 000 |
| 4 | Інше | 25 000 |
| 5 | Амортизація | 17 800 |
| 6. | <u>Заробітня</u> плата персоналу (+22% нарахування) | 75000+16500=91500 |
| 7. | Разом собівартість | 199 300 |

Для виготовлення Сушарки нам необхідні наступні матеріали:

| Елемент | Ціна, грн | Кількість | Всього, грн |
|---------------------------|-----------|-----------|-------------|
| Корпус | 18 000 | 1 | 18 000 |
| Решітка | 6000 | 1 | 6000 |
| Камера продуктова | 12 000 | 1 | 12 000 |
| Опора | 5000 | 1 | 3000 |
| <u>Зажим важельний</u> | 2500 | 2 | 5000 |
| Сировина для випробування | 5000 | 1 | 5000 |

Приміщення в якому розробляється і випробовується цей апарат – лабораторія, яку надає КПІ ім. І. Сікорського. Вартість 1000 грн/місяць. Орієнтований час виготовлення апарату 5 місяців, отже вартість приміщення – 5000 грн.

Нематеріальні активи, до яких відноситься технічна документація сушарки – 10000 грн., для випробування апарату необхідно 10 000грн.

За попередньою оцінкою вартість ліквідації апарату сягає 1000 грн. Отже, амортизація складає 17 800 грн.

Для виготовлення апарату залучено 3 студентів, які зацікавлені у розробці інновацій, та вважають дану роботу підробітком. Тому заробітна плата кожного складає 5000 грн/місяць. Фонд оплати праці складає 91 500грн.

Собівартість розробки 1 апарату:

$$C = \text{Обз} + A = 199\,300 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{од}} = C/V = 199\,300/1 = 199\,300 \text{ грн.}$$

Запланована ринкова ціна (за конкурентним методом) апарату:

$$Ц = 310\,000 \text{ грн/од.}$$

Прибуток:

$$П = Ц - C = 310\,000 - 199\,300 = 110\,700 \text{ грн}$$

Рентабельність:

$$P = (П/C) * 100\% = (110\,700/199\,300) * 100\% = 55.5\%$$

9.6.2. Розрахунок ціни інноваційної пропозиції

Для визначення собівартості продукції ми повинні визначити всі витрати, які використовуються в процесі виробництва. Для виготовлення сушарки будуть витрачені кошти на придбання матеріалів і сировини, заробітну плату залучених працівників, оплату затраченої електроенергії, а також додаткові затрати, пов'язані з організацією виготовлення апарату. Собівартість 1 апарату складає 199 300 грн.

Необхідно визначити ціну інноваційного продукту. Здійснювати розрахунок будемо за допомогою чотирьох методів:

- Витратний;
- Параметричний;
- Конкурентний;
- Методом точки безбитковості.
- Агрегатний

9.6.2.1. Витратний метод

Результат Витратного методу заснований на ідеї розрахунку собівартості товару як основної складової ціни. Вартість обладнання, розрахована в товарній валюті, включає всі наявні витрати на виробництво і збут товару, і ці витрати несе підприємство. Проте все ще існують витрати, пов'язані з товарним виробництвом, але не пов'язані з витратами, оскільки вони фінансуються за рахунок прибутку, спеціальних фондів тощо. [1]

$$Ц = C + \%П = 199\,300 + 5\% = 209\,265 \text{ грн.}$$

9.6.2.2. Параметричний метод

Параметричний метод — це модель конкурентного ціноутворення. Якщо виробник розробляє продукт з певними техніко-економічними параметрами, які є кращими або гіршими за такі ж параметри у конкурентів, то для встановлення ціни можна вважати комплексний індекс конкурентоспроможності.

$C_{\text{нovoї моделі}} = C_{\text{базової моделі}} * (\text{балова оцінка нової моделі} / \text{балова оцінка базової моделі}) = 300\ 000 * (10/8.2) = 365853 \text{ грн.}$

Даний метод враховує вагомість якісних показників нової моделі і оцінку зазначених параметрів споживачами як базової так і нової моделі.

9.6.2.3. Метод точки безбитковості

Метод точки безбитковості ґрунтується на розрахунку загальної собівартості підприємства та його сукупного доходу, який отримують від реалізації різної кількості виробленої продукції. Цей підхід вимагає розгляду різних цінових варіантів і визначення їх впливу на продажі, необхідного для подолання точки безбитковості. [2]

$$C = (A + \text{Обз} * B) / B = (17800 + 181500 * 1) / 1 = 199\ 300 \text{ грн.}$$

9.6.2.4. Метод конкурентних цін

Метод конкурентних цін використовують підприємства, які виходять виключно з умов конкуренції і встановлюють ціну вищу чи нищу ніж конкуренти. Цей метод зазвичай використовується на ринках, де однорідні товари продаються на суто конкурентних умовах. Ціни є результатом спільних дій поінформованих покупців і продавців, у цьому випадку неможливо продати товар за вищою ціною, а встановлювати нижчу ціну нерозумно, оскільки товар можна продати на ринку. Оцінивши ринкові ціни на обладнання для виготовлення таблеток, а я вирішив встановити ціну в розмірі 310 000 грн. за один апарат.

9.6.2.5. Агрегатний метод

Агрегатний метод прийнято застосовувати до товарів, які складаються з певної окремих виробів або для товарів, які складаються з окремих вузлів, деталей.

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_c + C_H = 18000 + 6000 + 12000 + 5000 + 2500 + 10000 + 8000 + 50\ 000 = 115\ 000 \text{ грн}$$

$C_1=18\ 000$ грн – корпус з необхідними елементами.

$C_2=6000$ грн – Барботер.

$C_3=12000$ грн – Привід, вал, мішака

$C_4=5000$ грн – Коліно

$C_5=2500$ грн – Сійка.

$C_6=10000$ грн – технічна документація.

$C_c=8000$ грн – ціна складання

$C_n=50\ 000$ грн – нормативний прибуток

9.6.2.6. Найоптимальніший метод для стартап проєкту

Отже, після визначення цін вище зазначеними методами можна зробити висновки:

- Витратний метод є зручним, але використавши його можна помітити, що ціна значно відрізняється від ринкової.

- Параметричний метод характеризується значною долею суб'єктивізму. Відповідний метод не враховує попит на ринку і інші споживчі властивості.

- Метод точки безбитковості дуже точно визначає ціну на продукцію, але, говорячи про прибуток, цей метод є не вигідним.

- Конкурентний метод дає змогу визначити оптимальну ціну для ринку, але виробник більше орієнтується на поточні ціни, а не на витрату й попит. Виробник встановлює власні ціни, трохи більші або нижчі за ціни конкурентів.

- Агрегатний метод можливо застосовувати лише для виробів, які складаються з вузлів або елементів.

Визначивши ціну на сушарку, керувався методом конкурентних цін. При цьому методі ціна є трохи вищою за середню (порівняно з іншими методами ціноутворення), але забезпечує для нас гарні показники, а саме прибуток у розмірі 110 700 грн.

У таблиці 6.2.5.1 представлені результати формування рівноваги цін.

Таблиця 12. Результати формування рівноваги цін.

| Метод ціноутворення | Прогнозна ціна | Планований прибуток | Максимально допустима собівартість |
|----------------------------------|----------------|---------------------|------------------------------------|
| Витратний | 239 160 | 39 860 | 199 300 |
| <u>Параметричний</u> | 365 853 | 166 553 | 199 300 |
| Конкурентний | 310 000 | 110700 | 199 300 |
| На підставі точки беззбитковості | 199 300 | 0 | 199 300 |
| Агрегатний | 115 000 | 80 000 | 55 000 |
| Оптимальні величини | 310 000 | 110 700 | 199 300 |

9.7. Конкурентне середовище стартап проекту

Було здійснено маркетингові дослідження по продукції (сушарка псевдозрідженим шаром). Дослідження свідчать про існування значного попиту таблеток, відповідно апарати для його вилучення також користуються популярністю. Хімічні, харчові, біотехнологічні – всі ці підприємства потребують інноваційного обладнання, отже, і є потенційними споживачами сушарок.

Попит на дану продукцію є стабільним, так як і в промисловості потребують таблеток. Підприємства готові працювати з інноваційним обладнанням з відмінними показниками якості. Основними конкурентами звісно є вітчизняні виробники, вони мають чималий досвід, зважаючи на те, що продукція має відмінні показники і якість, а ціна в неї іноді нижча за ринкову. Для аналізу конкурентного середовища методом квадрату Бове було обрано наступні підприємства (табл.12.)[22,23]:

Таблиця 13. Квадрат Бове

| | |
|---|--|
| 1. STANCO GROUP | 2. FARMMASH 3. Фармацевтичні технології |
| 1. <i>TECH CORP</i> 2. Кьютек Інжиніринг | 1. ФАРММАШ 2. ГРАНУМ |

| | |
|-----------------------------------|--|
| 3. FOOD-PROCESSING INSTALATION | 3. ПрАт Медтехніка 4. Промфарм 5. ЕКОФАРМ 6. Чп АгроСтрой |
|-----------------------------------|--|

За методом квадрату Бове наш стартап-проект (інженерна розробка СУШАРКИ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО СТАНУ) можна віднести до зони «Готові до атаки», тому що завдяки модернізації обладнання, покращення його певних показників, дана розробка може конкурувати з лідерами ринку.

У таблиці 13 наведені найбільш небезпечні конкуренти стартап-проекту.

Таблиця 14. Основні конкуренти стартап-проекту.

| Напрямок конкуренції | Назва конкурента | Контакти конкурента |
|--|--|---|
| За географічним розташування виробництва | 1. FARMMASH 2. ФАРММАШ 3. ГРАНУМ | 1.Київська обл., 2.Київська область 3.Чернігівська область |
| За географією ринка збуту | 1.ПрАт Медтехніка 2. Промфарм 3. ЕКОФАРМ | 1.Одеська область. 2.Запорізька область 3.Волинська область |
| За категорією споживачів | 1. STANCO GROUP 2. ГРАНУМ 3.Чп АгроСтрой | 1.Україна, м. Харків 2.м.Чернігв 3. Харківська область |
| За продуктом | 1. Кьютек Інжиніринг 2.FOOD-PROCESSING INSTALATION | 1.Запорізька обл., 2.Харківська область, |
| За властивостями продукту | 1. ГРАНУМ 2. ЕКОФАРМ | 1. Чернігівська область 2. Волинська область |

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| За ціною продукту | 1.FARMMASH 2. FOOD-PROCESSING INSTALATION | 1.Київська обл., 2. Харківська область, |
| За технологією виробництва | 1. <i>TECH CORP</i> 2. Чп АгроСтрой | 1. м. Київ 2. Харківська область |

За географічним розташування «FARMMASH» є конкурентом №1.

По-перше, воно також знаходиться в Київській області, а по-друге, підприємство має широкий спектр послуг і цінується споживачами. Компанія має багато постійних клієнтів у Києві та області, яка є основним ринком збуту нашої продукції.

За географією ринку збуту виробниче-комерційне підприємство ПрАТ «Медтехніка» може скласти конкуренцію. Оскільки наша стартап-компанія орієнтована не тільки на вітчизняних споживачів, а й на іноземних споживачів, ми повинні враховувати спосіб транспортування обладнання. Вище зазначене підприємство виграє від морських портів Одеси та області, що значно збільшує можливість відносно дешевого транспортування обладнання. Отже, чим нижча вартість транспортування, тим нижча собівартість виробництва.

За категорією споживача основним конкурентом вважається «STANCO GROUP». Компанія заснована в 2003 р. Займається виробництвом, монтажем, обслуговуванням та модернізацією обладнання для сушіння вологої та сухої таблетмас.

За продуктом саме «Кьютек Інжиніринг» може скласти нам основну може скласти нам основну конкуренцію, тому що ця компанія з 2001 року спеціалізується на механізації процесів та вдосконаленні виробничих ліній. За ці роки компанія виготовила та запустила у виробництво ряд обладнання з хорошими відгуками клієнтів.[22,23].

За приватне підприємство «ГРАНУМ», яке знаходиться в Чернівецькій області, може стати гідним конкурентом саме за зазначеним критерієм. Якісна продукція, найновітніші технології, які постійно розвиваються – все це говорить, що властивості продукту будуть конкурувати з властивостями нашої сушарки.

За ціною продукту основним конкурентом нашого стартапу є підприємство «FARMMASH». Так як це широко спеціалізоване виробництво (механічна обробка металевих виробів, виробництво обладнання загального призначення, виробництво обладнання спеціального призначення), воно має широке коло споживачів. Підприємство надає довгострокові послуги та налагодило добрі відносини з постачальниками сировини та обладнання. Ціна обладнання нижча за ринкову.

За технологією виробництва основним нашим конкурентом може стати «*TECH CORP*». Компанія представляє комплекс послуг – від проектування до здачі об'єкта в експлуатацію виробництва, а її інженери та техніки також активно працюють над удосконаленням та модернізацією обладнання. Тому технологія їх виробництва може конкурувати з нашим стартап проектом.

9.8. Ключові фактори успіху стартап-проекту. Метод Шонфільда

9.9. успіху стартап-проекту. Метод Шонфільда

Ключовим фактором успіху є перелік конкретних факторів у певній галузі, що дає їй перевагу над іншими галузями та перевагу однієї компанії в певній галузі над іншою.

Ці фактори не можна вважати постійними, оскільки вони будуть змінюватися відповідно до характеристик конкретних галузей і сегментів ринку. Які послуги надаються також залежить від часу та етапу життєвого циклу компанії.

Щоб більш наочно оцінити технічний рівень сушарки і його аналогів, а також для більшої об'єктивності, порівняємо апарати за допомогою методу Шонфільда.

Для порівняння оберемо наступних виробників-конкурентів:

A - STANCO GROUP

B - *TECH CORP*

C - FARMMASH

D - ГРАНУМ

E - Кьютек Інжиніринг

F - наш стартап-проект (сушарка)

Таблиця 15. Метод Шонфільда

| Характеристика | Коефіцієнт вагомості | Конкурент/оцінка | | | | | |
|--|----------------------|------------------|---|---|---|---|---|
| | | A | B | C | D | E | F |
| Ціна, грн/од. (Ц) | 0,123 | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 5 |
| Термін експлуатації, років. (Т) | 0,137 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Продуктивність, т/м ² (П) | 0,147 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Обсяг збуту, од. (Оз) | 0,103 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 |
| Термін безперервної роботи, годин (ТР) | 0,088 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 4 |
| Номінальний об'єм апарату, м ³ (НО) | 0,103 | 2 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 |
| Тривалість процесу, с. (ТП) | 0,118 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| Габаритні розміри апарату, мм. (ГР) | 0,069 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 4 |
| Споживання електроенергії, кВт год. (СЕ) | 0,049 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| Несуча спроможність апарату, кН. (НС) | 0,063 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 4 |

| | A | B | C | D | E | F |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ц | 0,615 | 0,492 | 0,492 | 0,369 | 0,492 | 0,615 |
| Т | 0,685 | 0,548 | 0,548 | 0,685 | 0,685 | 0,685 |
| П | 0,735 | 0,735 | 0,735 | 0,735 | 0,735 | 0,735 |
| Оз | 0,412 | 0,309 | 0,309 | 0,412 | 0,309 | 0,412 |
| ТР | 0,264 | 0,264 | 0,176 | 0,176 | 0,352 | 0,352 |
| НО | 0,206 | 0,309 | 0,515 | 0,309 | 0,412 | 0,412 |
| ТП | 0,59 | 0,354 | 0,354 | 0,472 | 0,472 | 0,59 |
| ГР | 0,138 | 0,069 | 0,138 | 0,049 | 0,138 | 0,276 |
| СЕ | 0,049 | 0,049 | 0,098 | 0,098 | 0,098 | 0,147 |
| НС | 0,126 | 0,063 | 0,063 | 0,189 | 0,126 | 0,252 |

Рис. 20 Оцінка з урахувань коефіцієнта вагомості

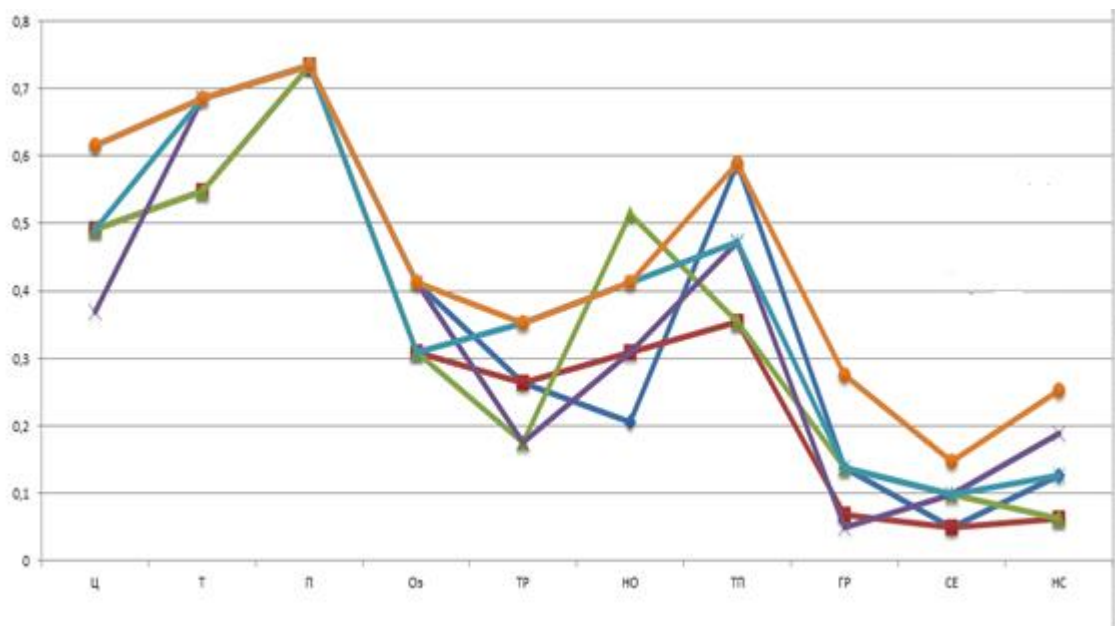


Рис. 21 Метод Шонфільда (візуалізація)

Тому ключовими факторами для нашого успішного запуску є вантажопідйомність обладнання, економічність використання електроенергії та загальний розмір самого обладнання. З діаграми Шонфільда можна зробити висновок, що цей стартап має хороші конкурентні позиції. Він лідирує в трьох останніх факторах, відносно інших стартап знаходиться на такому ж рівні, як і той чи інший конкурент (ціна, тривалість процесу – «STANCO GROUP», продуктивність – всі конкуренти на одному рівні, термін безперервної роботи – «Кьютек Інжиніринг»), лише по фактору «номінальний об'єм», «FARMMASH» випередило нашу інновацію. Відповідно до діаграми аналізу методу Шонфілда можна зробити висновок, що сучасне обладнання, представлене в стартовому проекті, буде жорстко конкурувати з лідером ринку.

9.10. Просування цінності стартап-проекту на ринок

У сучасному світі маркетинг вимагає більше, ніж просто виготовлення високоякісної продукції вищої якості, визначення привабливої ціни продукту та надання можливості потенційним споживачам використовувати його. Виробники також повинні спілкуватися зі споживачами. Системи маркетингових комунікацій відомі як різноманітні види діяльності та технології з конкретними завданнями та цілями, тобто вони повинні формувати відносини з цільовою аудиторією. В таблиці 16 наведені методи просування стартап-проекту на ринок, їх основні недоліки та переваги

Таблиця 16. Методи просування стартап-проекту на ринок

| Метод | Об'єкт просування | Мета просування | Засіб просування | Переваги | Недоліки |
|------------|---|---|---|--|---|
| Пропаганда | Ідея інноваційного обладнання . (Ідея модернізації сушкарки для виробництва таблеток) | Організувати громадську думку, яка сприяє успішному переконанню споживачів у тому, що даний продукт націлений на вирішення їх проблем, підвищення ефективності їх виробництв. | 1.Консультавання споживачів. 2.Проведення презентацій 3. Електронні засоби (статті на сайті, блоги, просування по електронній пошті). | 1. Зміцнити партнерські відносини зі споживачами 2. Ознайомлення споживачів з продуктом. 3. Мати можливість звітувати про всі події, що відбулися у виробництві, орієнтуючись на потрібну аудиторію 4. Розширити аудиторію. | 1. Немає гарантії позитивної оцінки пристрою. 2.Нерегулярна та різноманітна інформація 3. Немає гарантії, що продукт сподобається всім. У кожного споживача є свої погляди та смаки. 4. Не всі споживачі позитивно ставляться до публічності, і не можна на 100% |

| | | | | | |
|--------------------|----------------------------|---|---|---|--|
| | | | | | гарантувати, що споживачі будуть зацікавлені в інноваціях. |
| Реклама | Цінність апарату (сушарки) | Пробудження інтересу до цінності сушарки Повідомлення про його особливості і переваги. Створити і підтримувати високу популярність модернізованої сушарки | 1. Плакати. Вивіски. Рекламні щити. Відеоекрани. 2. Каталоги Брошури 3. Production власне фото та відео виробництва | 1. Інформувати споживачів про нові продукти 2. Наочно демонструє переваги відмежування продукту від аналогів, представлені на ринку. 3. Стимулюйте цікавість і спонукайте споживачів дізнатися більше про продукт | 1. Потрібен достатній бюджет 2. Додаткові витрати на створення та розповсюдження каталогів та брошур 3. Дозвіл на зйомку в процесі виробництва необхідний. |
| Стимулювання збуту | | Залучати споживачів до створення стартап-проектів. Отримати інформацію про конкретні потреби споживачів, щоб забезпечити себе потенційним і споживачами | 1. Продаж товарів в кредит 2. Вручення подарунків споживачу (безкоштовна установка апарату, безкоштовна консультація по технічних питаннях, безкоштовне усунення неполадок протягом року). | 1. Здатні надавати кредит на власних умовах 2. Можливості стимулювання споживачів до придбання обладнання та встановлення дружніх відносин зі споживачами | 1. Довгий період отримання коштів 2. Додаткові витрати і як наслідок збільшення собівартості інноваційного обладнання. |

| | | | | | |
|--------------------|--|--|---|--|---|
| Особистий продаж | Певна доля у прибутку стартап-проекту. | Залучати споживачів до фінансування стартап-проектів | <ol style="list-style-type: none"> 1. Особисто вивчайте та обговорюйте потреби споживачів. 2. Приймати та розуміти клієнтів як особистість. 3. Заздалегідь досліджуйте та аналізуйте клієнтів і надайте те, що вам потрібно. 4. Особисто заощаджуйте, отримайте якісні послуги та знижки на установку обладнання. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Безпосередній контакт між продавцем і покупцем. Вміти враховувати особистісні особливості клієнтів. 2. Існування двостороннього зв'язку. 3. Здатність встановлювати довгострокові відносини між покупцями та продавцями. 4. Індивідуальний підхід до кожного споживача | <ol style="list-style-type: none"> 1. Охоплення аудиторії невелике. 2. Продавець повинен мати здатність переконувати та обґрунтовано реагувати на заперечення. 3. Витрачайте багато часу на дослідження потенційних клієнтів. 4. «Економна» пропозиція приносить виробнику додаткові витрати. |
| Інтернет-маркетинг | Ідея стартапу. Цінність сушарки. | Залучайте потенційних споживачів інноваційними ідеями. Повідомляйте споживачам переваги обладнання та інформуйте їх про відмінні показники якості. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Соціальні мережі. 2. Корпоративні сайти. 3. Блоги з цільовою аудиторією. 4. Пошукові системи | <ol style="list-style-type: none"> 1. Можливість аналізувати реакцію покупців на певні пропозиції та швидко коригувати рекламу на основі аналізу. 2. Здатний швидше реагувати на зміну ринкових умов | <ol style="list-style-type: none"> 1. Хаотичність 2. Веб-сайт переповнений інформацією, що ускладнює залучення та утримання клієнтів. 3. Платіжна система, якій довіряють багато споживачів. 4. Відсутність можливості «помацати» продукти. |

| | | | | | |
|-----------------|--|---|--|--|---|
| | | | | 3. Можливість швидкої зміни обсягу, ціни та опису товару 4. Заощадити витрати на поширення інформації | |
| Бренд-маркетинг | Цінність сушарки. | Закласти основу для побудови довгострокових відносин споживачів з виробниками | 1.Визначення так званої місії бренду (визначити, які позитивні якості мають відкlastися в свідомості споживача). 2.Візуалізація бренду (знайти ефективний образ, який найбільше відображає потреби клінта). | 1. Чудовий бренд може зробити продукт більш незабутнім. 2. Встановіть міцні зв'язки для клієнтів. | 1. Чудовий бренд може зробити продукт більш незабутнім. 2. Встановіть міцні зв'язки для клієнтів. |
| Метод | Об'єкт просування | Мета просування | Засіб просування | Переваги | Недоліки |
| Пропаганда | Ідея інноваційного обладнання . (Ідея модернізації сушарки для виробництва таблеток) | Організувати громадську думку, яка сприяє успішному переконанню споживачів у тому, що даний продукт націлений на вирішення їх | 1.Консультування споживачів. 2.Проведення презентацій 3.Електронні засоби (статті на сайтах, блоги, email-пропаганда). | 1.Зміцнення партнерських стосунків зі споживачем 2.Дозволяє ознайомити споживача з продуктом. 3.Дає можливість висвітлювати всі події, які відбулися на виробництві, | 1. Не гарантує створення позитивної думки про апарат. 2.Нерегулярність, разовість інформації 3.Не гарантує, що продукт сподобається |

| | | | | | |
|--------------------|----------------------------|---|---|---|--|
| | | проблем, підвищення ефективності їх виробництв. | | направлена на потрібну аудиторію 4. Розширення аудиторії. | всім. Кожен споживач має власну думку і смак. 3. Не всі споживачі позитивно відносяться до пропаганди, не гарантується на 100% що споживач зацікавиться інновацією. |
| Реклама | Цінність апарату (сушарки) | Пробудження інтересу до цінності сушарки Повідомлення про його особливості і переваги. Створити і підтримувати високу популярність модернізованої сушарки | 1. Плакати. Вивіски. Рекламні щити. Відеоекрани. 2. Каталоги Брошури 3. Production власне фото та відео виробництва | 1. Інформує споживача про новий продукт 2. Ясно показує переваги, що відрізняють даний товар від аналогів, пропонує ринком. 3. Стимулює цікавість, мотивує споживача дізнатися про продукт більше | 1. Необхідний достатній бюджет 2. Додаткові затрати на створення та розповсюдження каталогів і брошур. 3. Необхідний дозвіл на зйомку процесу виробництва. |
| Стимулювання збуту | | Долучити споживача до участі у створенні стартап-проекту. Отримати інформацію про конкретні потреби | 1. Продаж товарів в кредит 2. Вручення подарунків споживачу (безкоштовна установка апарату, безкоштовна консультація) | 1. Можливість надати кредит на власних умовах 2. Можливість стимулювати споживача до покупки апарату, створити дружні | 1. Довгий період отримання коштів 2. Додаткові витрати і як наслідок збільшення собівартості інноваційного обладнання. |

| | | | | | |
|--------------------|--|--|---|--|---|
| | | споживача, за рахунок цього забезпечити себе потенційним споживачем. | по технічних питаннях, безкоштовне усунення неполадок протягом року). | стосунки зі споживачем. | |
| Особистий продаж | Певна доля у прибутку стартап-проєкту. | Залучити споживача фінансувати стартап-проєкт | 1. Особисто дізнатися і обговорити потреби споживача. 2. Прийняти та зрозуміти клієнтав як особистість. 3. Попередньо вивчити і проаналізувати клієнта, і запропонувати саме те, що потрібно. 4. Особисто запропонувати зекономити, отримати якісний сервіс, знижки на встановлення апарату. | 1. Безпосередній контакт продавця з покупцем. Можливість урахувати індивідуальні особливості клієнта. 2. Наявність двостороннього зв'язку. 3. Можливість встановити довготривалі відносини покупця з продавцем. 4. Індивідуальний підхід до кожного споживача | 1. Невелике охоплення аудиторії. 2. Необхідно щоб продавець мав вміння переконувати, аргументовано відповідати на висунуті заперечення 3. Значні витрати часу на дослідження потенційного клієнта. 4. Пропозиція «зекономити» тягне додаткові витрати для виробника. |
| Інтернет-маркетинг | Ідея стартапу. Цінність сушарки. | Зацікавити потенційних споживачів інноваційною ідеєю. Донести до споживача переваги апарату, інформувати про його відмінні | 1. Соціальні мережі. 2. Корпоративні і сайти. 3. Блоги з цільовою аудиторією. 4. Пошукові системи | 1. Можливість аналізувати реакції покупців на ті чи інші пропозиції, на основі аналізу оперативно коригувати рекламу 2. Можливість швидше реагувати на | 1. Хаотичність 2. Інформаційна перенавантаженість сайтів, через що виникає складність залучення і утримання клієнтів. |

| | | | | | |
|-----------------|-------------------|--|--|---|---|
| | | показники якості. | | мінливість умов ринку 3. Можливість швидко змінювати асортимент, ціни та описи товару 4. Заощаджувати кошти на поширенні інформації | 3. Досить мало платіжних систем, яким би довіряли споживачі. 4. Відсутність можливості «доторкнутися» до товару. |
| Бренд-маркетинг | Цінність сушарки. | Створити основу для формування довгострокових взаємовідносин споживача з виробником. | 1. Визначення так званої місії бренду (визначити, які позитивні якості мають відкритися в свідомості споживача). 2. Візуалізація бренду (знайти ефективний образ, який найбільше відображає потреби клієнта). | 1. Відмінний бренд може підвищити запам'ятовуваність продукту. 2. Створення сильної асоціації для клієнтів. | 1. Відчутне збільшення собівартості на продукт. 2. Створений бренд ускладнює зміну іміджу продавця. |

Особистий продаж – найбільш ефективний метод просування нашого стартапу. Перевага в тому, що ми говоримо безпосередньо зі споживачем, враховуючи його вимоги, але недолік у тому, що клієнт займає багато часу.

Стимулювання збуту – дуже ефективний метод. Залучаючи споживачів до розробки, ми отримаємо інвестиції в цю розробку та задовольнимо потреби споживачів, враховуючи всі нюанси. Недоліком є те, що обладнання потребує оновлення відповідно до вимог кожного інвестора-споживача.

Реклама — менш ефективний, але дуже важливий метод. Реклама проінформує глядачів про нововведення. Недоліком є висока початкова вартість.

Інтернет–маркетинг – необхідно застосувати. Недоліком є його хаотичність, але все ж істотна перевага полягає в тому, що майже всі споживачі відвідують корпоративні веб-сайти та активно користуються пошуковими системами.

Пропаганда – не дуже ефективний метод. Звичайно, перевагою є можливість вносити пропозиції клієнту, щоб він міг змінити свій погляд на нашу інновацію, але не всі споживачі сприймають цей підхід позитивно – отже, він може погіршити мислення споживачів.

Бренд-маркетинг - це дуже дорогий метод, але якщо ви створите бренд пристрою з хорошою репутацією на ринку та сформуєте міцні асоціації серед споживачів — це приведе стартап до успіху.

9.11. Висновки

Представлений стартап-проект виробництва обладнання для виробництва таблеток, а саме виготовлення інноваційного обладнання у вигляді сушарка з псевдозрідженим шаром. У нашій роботі здійснено аналіз внутрішнього та зовнішнього середовищ підприємств. Проведений аналіз показав, як потрібно розвиватись, щоб проект був успішним кейсом.

Дослідження за використанням метода Бова показало, що інноваційна розробка відноситься до зони «Готові до атаки», тому що завдяки новизні і відмінним показникам якості апарат може конкурувати з лідерами ринку.

Ринок збуту поширюється на 3 великих промисловості, а саме: харчова, хімічна, фармацевтична .

Ціну модернізованого апарату обрали 310 000 грн./од (конкурентний метод найоптимальніший). Планований прибуток 110 700 грн./од. Максимальна собівартість апарату 199 300 грн. (за методом конкурентних цін).

Щоб якнайшвидше знайти надійних споживачів, я обрав шлях персональних продажів для виходу на ринок. Але не обмежуйтеся одним методом. Також у наших проектах буде проводитися споживче просування, реклама та мережевий маркетинг.

Проаналізувавши всі фактори, визначивши слабкі і сильні сторони даного проекту, можна дійти до висновку, що представлена ідея має всі шанси. Основна мета нашого стартапу – створити інновацію, яка стане лідером ринку.

ВИСНОВКИ

При виконанні дипломного проєкту було узагальнено та систематизовано отримані результати за різними напрямками дослідження. Під час проведення літературного огляду визначив, що сушіння матеріалів є актуальним напрямком розвитку фармацевтичного виробництва ліків та підтверджено патентним пошуком. Серед ключових є виробництво титраційних таблеток, які, в свою чергу, знайшов широке застосування під час виробництва деяких очних крапель, ін'єкційних розчинів, імплантацій під шкіру.

Виробництва таких лікарських засобів відбувається з використанням сушарки із псевдозрідженим станом. Особливістю цього процесу є оброблюваний матеріал, а потім і утворений гранулят, який безперервно знаходяться в русі.

Проведений тепловий, гідродинамічний, гідравлічний розрахунки та розрахунок на міцність таких частин апарату (обичайки, кончного днища, кришки та решітки), який був підтверджений 3D моделюванням в програмі SolidWorks, де застосовуючи статичне дослідження, отримав результати напруги зміщення та деформації. Під час моделювання фіксовано закріплював частини сушарки на місці закріплення її в апараті і надавав навантаження $P = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$ на частини апарату відносно їх функцій. Похибка не перевищувала 5%, показав, що розрахована та змодельована сушарка працездатна та задовольняє умови міцності, але є місця де міцність слабка. Можна вважати, що розраховані та змодельовані частини апарату працездатні та задовольняють умови міцності, але в місцях де відбувається зварювання та з'єднання частин сушарки є слабкі точки.

Було здійснено еспериментальні дослідження процесу розчинення сухої кристалічної речовини кавітацією, де було використано кристалічний порошок як сировину, а проточну воду як розчинник. В результаті проведення експерименту, початкові умови якого становили: час кавітації 15 хв, маса сировини 5 г, маса розчинника 50 г, процесу кавітації під дією ультразвуку, кристалічна речовина розчинилась протягом 2 хвилин, тобто бульбашки, які утворились в рідині, створили перемішування середовища, інтенсифікуючи процес, внаслідок чого кристали швидше розчинились. Отже визначаємо, що під дією ультразвуку відбувається процес руйнування кристалів, що підтвердилось дослідом №2 та

швидке розчинення вологої маси це підтверджує позитивний вплив ультразвукової установки. які підтверджують новизну ультразвукової установки для сушарки із псевдозрідженого шару.

Розробивши стартап-проект провідною темою якого стала виготовлення інноваційного обладнання у вигляді сушарки з псевдозрідженим шаром. Під час його виконання було здійснено аналіз внутрішнього та зовнішнього середовищ підприємств. Проведений аналіз показав, як потрібно розвиватись, щоб проєкт був успішним кейсом. В наслідок проведеного дослідження за методом Бова встановили що інноваційна розробка відноситься до зони «Готові до атаки», тому що завдяки новизні і відмінним показникам якості апарат може конкурувати з лідерами ринку. Ціну модернізованого апарату обрали 310 000 грн./од (конкурентний метод найоптимальніший). Планований прибуток 110 700 грн./од. Максимальна собівартість апарату 199 300 грн. (за методом конкурентних цін). Проаналізувавши всі фактори, визначивши слабкі і сильні сторони даного проєкту, дійшов висновку, що представлена ідея має всі шанси. Основна мета мого стартапу – створити інновацію, яка стане лідером ринку.

Подальше практичне застосування результатів дослідження полягає в тому, що використання розробленої моделі сушарки із псевдозрідженим шаром можливе підприємствами під час виробництва лікарських засобів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. – Л.: Химия, 1968. – 311с
2. Державна фармакопея України. - Київ: Науково-експертний фармакопейний центр, 2003. -419 с.
3. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1991. - 42с
4. Правила оформлення апаратурно-технологічних схем. Методичні вказівки до виконання графічної частини дипломної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр. 0902 «Інженерна механіка» спец. 83 7.090226 «Обладнання фармацевтичної і мікробіологічної промисловості» всіх форм навч. - К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2006.
5. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / МГУ - М.: «Химия», 1973 - 752 с. Библиогр.: с. 750 – 752
6. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Изд. 5-е / М.: «Химия», 1968 – 852с. Библиогр.: с. 840 – 852.
7. Каганович Ю.Я, Злобинский А.Г. Промышленные установки для сушки в кипящем слое – Л.: Химия, 1970. – 152 с.
8. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. Под ред. Ю. И. Дытнерского, 2-е изд., перераб. и допол. М.:Химия,1991. -496 с.
9. Классен П.В., Гришаев И.Г. Основы техники гранулирования. — М., 1982; Протодяконов И.А., Чесноков Ю.Г. Гидромеханика псевдоожиженного слоя. — Л., 1982
- 10.Никольский Б.П. Справочник химика / Никольский Б.П. — Л.: «Химия», 1966 – 976 с. Библиогр.: с. 972 – 976.
- 11.Гинзбург А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. - М.: Агропромиздат, 1985 - 336 с
- 12.Лебедев П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок. (Учеб, для высш, тех. учеб, заведений). М.-Л., Госэнергоиздат, 1962. - 320 с.

- 13.Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Изд. 2-е / ЛЭТИ - Л.: «Машиностроение», 1970 — 653 с.
- 14.Соколов В.И. Основы расчета и конструирования деталей и узлов пищевого оборудования // Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е., перераб. и доп. / МГУ – М.: Машиностроение, 1970 – 425 с. Библиогр.: с. 418 – 425.
- 15.ГОСТ 14249–89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 62 с.
- 16.Kalita P, Mahanta P, Saha UK (2015) Pressurized circulating fluidized bed technology.Energy Sci Technol Hydrogen Other Technol 11:481–526
- 17.ГОСТ 14249–89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 62 с.
18. ГОСТ 5632-88 Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные.
19. ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда.
20. ДБН В. 1.1-7-2002 Пожежна безпека об'єктів будівництва.
- 21.Никольский Б.П. Справочник химика / Никольский Б.П. — Л.: «Химия», 1966 – 976 с. Библиогр.: с. 972 – 976.
22. Коваленко І.В., Малиновський В.В. Розрахунки основних процесів, машин та апаратів хімічних виробництв / Методичні вказівки К.: Норіта-плюс, 2007 – 209 с.
- 23.Підлісна, О. А. Розроблення стартап-проекту. Практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / О. А. Підлісна, Ю. В. Тюленєва ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 836,93 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 46 с. – Назва з екрана. – <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28628>
- 24.. Економіка підприємства: Навчальний посібник / за заг. ред. П.В. Круша, В.І. Плдвігіної, Б.М. Сердюка. – К.: Ельга-Н, КНТ, 2007. – 780 с. – Бібліогр. у кінці тем – 1000 пр. – ISBN 966-373-205-9.

