

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого  
Кафедра Машини і апарати харчових та фармацевтичних виробництв

«До захисту в ЕК»  
Директор інституту(декан факультету)  
\_\_\_\_\_  
(підпис)      доц. Блаженко С.І.  
(ім'я та прізвище)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_  
(підпис)      проф. Гавва О.М.  
(ім'я та прізвище)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв

на тему: Дослідження процесу зневоднення та грануляції у псевдозрідженому шарі з метою модернізації апарата для висушування грануляту СГ-30

Виконав: здобувач 2 курсу, групи 6М

Лапко Марія Сергіївна  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)      \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник доц. Удодов Сергій Олександрович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)      \_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище)      \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище)      \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище)      \_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище)      \_\_\_\_\_  
(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2022 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навч.-науковий інженерно-технічний інст. ім. акад. І.С. Гулого

Кафедра Машини і апарати харчових та фармацевтичних виробництв

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

проф. Гавва О.М.

“ ” \_\_\_\_\_ 2022 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Лапко Марія Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу зневоднення та грануляції у псевдозрідженому шарі з метою модернізації апарата для висушування грануляту СГ-30

керівник роботи Удодов Сергій Олександрович, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “\_02\_”\_11\_2021 р. № 869-КС

2. Строк подання здобувачем роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи вид продукту – Таблеточна маса; продуктивність – 14-15 т/год; спосіб обробки – зневоднення та грануляція

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) анотація, зміст, вступ, аналітичний огляд стану питання, методика проведення досліджень, дослідна частина та узагальнення результатів, обґрунтування модернізації, устрій та принцип роботи модерн. об'єкту проектування, підбір констр. матеріалів, розрахункова частина, розрахункова частина, технологія машинобудування, правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання, автоматичний контроль, охорона праці, охорона довкілля, маркетингове обґрунтування проекту

5. Перелік графічного матеріалу \_\_\_\_\_

Презентація на 15 аркушах

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ                 | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|------------------------|---|----------------|------------------|
|                        |   | завдання видав | завдання прийняв |
|                        |   |                |                  |
| <i>Технологія</i>      | <i>доц. Бойко Ю.І.</i>                    |                |                  |
| <i>машинобудування</i> |   |                |                  |
|                        |   |                |                  |
|                        |   |                |                  |
|                        |   |                |                  |
|                        |   |                |                  |
|                        |   |                |                  |
|                        |   |                |                  |

7. Дата видачі завдання 2 листопада 2021 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №  | Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи   | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|----|---|-------------------------------|----------|
| 1  | <i>Анотація, зміст, вступ</i>   | <i>листопад 2021</i>          |          |
| 2  | <i>Аналітичний огляд стану питання</i>  | <i>листопад 2021</i>          |          |
| 3  | <i>Методика проведення досліджень</i>   | <i>грудень 2021</i>           |          |
| 4  | <i>Дослідна частина та узагальнення результатів</i>   | <i>грудень 2021</i>           |          |
| 5  | <i>Обґрунтування модернізації, устрій та принцип роботи модернізованого. об'єкту проектування</i> | <i>січень 2022</i>            |          |
| 6  | <i>Підбір конструкційних матеріалів</i>   | <i>січень 2022</i>            |          |
| 7  | <i>Розрахункова частина</i>   | <i>січень 2022</i>            |          |
| 8  | <i>Технологія машинобудування</i>   | <i>січень 2022</i>            |          |
| 9  | <i>Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання</i>  | <i>лютий 2022</i>             |          |
| 10 | <i>Автоматичний контроль</i>  | <i>лютий 2022</i>             |          |
| 11 | <i>Охорона праці</i>  | <i>лютий 2022</i>             |          |
| 12 | <i>Охорона довкілля</i>   | <i>лютий 2022</i>             |          |
| 13 | <i>Маркетингове обґрунтування проекту</i>   | <i>лютий 2022</i>             |          |

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Лапко М.С.*  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Удодов С.О.*  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## Анотація

Магістерська робота за темою: «Дослідження процесу зневоднення та грануляції у псевдозрідженому шарі з метою модернізації апарата для висушування грануляту СГ-30» виконана відповідно обраного завдання.

В процесі реалізації магістерської роботи проведений аналіз сучасного ринку обладнання та технологій висушування грануляту, що підштовхнуло на ідею модернізації апарата для висушування грануляту СГ-30, яким стало встановлення електростатичного фільтру замість рукавних фільтрів та встановлення додаткового патрубку, за допомогою якого продукт, що назбирується на фільтрі, повертається до киплячого шару.

Магістерська робота складається з \_\_ аркушів пояснювальної записки формату А4; 10-ти листів формату А1 та презентації результатів досліджень.

**Метою дослідження** є удосконалення апарата для висушування грануляту СГ-30 та дослідження кінетики процесу гранулоутворення, якості дисперсного складу гранульованого продукту та пошук оптимальних умов його проведення.

**Об'єктом дослідження** в наведеній роботі є процес зневоднення та грануляції сипких речовин, що проводиться у грануляторі псевдозрідженого шару.

**Предметом дослідження** є технологічні параметри проведення процесу, які впливають на якість одержаного продукту та стабільність зазначеної якості.

**Ключові слова:** сушіння, грануляція, установка, технологія, модернізація.

|   |  |   |                            |                         |                          |                     |
|---|--|---|----------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br>Чудовів С.О. | <i>Вид документа</i><br><b>Пояснювальна записка</b> |                            | <i>Статус документа</i> |                          |                     |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br>Лалко М.С.   | <i>Назва, додаткова назва</i><br><b>Анотація</b>    | <b>200501.MP.00.000.ПЗ</b> |                         |                          |                     |
|   | <i>Документ затверджено</i><br>Гавва О.М.  |   | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i>     | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i><br>1/2 |

## Summary

Master's thesis on the topic: "Study of the process of dehydration and granulation in a fluidized bed in order to modernize the apparatus for drying granules SG-30" performed according to the chosen task.

In the process of master's work the analysis of the modern market of equipment and technologies for drying granulate, which prompted the idea of modernizing the device for drying granulate SG-30, which was the installation of an electrostatic precipitator instead of bag filters and the installation of additional nozzle. , returns to the fluidized bed.

The master's thesis consists of \_\_ sheets of explanatory note in A4 format; 10 letters in A1 format and presentation of research results.

**The aim of the research** is to improve the apparatus for drying granules SG-30 and to study the kinetics of the granulation process, the quality of the dispersed composition of the granular product and to find the optimal conditions for its implementation.

**The object of study** in this paper is the process of dehydration and granulation of bulk substances, which is carried out in the granulator of the fluidized bed.

**The subject of research** is the technological parameters of the process, which affect the quality of the product and the stability of this quality.

**Key words:** drying, granulation, installation, technology, modernization.

## Зміст

|  | стор. |
|--|-------|
| Вступ .....  | 8     |
| 1. Аналітичний огляд стану питання.....  | 11    |
| 1.1. Застосування грануляції у псевдозрідженому шарі.....  | 11    |
| 1.2. Принцип роботи .....  | 11    |
| 1.3. Гранулятори періодичної та безперервної дії.....  | 12    |
| 1.4. Переваги апаратів псевдозрідженого шару.....  | 12    |
| 1.5. Основні способи застосування методу киплячого шару.....   | 14    |
| 1.6. Механізми гранулоутворення.....   | 16    |
| 1.7. Загальні характеристики гранульованого матеріалу.....   | 17    |
| 7.1.1. Гранулятори у фармацевтичній промисловості.....   | 18    |
| 7.1.2. Метод сухого гранулювання.....  | 19    |
| 7.1.3. Метод вологого гранулювання.....  | 19    |
| 2. Методика проведення досліджень.....   | 22    |
| 2.1. Оцінка похибок визначення параметрів.....   | 23    |
| 2.2. Особливості методики проведення експериментальних досліджень статичних та динамічних режимів..... | 24    |
| 3. Дослідна частина та узагальнення результатів.....   | 26    |
| 3.1. Результати експерименту по дослідженню динамічних режимів протікання процесу.....                 | 26    |
| 3.2. Проведення експериментальних досліджень статичних режимів протікання процесу.....                 | 33    |
| 3.2.1. Фактори та вихідні змінні.....  | 33    |
| 3.2.2. Вибір виду експериментально-статистичної моделі та плану експерименту.....                      | 35    |

|   |  |   |                            |                     |                          |              |
|---|--|---|----------------------------|---------------------|--------------------------|--------------|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br>Чудовів С.О. | <i>Вид документа</i><br><b>Пояснювальна записка</b> | <i>Статус документа</i>    |                     |                          |              |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br>Лопка М.С.   | <i>Назва, додаткова назва</i><br><b>Зміст</b>       | <b>200501.MP.00.000.ПЗ</b> |                     |                          |              |
|   | <i>Документ затверджено</i><br>Гавва О.М.  |   | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i> | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i> |

|  |     |
|--|-----|
| 4. Обґрунтування модернізації.....                                   | 39  |
| 5. Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування ... | 41  |
| 5.1 Принцип дії установки.....                                       | 43  |
| 6. Підбір конструкційних матеріалів.....                             | 44  |
| 7. Розрахункова частина.....   | 46  |
| 8. Технологія машинобудування.....                                   | 61  |
| 9. Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання.....          | 64  |
| 10. Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування.....   | 74  |
| 11. Охорона праці.....   | 80  |
| 12. Охорона довкілля.....  | 90  |
| 13. Маркетингове обґрунтування проекту.....                          | 95  |
| Висновки .....   | 99  |
| Список використаної літератури.....                                  | 100 |
| Додатки  |     |

## Вступ

Вже більше 50 років обладнання, що добре зарекомендувало себе, з псевдозрідженим шаром успішно впроваджується на підприємствах фармацевтичної промисловості. Спочатку апарати псевдокиплячого шару застосовували лише як обладнання для сушіння вологих гранул після процесу гранулювання, але поступово такі апарати стали адекватною заміною класичним сушильним шафам. На сьогодні сушіння у псевдозрідженому шарі все ще можна розглядати як останнє слово техніки для процесів сушіння на фармацевтичних виробництвах. Оснащення сушарок псевдокиплячого шару додатковими розпилювальними головками перетворило їх на гранулятори з псевдозрідженим шаром, що дозволяє легко проводити весь процес вологого гранулювання в одному апараті. При цьому форсунки були спочатку встановлені у верхній частині апарату для того, щоб подавати розчин на частинки, що знаходяться в псевдозрідженому стані, зверху (верхнє розпилення). Наступним етапом у доопрацюванні обладнання псевдокиплячого шару була його адаптація до застосування для процесів нанесення оболонок на таблетки або частинки іншого типу за допомогою додаткової вставки, тоді як розпилювачі були розташовані вже в нижній частині апарату з псевдозрідженим шаром (нижнє розпилення). Обладнання такого типу у фармацевтичній промисловості застосовують упродовж кількох десятиліть. Інші інноваційні апарати, такі як роторні гранулятори та гранулятори з фонтануючим шаром, були впроваджені пізніше. Однак це обладнання має вузькоспеціалізоване застосування.

|   |   |   |                            |                         |                          |                            |
|---|---|---|----------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br><i>Чудовів С.О.</i> | <i>Вид документа</i><br><b>Пояснювальна записка</b> |                            | <i>Статус документа</i> |                          |                            |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br><i>Лапка М.С.</i>   | <i>Назва, додаткова назва</i><br><b>Вступ</b>       | <b>200501.MP.00.000.ПЗ</b> |                         |                          |                            |
|   | <i>Документ затверджено</i><br><i>Гавва О.М.</i>  |   | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i>     | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i><br><b>1/3</b> |

Найбільш перспективним нововведенням у галузі вдосконалення обладнання з псевдозрідженим шаром був винахід апаратів з розпилювачами, розташованими тангенціально. На підставі перерахованих технічних характеристик можна стверджувати, що така конструкція в даний час є найбільш передовим рішенням у сфері розробки такого типу обладнання. На відміну від класичних апаратів з верхнім розпиленням, апарати псевдокиплячого шару з тангенціальним введенням розчину дозволяють поєднувати процеси сушіння, гранулювання та нанесення оболонок в одному пристрої, не потребуючи при цьому будь-якої переналагодження обладнання або встановлення додаткових вставок.

Оскільки частинки псевдокиплячого шару (гранули або таблетки маленького розміру) рухаються тангенціально, висота псевдозрідженого шару виходить невеликою, тому відпадає потреба у великих обсягах апарату, характерних для класичних апаратів з верхнім розпиленням. Враховуючи ці обставини, для встановлення обладнання з псевдозрідженим шаром потрібні значно менша висота та виробничі площі меншого розміру, що сприяє зниженню витрат на виробництво.

Гранулювання сировини у фармацевтичному виробництві застосовують для досягнення однорідності змішування, усунення великих грудок у матеріалах, забезпечення пресованості та - для досягнення потрібного медичного ефекту. Грануляція являє собою направлене укрупнення частинок, тобто це процес перетворення порошкоподібного матеріалу в зерна певної величини, що необхідно для поліпшення сипкості таблетованої суміші, пресованості, запобігання розшаруванню, забезпечення точності дозування, зменшення запиленості робочих приміщень.

Здрібнювання порошків забезпечує певне збільшення міцності і кількості контактів між частинками і як наслідок - утворення міцних конгломератів.

Процес гранулювання складається з таких технологічних стадій:

- підготовка початкової сировини, дозування і змішування компонентів;
- власне грануло - утворювання (агломерація, кристалізація, ущільнення тощо);
- формування структури (сушка, полімеризація і ін.);
- сортування (розділення частинок за розміром) і подрібнення крупних фракцій.

Розрізняють вологе та сухе гранулювання. При першому використовуються рідини - розчини допоміжних речовин; при сухому — змочувальні - рідини або не використовують, або використовують тільки на певній стадії підготовки матеріалу.

## 1. Аналітичний огляд стану питання

Гранулятори із псевдозрідженим шаром – інноваційний спосіб отримання гранулятів із рідких речовин. Цей спосіб широко використовується у фармацевтичній галузі, так як дає можливість змінювати фізичні властивості речовин без зміни їхньої хімічної формули. Гранулювання з псевдозрідженим шаром дозволяє випускати гранули, що володіють необхідними показниками сипкості та розчинності, стійкістю до стирання, вологостійкістю. Для створення грануляту із псевдозрідженим шаром використовуються спеціальні типи машин-грануляторів, що мають особливу конструкцію та набір необхідних опцій.

### 1.1. Застосування грануляції у псевдозрідженому шарі

Грануляція цього типу застосовується у тих випадках, коли небажаний контакт фармацевтичної сировини з навколишнім повітрям. Такий вид грануляції дає можливість поєднати та уніфікувати процеси змішування, грануляції та сушіння. Усі три етапи виробляються одному апараті, який може встановлюватися окремо чи інтегруватися у виробничу лінію.

За допомогою грануляції в псевдозрідженому шарі випускається від 5 до 10% всіх фармпрепаратів, а саме: антибіотики, жировмісні препарати, вітаміни, амінокислоти, що швидко окислюються, та ін.

### 1.2 Принцип роботи

Псевдозріджений шар утворюється в робочій камері гранулятора при напрямку повітряного потоку вгору, який піднімає частинки гранул. Таблеточна маса починає "кипіти", рідкий шар перебуває у стані безперервного руху. У процесі руху гранули покриваються шарами. При цьому склад шарів, що покривають гранули, може бути різним.

|   |  |   |                            |                         |                          |              |
|---|--|---|----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br><i>Удодов С.О.</i> | <i>Вид документа</i><br><i>Пояснювальна записка</i>                     |                            | <i>Статус документа</i> |                          |              |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br><i>Лалко М.С.</i>  | <i>Назва, додаткова назва</i><br><b>Аналітичний огляд стану питання</b> | <b>200501.MP.00.001.P3</b> |                         |                          |              |
|   | <i>Документ затверджено</i><br><i>Гавва О.М.</i> |   | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i>     | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i> |

Гранулююча рідина подається із спеціального резервуару та розпорошується із заданою швидкістю за допомогою форсунок. Форсунки можуть розміщуватися вгорі, внизу або на бічних стінках резервуару. Кількість форсунок залежить від продуктивності обладнання та ємності робочої камери. Вода, що утворюється після закінчення процесу грануляції, випаровується або приділяється за допомогою насоса. Управління гранулятором здійснюється за допомогою пульта, на якому задаються основні параметри процесу.

### **1.3 Гранулятори періодичної та безперервної дії**

Сучасні апарати для грануляції з псевдозрідженим шаром мають різну форму: циліндричну, прямокутну, еліпсоїдну, конічну та ін. Форма обладнання визначає його гідродинамічні характеристики. Найбільшого поширення набули апарати округлої форми, у яких процес грануляції відбувається при максимальному куті розкриття стінок.

За типом дії розрізняють:

Гранулятори періодичної дії, в яких поєднується грануляція, агломерація та сушіння. Процеси відбуваються поетапно в одній камері.

Гранулятори безперервної дії, що забезпечують грануляцію та сушіння у різних відділеннях робочої камери.

Обидва типи гранулятора забезпечують високу продуктивність та випуск якісних фармпрепаратів. При виборі обладнання, крім його типу необхідно врахувати обсяг робочої камери, потужність вентилятора, споживання повітря і пари. При інтеграції до існуючої лінії велике значення мають габарити обладнання.

### **1.4 Переваги апаратів псевдозрідженого шару**

В апаратах псевдозрідженого шару здійснюється контакт між розвиненою поверхнею дисперсної твердої фази, власне тої, що складає шар, і вертикальним потоком зважуючого потоку газу (рідше крапельної рідини). Розвинена поверхня контакту твердої та газової фаз необхідна для

проведення процесів теплообміну, випалювання, горіння, сушки, каталітичних процесів за участю дисперсних каталізаторів, адсорбції та ін.

У порівнянні з іншими апаратами, в яких також відбувається контакт дисперсної твердої і газової (рідкої) фаз (частіше це апарати з нерухомим шаром, що фільтрується) апарати з псевдозрідженим шаром володіють наступними перевагами:

- відносна простота конструкції - найчастіше це вертикальний апарат з прямокутним або круглим перетином, зазвичай не має рухомих частин;

- практична ізотермічність всього обсягу, забезпечується інтенсивним перемішуванням дисперсної фази, має велике значення для більшості процесів з виділенням або поглинанням теплоти;

- можливість підвищення витрат зважувального газу без збільшення перепаду тиску на шарі матеріалу, що є суттєвим зважаючи на обмеженість напорів, що розвиваються вентиляторами великої продуктивності;

- текучість шару, яка дозволяє безперервно вивантажувати дисперсний матеріал через простий патрубок.

Недоліки апаратів з псевдозрідженим шаром дисперсного матеріалу пов'язані з інтенсивним перемішуванням в обсязі шару, наприклад:

- знос конструкційних матеріалів, а також ерозія внутрішніх поверхонь апарату гранулювання;

- виникнення електростатичного заряду на поверхні псевдозріджуваних діелектричних матеріалів;

- різні часи перебування окремих порцій дисперсного матеріалу (його окремих частинок) в обсязі шару, що призводить до різного ступеня обробки (нагрівання, випалювання, вигорання, висушування, адсорбції, розмірів гранул або кристалів і ін.) різних частин загального потоку, що вивантажується з апарату дисперсного матеріалу.

Процес псевдозрідження забезпечує рівномірну структуру псевдозрідженого шару тільки при використанні в якості псевдозріджувача крапельних рідин. При псевдозрідженні відносно легкими і малов'язкими газами в шарі утворюються газові бульбашки, всередині яких контакт дисперсного матеріалу з суцільним середовищем практично відсутній, що особливо суттєво, наприклад, для каталітичних процесів. При псевдозрідженні дуже дрібних частинок (менше 1 мм в діаметрі) майже неможливо запобігти утворенню каналів, що в більшому ступені погіршує якість міжфазного контакту в шарі. Кращими для забезпечення рівномірності псевдозрідження є монодисперсні, округлі частинки з мінімальною поверхневою адгезією (хорошою сипучістю).

На внутрішню структуру псевдозрідженого шару в значній мірі впливає пристрій (конструкція) газорозподільної решітки в нижній частині апарату, через яку в шар подається псевдозріджувач.

### **1.5 Основні способи застосування методу киплячого шару**

Використання методу киплячого шару (КШ) з метою зневоднення суспензій, розчинів та деяких кристалогідратів має такі переваги:

- заміна багатостадійного процесу одностадійним;
- можливість отримання гранульованого матеріалу;
- зменшення витрат палива та більш глибоке використання температурного потенціалу;
- багатократне зменшення матеріалоемності;
- зниження вартості обладнання;
- зменшення виробничих площ;
- можливість повної автоматизації технологічного процесу.

Класична схема зневоднення складається з наступних стадій:

- випарювання в одно- або багатокорпусних випарних апаратах, а також апаратах зануреного згорання;
- згущення кристалічної пульпи;

- фільтрації або центрифугування;
- сушки осаду.

Якщо продукт необхідно одержати у гранульованому вигляді додатково використовується той або інший технічний спосіб грануляції з відповідним апаратним обладнанням.

Застосування КШ дозволяє здійснити практично всі зазначені вище стадії в одному апараті, який разом з системою насосів, вентиляторів, ежекційних установок, запірною та регулюючою арматурою утворює технологічну лінію [21].

Найбільший ефект для великотоннажних виробництв досягається заміною стандартних сушарок (у першу чергу барабанних) на апарати КШ. Ефективність визначається скороченням витрат палива, багатократним зменшенням металоємності та вартості апаратів.

Зменшення витрат палива зумовлено значним скороченням теплових втрат і глибшим використанням температурного потенціалу теплоносія. Теплові втрати від стінок апаратів КШ обмежуються самою зоною КШ, висота якого звичайно становить 1,0—1,5 м, а температура - 120-150 °С. Завдяки теплоізоляції втрати становлять 3-5 %.

Враховуючи, що середні витрати палива в апаратах КШ на 35-45 % нижча, ніж у барабанних сушарках, перехід на технологію КШ в умовах середньо- та великотоннажного (106-107 т/рік) виробництв забезпечить суттєве покращення загального балансу витрат палива.

Максимальні одиничні продуктивності установок КШ в 1,2-1,5 рази перевищують відповідний показник для барабанних сушарок. При зневодненні розчинів кількість випареної в установках КШ вологи сягає 14-15 т/год.

Поряд із зменшенням витрат палива, використання апаратів КШ забезпечує багатократне зменшення металоємності. Також маса металевих

деталей апарата КШ приблизно вдесятеро менша за масу металевих деталей барабанної сушарки.

### **1.6 Механізми гранулоутворення**

Процес зневоднення та гранулювання у псевдозрідженому шарі з використанням розпилення розчинів відбувається наступним чином.

Розчин, що містить тверду речовину та розпилюється у псевдозрідженому шарі, частково осідає на частинках шару. Певна його кількість закріплюється на поверхні існуючих частинок і утворює нові центри грануляції. Поверхнєве збільшення гранул стає більш імовірним при збільшенні сил зчеплення крапель з частинками. Адгезійні властивості крапель залежать від шорсткості поверхні гранул, характеристик розчину, найважливішою з яких є пропорційне відношення у краплі рідини та твердої речовини. Воно залежить від ступеня вологості, температури а також хімічного складу розчину. При зменшенні вологості розчину сили адгезії пропорційно зменшуються, що спричиняє зростання кількості утворених з розчину частинок.

У псевдозрідженому шарі, окрім формування нових центрів грануляції, відбувається також нарощення існуючих гранул. Судячи з вищенаведеного, це стає можливим при кристалізації розчину на поверхні частинок - центрів грануляції. Альтернативний шлях збільшення гранул - це їх злипання між собою. Агломерація має місце в момент зштовхування частинок при суттєво великих силах зчеплення між ними. Вони можуть бути присутні в рідкій фазі. Спричинений великою локальною вологістю, або високою температурою, надлишок розчину на частинках призводить до того, що сили поверхневого натягу стають більшими за сили, що обумовлюють перемішування частинок. Тоді відбувається зрощення гранул. При поступовому сушінні рідини формуються кристалічні містки, які з'єднують частинки агломерату між собою. Якщо зв'язки між шматочками агломерату

неміцні або утворюється недостатня кількість кристалів агломерати руйнуються до вихідних частинок.

Підсумовуючи вищенаведене можна зробити висновок, що гранулювання в псевдозрідженому шарі - це багатостадійний процес зростання існуючих гранул і формування нових.

Характер гранулоутворення, як і гранулометричний склад готового продукту залежить від властивостей речовин, що приймають участь у гранулюванні, режимних параметрів і конструктивних характеристик апарату гранулювання. У випадку поверхневого зростання гранул, їх діаметр пропорційний продуктивності, діаметру частинок рециклу і оберненопропорційний до витрат. Щоправда цей режим існує лише в суворих умовах, в яких в шарі не утворюються нові центри грануляції, а також не відбувається агломерація.

Проаналізувавши результати різних досліджень, можна зробити висновок, що на гранулометричний склад продукту вагомо впливає температура псевдозрідженого шару. При гранулюванні в шарі з температурою до 100 °С діаметр гранул зменшується зі зниженням температури шару, через зменшення кількості рідини в розчині, що підвищує ймовірність утворення нових часток.

Чим менше рідини в розчині, тим менше його адгезійна здатність і тим більше вірогідність утворення нових центрів грануляції. Підтримання постійної концентрації розчину призводить до укрупнення гранул.

### **1.7 Загальні характеристики гранульованого матеріалу**

У фармацевтичному виробництві гранульований матеріал - пігулки - покривають оболонкою, яку наносять в декілька шарів допоміжних речовин, останні можуть бути як природнього, так і синтетичного походження. В залежності від призначення пігулок, до складу оболонки можуть бути введені різні лікарські або поверхнево - активні речовини. Розрізняють такі типи покриття пігулок: дражируванні, пресовані та плівкові. Склад речовин, які

вкривають оболонкою, підбирається в залежності від середовища в якому має почати розчинятися пігулка: у шлунковому соці або в кишківнику [9].

Пігулки піддаються різноманітним несприятливим впливам, з моменту виробництва та закінчуючи розчиненням в шлунково - кишковому тракті. Одним з суттєвих впливів є механічний. Продукція піддається механічному впливу: при пакуванні, транспортуванні, впливу повітрі, при попаданні прямих сонячних променів, при неналежному зберіганні та впливу інших чинників. Такий вплив призводить до порушення цілісності препарату. Додатково, вплив навколишнього середовища може призвести до зміни хімічного складу пігулки, також є ймовірність зміни лікарської дії або зниження активних речовин у складі даного лікарського засобу.

Слід зазначити, що прийом пігулки часто несприятливо впливає на окремі органи або суб'єктивні відчуття хворого. Так, деякі лікарські речовини, що містяться в таблетках, у ряді випадків викликають нудоту, блювоту, дратують слизову оболонку стравоходу або шлунку. Ряд лікарських речовин, особливо антибіотики, ферменти і деякі гормони, можуть руйнуватися при взаємодії з шлунковим соком. Вищезазначені фактори обумовлюють необхідність нанесення на поверхню пігулок покриттів, які змогли б захистити їх від впливу зовнішніх факторів і усунути подразнюючу дію лікарських речовин на травний тракт.

### **7.1.1 Гранулятори у фармацевтичній промисловості**

Жоден процес виробництва фармацевтичної продукції чи БАД не обходиться без певного набору етапів. Один із цих етапів – гранулювання.

Перш ніж приступити до пресування таблетки, необхідно змішати сировину, яка використовується у складі. Але ця сировина часто вимагає ретельної грануляції.

Гранулювання - це операція, у якій дрібні частинки порошку збираються разом, утворюючи агломерати, які називаються гранулами. Для досягнення

когезії між порошками до складу необхідно включати адгезивні речовини, які називаються сполучними або гранулюючими агентами.

У процесі гранулювання речовина (наприклад, порошок) укрупнюється і перетворюється на зернятка - гранули. Це необхідно для зменшення сипкості матеріалу. В результаті в процесі виготовлення таблетки в таблетпрес можна уникнути таких негативних моментів, як тертя частинок речовини і розшарування вже змішаної маси.

Простіше кажучи – без гранулювання лікарська суміш, яка має перетворитися на таблетку, розшаровуватиметься, порушиться співвідношення компонентів таблетки та вийде неякісний продукт.

Як легко здогадатися, обладнання для гранулювання це гранулятор. Гранулятори бувають різні, дуже прості і високотехнологічні, що здійснюють лише функцію гранулювання та забезпечені додатковими системами.

Про методи гранулювання написано вже багато, тому обмежимося просто невеликим нагадуванням.

### **7.1.2 Метод сухого гранулювання**

Вважається одним з найкращих у фармацевтичному виробництві. Підходить для складів, що погано реагують на вологу. Для зв'язування використовуються сухі допоміжні речовини, як мікрокристалічна целюлоза.

### **7.1.3 Метод вологого гранулювання**

Вже з назви зрозуміло, що цей метод заснований на додаванні до порошку води та різних вологих речовин.

Для сухого та вологого методу використовуються різні типи грануляльного обладнання – в ідеалі. Існують і універсальні гранулятори, які можна налаштувати під кращий спосіб. Не слід гнатися за дешевою ціною і купувати перший гранулятор, що трапився, - часто, розчарування через неправильний підбір обладнання настане раніше, ніж пройде радість від вигідної покупки.



Рис. 1.1 Високошвидкісний міксер гранулятор SHK-50

Спеціально розроблений для вологого гранулювання супер-міксер гранулятор серії SHK працює і з кремоподібними речовинами. Цей гранулятор оснащений спеціальною системою вивантаження в сушарку з окропом, що зручно, якщо на виробництві вже є таке обладнання. Ще одна особливість – можливість доповнити комплектацію мийкою.



Рис. 1.2. Високошвидкісний калібратор гранулятора серії JFZ

Високошвидкісний калібратор гранулятора серії JFZ – універсальний варіант. Він підходить і для вологого, і сухого гранулювання. Незважаючи на простоту, це надійний агрегат, який можна легко вбудувати в вже готову виробничу лінію і налаштувати необхідний розмір гранул.

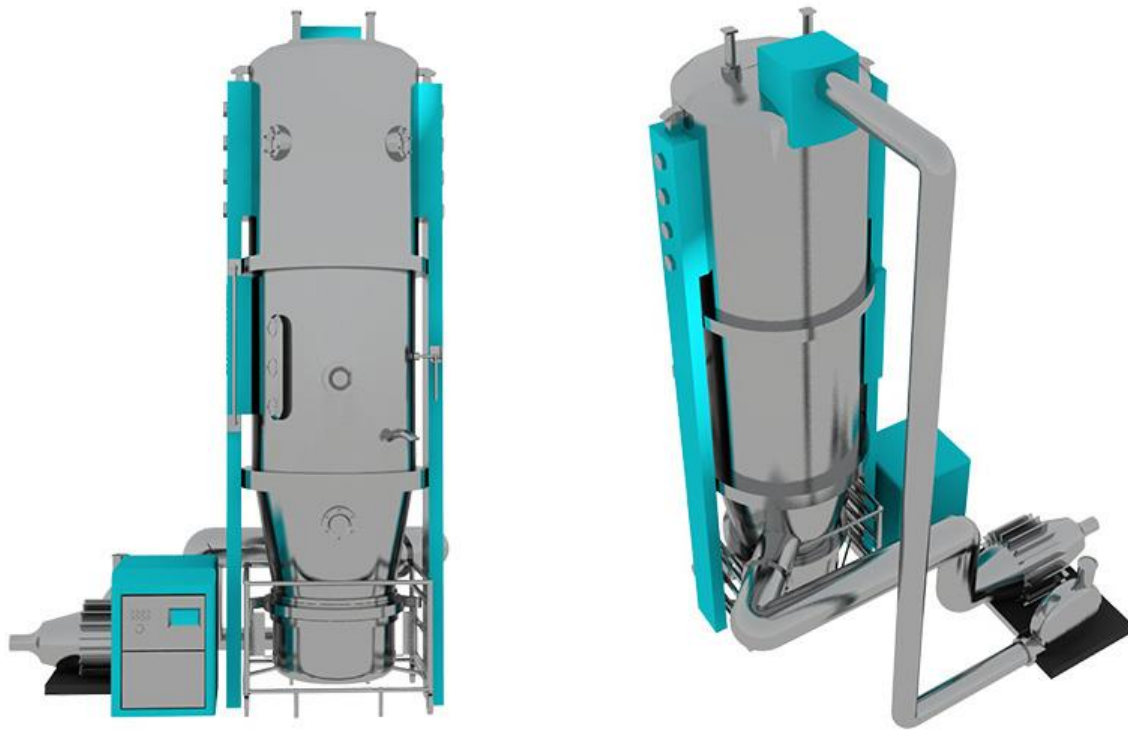


Рис. 1.3. Сушарка-гранулятор в псевдозрідженому шарі

Один з найкращих варіантів, який допоможе заощадити час та гроші – сушарка гранулятор у псевдокиплячому шарі. Одна з популярних є сушарка гранулятор серії FL завдяки великій кількості варіантів та можливістю встановлення різних модифікацій.

Не потрібно підганяти обладнання – все необхідне для процесів грануляції та сушіння поєднане в одній машині для досягнення максимальної ефективності.

Перед тим, як обирати гранулятор, дуже важливо визначитися з остаточним методом гранулювання, який використовуватиметься у виробництві, з технологією та складом порошків.

## 2. Методика проведення досліджень

Експериментальна частина дослідження в даній роботі була проведена на дослідній установці, описаній у розділі 3. При вивченні динаміки процесу загальний час дослідження повинен забезпечити роботу установки в максимально можливій кількості режимів. При проведенні досліджень з метою побудови експериментально-статистичних моделей час дослідження визначається планом експерименту та часом перехідних процесів.

Досвід експлуатації показав, що оптимальний інтервал часу для відбору частини готової продукції та вимірювання технологічних параметрів (інтервал відбору проби процесу) становить 20 хвилин. Безпосередньо перед вилученням готового продукту виміряли технологічні характеристики, представлені в таблиці 3.1.

В продукті, що відбирався з апарату визначалося  $G$  – маса вивантаженого продукту, кг; та проводився ситовий аналіз частини (0,1 кг) готового продукту, при якому визначалися  $m_d$  – маса готового продукту, що залишилась на ситі з діаметром отворів  $d$  мм. В аналізі використовувались сім сит з діаметрами отворів  $d = 0,5; 1; 1,2; 2; 3; 3,5; 5$  мм.

Таблиця 3.1. – Контрольовані фактори процесу зневоднення та грануляції

| Позначення       | Визначення                                  | Одиниці вимірювання  | Інтервали значень        |
|------------------|---|----------------------|--------------------------|
| $T_{ВХ}$         | температура теплоносія на вході в апарат    | °C                   | 55 ÷ 70                  |
| $T_{Ш}$          | температура псевдозрідженого шару у апараті | °C                   | 40 ÷ 50                  |
| $\Delta P_{Ш}$   | перепад тиску на псевдозрідженому шарі      | мм.в.ст,<br>Па       | 150 ÷ 400<br>1500 ÷ 4000 |
| $\Delta P_{РЕШ}$ | перепад тиску на газорозподільній решітці   | Па                   | 550 ÷ 1600               |
| $\Delta P_1$     | перепад тиску на діафрагмі                  | Па                   | 750 ÷ 1450               |
| $L_3$            | об'єм, що надійшов в апарат на грануляцію   | кг · 10 <sup>3</sup> | 0,1 ÷ 0,3                |

|  |                                     |   |  |                            |              |                   |       |
|--|-------------------------------------|---|--|----------------------------|--------------|-------------------|-------|
| Відповідальна організація<br><b>НУХТ</b> | Технічне узгодження<br>Чудовів С.О. | Вид документа<br><b>Пояснювальна записка</b>                    |  | Статус документа           |              |                   |       |
| Власник документа<br><b>НУХТ</b>         | Розробник документа<br>Лопка М.С.   | Назва, додаткова назва<br><b>Методика проведення досліджень</b> |  | <b>200501.MP.00.002.ПЗ</b> |              |                   |       |
|  | Документ затверджено<br>Гавва О.М.  |   |  | Інд. змін.                 | Дата видання | Мова<br><b>UA</b> | Аркуш |

## Оцінка похибок визначення параметрів

Джерелами похибок у цьому дослідженні є похибки у визначенні вимірюваних факторів процесу та похибки при розрахунку розрахункових значень.

Розглянемо джерела похибок у виміряних значеннях процесу:

- похибка визначення температури теплоносія на вході в апарат складається з похибки термопар, перетворювача та індикаторного приладу;
- похибка визначення температури псевдозрідженого шару в апараті складається з похибки термопар, перетворювача та індикаторного приладу;
- похибка контролю температури псевдозрідженого шару в апараті складається з похибки її визначення, а також похибки регулятора, виконавчого механізму та регулюючого органу;
- похибка визначення перепаду тиску в псевдозрідженому шарі залежить від температури навколишнього середовища (визначається диференціальним манометром води), шкали та похибки самого диференціального манометра;
- похибки визначення перепаду тиску в псевдозрідженому шарі, газорозподільній сітці та діафрагмі залежать від температури навколишнього середовища (визначається диференціальними манометрами води), масштабу та похибки самого диференціального манометра;
- похибка визначення об'єму розчину, що надходить в апарат для гранулювання, залежить від точності вимірювальної шкали на ємності;
- похибка визначення маси вивантаженого продукту та маси готового продукту, що залишилася на ситі в результаті ситового аналізу, залежить від похибки ваг.

Значення похибок зазначених вище значень наведено у відповідній технічній документації на зазначені прилади, апарати та прилади. Загальна гранична відносна похибка розраховується як сума граничних відносних похибок її складових.

Крім того, існують також похибки в розрахункових значеннях, джерелами яких є похибки вимірюваних значень, похибки округлення, похибки у використанні наближених формул.

При визначенні похибок цих величин застосовується теорія похибок. Граничні значення похибок для визначення основних вимірюваних величин наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. – Граничні похибки визначення основних вимірюваних величин

| Величина                                    | Позначення       | Гранична відносна похибка, % |
|---|------------------|------------------------------|
| температура теплоносія на вході в апарат    | $T_{ВХ}$         | 0,25                         |
| температура псевдозрідженого шару у апараті | $T_{Ш}$          | 0,50                         |
| перепад тиску на псевдозрідженому шарі      | $\Delta P_{Ш}$   | 1,00                         |
| перепад тиску на газорозподільній решітці   | $\Delta P_{РЕШ}$ | 1,00                         |
| перепад тиску на діафрагмі                  | $\Delta P_1$     | 1,00                         |
| об'єм, що надійшов в апарат на грануляцію   | $L_3$            | 2,50                         |
| маса вивантаженого продукту                 | $G$              | 0,65                         |
| еквівалентний діаметр гранул                | $d_e$            | 0,75                         |

### **Особливості методики проведення експериментальних досліджень статичних та динамічних режимів**

Процес проводили протягом 68 годин окремими серіями по 4-6 годин у безперервному процесі без переробки. Після закінчення серії готовий продукт не знімали з апарату. Таким чином, процес можна вважати умовно безперервним. Особливість експериментального дослідження полягала у визначенні можливості стабілізації дисперсного стану за рахунок існування внутрішнього джерела нових центрів грануляції, що реалізується шляхом подрібнення крупних гранул (механізм парового вибуху) та частинок пилу, що містяться в апараті. В ході експерименту було вивчено роботу апарату в найбільшій кількості технологічних режимів, за яких може бути існування процесу.

При проведенні експериментальних досліджень з метою пошуку оптимального режиму проведення процесу в роботі використовується

експериментально-статистичний підхід, заснований на математичній теорії планування експерименту. Цей підхід передбачає особливості методики проведення експериментів, які розкрито нижче.

Дослідження проводили окремими серіями при однаковій температурі теплоносія на вході в апарат ( $T_{BX} = \text{const}$ ). Таким чином, було проведено три серії досліджень. У кожній серії апарат працював у кожному з режимів (кожному з пунктів плану експерименту) послідовно. При цьому дисперсний склад вихідної фракції гранульованого продукту був прийнятий максимально наближеним за еквівалентним діаметром і дисперсністю розподілу по діаметру.

Для визначення моменту завершення перехідних процесів в апараті враховувалося наступне. По-перше, час переходу апарату в режим по каналу «технологічні параметри процесу – дисперсний склад гранульованого продукту» значно довший, ніж по каналу «технологічні параметри процесу – вихід гранульованого продукту». По-друге, для підтримки деяких факторів на заданому рівні необхідно змінити перепад тиску в псевдозрідженому шарі. Така операція здійснюється шляхом вивантаження або перевантаження частинок гранульованого продукту і призводить до штучної зміни виходу гранульованого продукту з апарату. Отже, вихід апарату на заданий режим фіксувався стабілізацією дисперсного складу. При проведенні експериментальних досліджень вважали, що при малозмінному дисперсному складі протягом трьох послідовних вимірювань (1 година) апарат досягав заданого режиму. Досвід експлуатації апарату, на якому проводилися дослідження, показує, що стабілізація дисперсного складу після зміни технологічних параметрів процесу в межах дослідження відбувається через 25-35 хвилин роботи. Таким чином, щоб гарантувати завершення перехідних процесів в апараті при зміні режиму роботи, необхідний додатковий інтервал у 20 хвилин.

### 3. Дослідна частина та узагальнення результатів

#### Результати експерименту по дослідженню динамічних режимів протікання процесу

На основі методик, описаних в попередньому розділі розраховувались наступні величини:

$G_U$  – кількість гранульованого продукту, вивантаженого з апарату, кг/год:

$$G_U = G/1/3, \quad (3.1)$$

$G_R$  – кількість сухих речовин, що надійшли до апарату з робочим розчином, кг/год:

$$G_R = L_3 \cdot \rho_P \cdot \sum C, \quad (3.2)$$

де  $\rho_P$  – густина розчину,  $\rho_P = 1230$  кг/м<sup>3</sup>;  $\sum C$  – сумарна концентрація твердих речовин в розчині,  $\sum C = 0,408$ ;

$\eta$  - вихід гранульованого продукту:

$$\eta = \frac{G_U}{G_R}; \quad (3.3)$$

$x_i$  – масова частка  $i$  – тої фракції:

$$x_i = \frac{m_d}{100}; \quad (3.4)$$

$d_i$  – середній діаметр  $i$  – тої фракції:

$$d_i = \sqrt{d^+ \cdot d^-}, \quad (3.5)$$

де  $d^+$  і  $d^-$  - діаметри отворів більшого та меншого сит;

|   |  |  |                            |                         |                          |              |
|---|--|--|----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br>Чудовів С.О. | <i>Вид документа</i><br><b>Пояснювальна записка</b>                                  |                            | <i>Статус документа</i> |                          |              |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br>Лалко М.С.   | <i>Назва, додаткова назва</i><br><b>Дослідна частина та узагальнення результатів</b> | <b>200501.MP.00.003.ПЗ</b> |                         |                          |              |
|   | <i>Документ затверджено</i><br>Гавва О.М.  |  | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i>     | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i> |

$d_e$  – еквівалентний діаметр частинок у псевдозрідженому шарі, мм:

$$d_e = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}}; \quad (3.6)$$

$W$  – кількість вологи, що випарувана з апарату, кг/год.

$$W = \frac{L_3}{1/3} - G_R \cdot (100 - w), \quad (3.7)$$

де  $w$  – вологість гранульованого продукту,  $w = 2 \div 5$  %.

$\sum f_{III}$  – сумарна площа поверхні псевдозрідженого шару, м<sup>2</sup>:

$$\sum f_{III} = \frac{6}{d_e} \cdot \frac{F}{\rho_T} \cdot \frac{\Delta P_{III}}{g}, \quad (3.8)$$

де  $\rho_T$  – густина твердих частинок у псевдозрідженому шарі,  $\rho_T = 1000$  кг/м<sup>3</sup> (за н.у.);

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

$a_f$  - щільність зрошення поверхні частинок у псевдозрідженому шарі, кг.вологи/(м<sup>2</sup>·год.), або питоме навантаження псевдозрідженого шару за вологою:

$$a_f = \frac{W}{\sum f_{III}}; \quad (3.9)$$

$Q_T$  – витрати теплоносія, м<sup>3</sup>/год:

$$Q_T = 2,547 \sqrt{\Delta P_{III} \cdot \frac{\rho_T^T}{\rho_T}}, \quad (3.10)$$

де  $\rho_T$  – густина теплоносія (повітря) за н.у.;  $\rho_T = 1,293$  кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_T^T$  - густина теплоносія при температурі  $T_{III}$ ;

$w_P$  – робоча швидкість теплоносія в апараті, м/с:

$$w_{KP} = \frac{Q_T}{3600 \cdot F}; \quad (3.11)$$

$w_{KP}$  – критична швидкість початку псевдозрідження для частинок даного еквівалентного діаметру, м/с:

$K_W$  – число псевдозрідження:

$$K_W = \frac{w_P}{w_{KP}} \quad (3.12)$$

Результати вимірювань та розрахунків величин при дослідженні динамічних режимів проведення процесу представлені в додатку А. Графічні залежності основних вимірюваних та розрахованих величин представлені на графіках 3.1-3.8. Представлені графіки дозволяють скласти попереднє уявлення про динаміку протікання процесу зневоднення та грануляції в апараті. Розглянуті вимірювані та розраховані величини планується використати при побудові експериментально-статистичних моделей об'єкту дослідження.

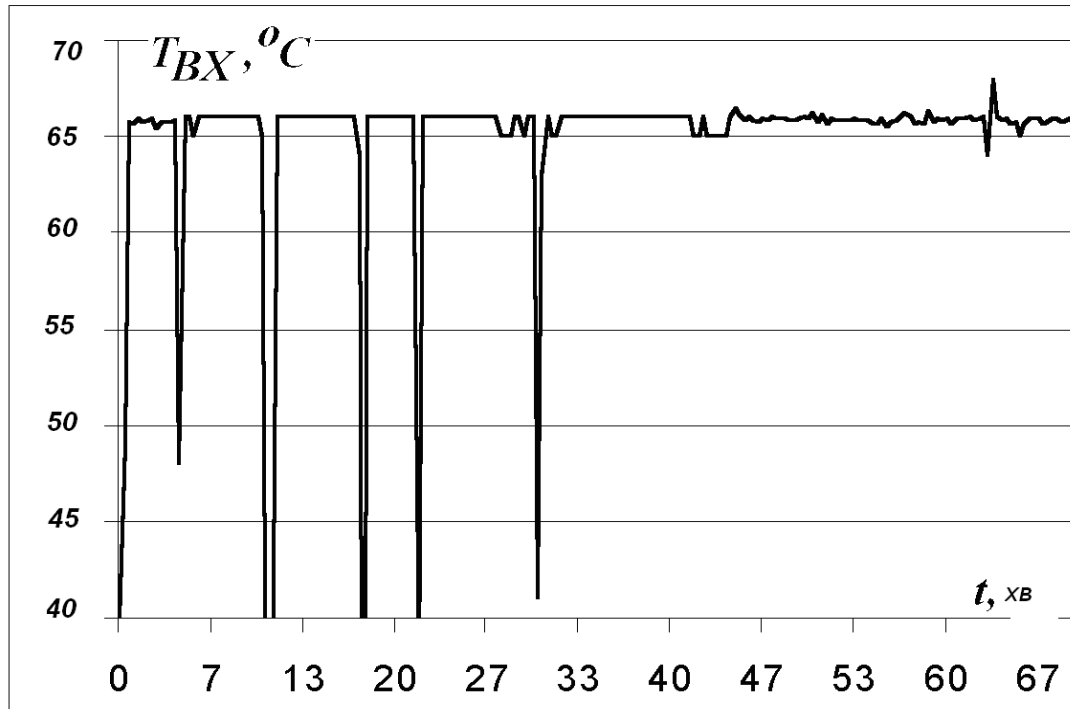


Рис. 3.1. Динаміка залежності температури теплоносія на вході в апарат від часу

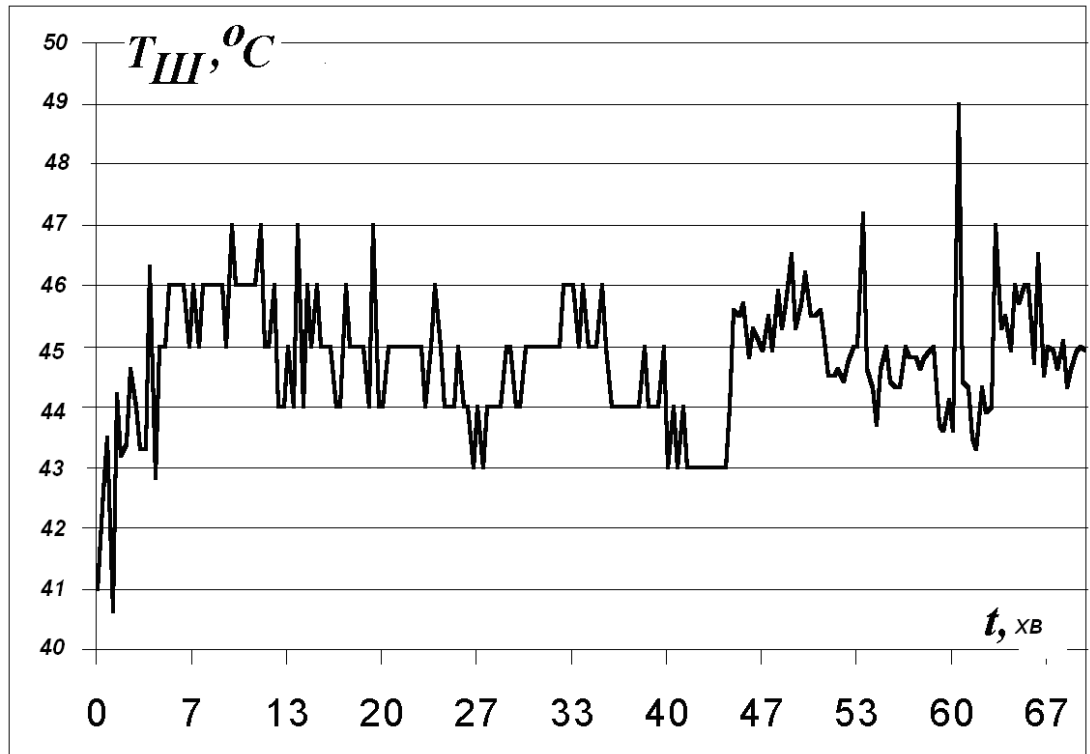


Рис. 3.2. Динаміка залежності температури псевдозрідженого шару в апараті від часу

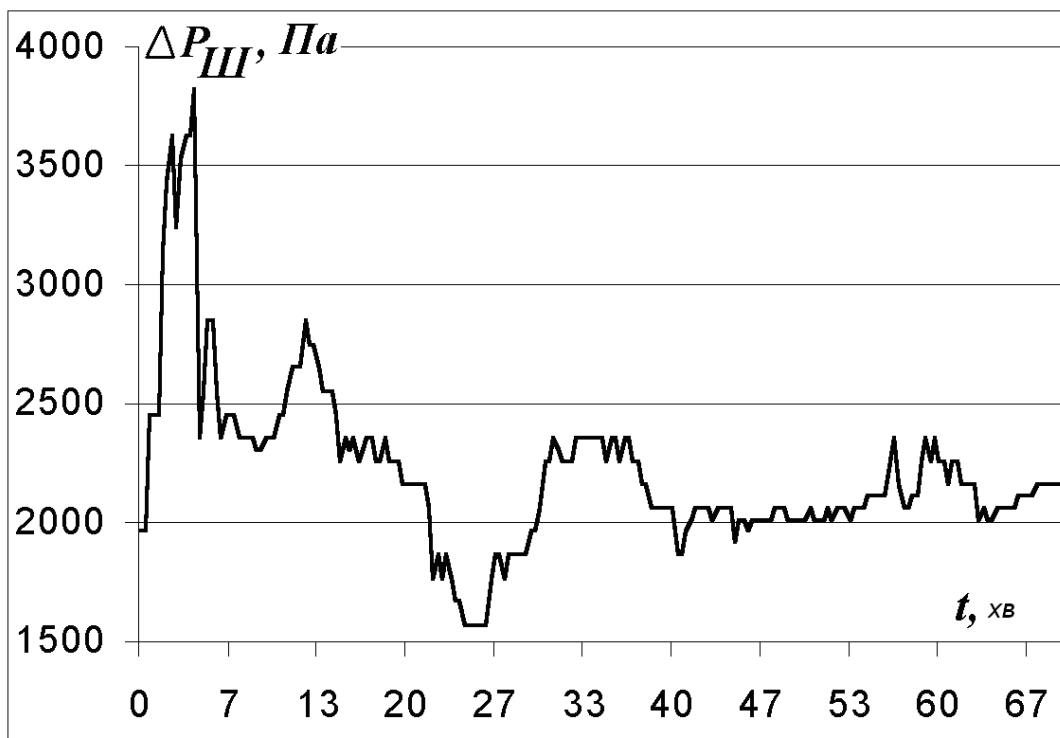


Рис. 3.3. Динаміка залежності перепаду тиску на псевдозрідженому шарі від часу

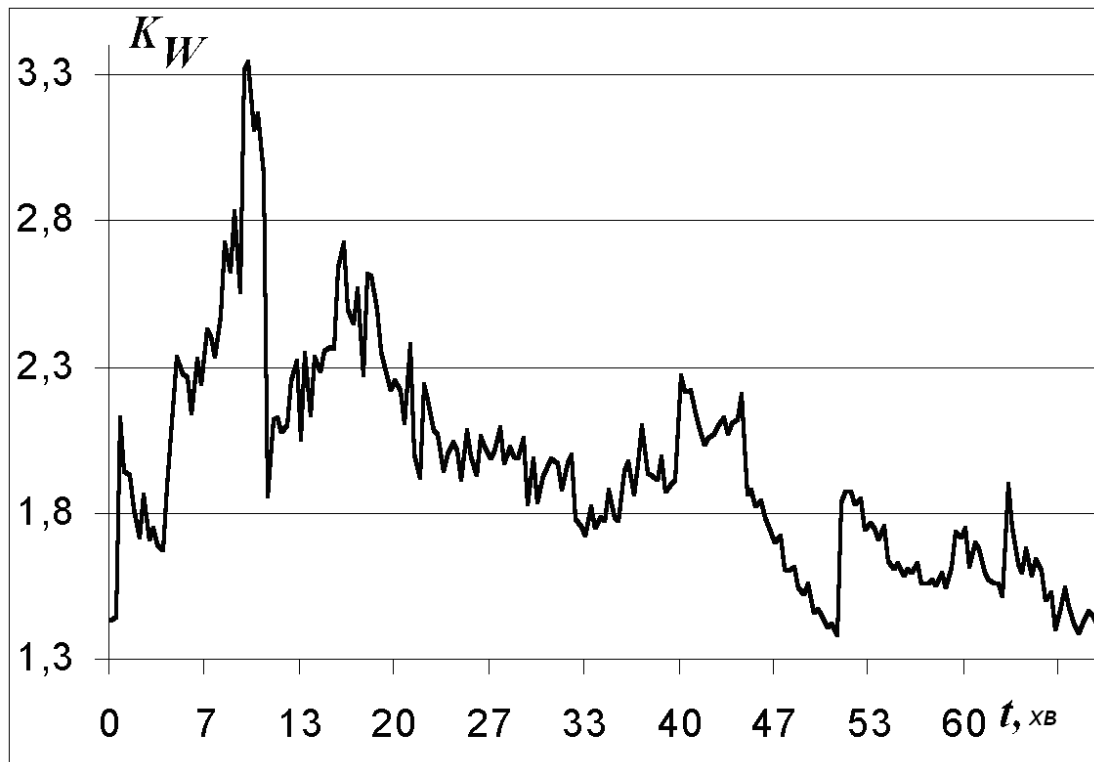


Рис. 3.4. Динаміка залежності числа псевдозрідження від часу

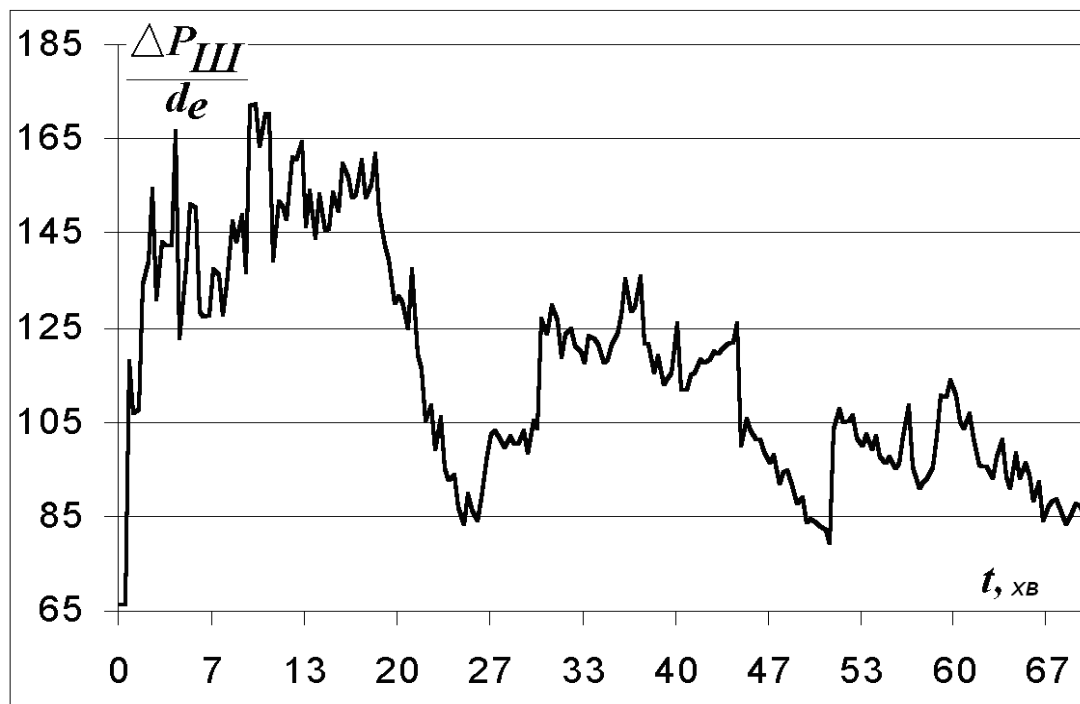


Рис. 3.5. Динаміка залежності відношення  $\frac{\Delta P_{III}}{d_e}$  від часу

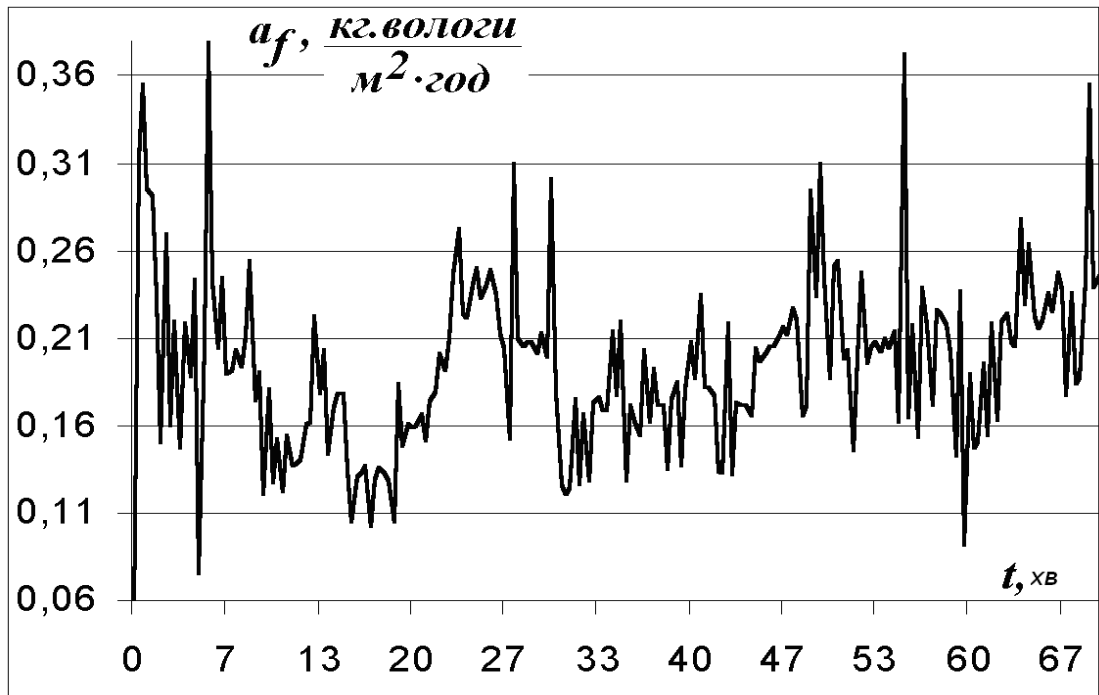


Рис. 3.6. Динаміка залежності щільності зрошення поверхні частинок у псевдозрідженому шарі від часу

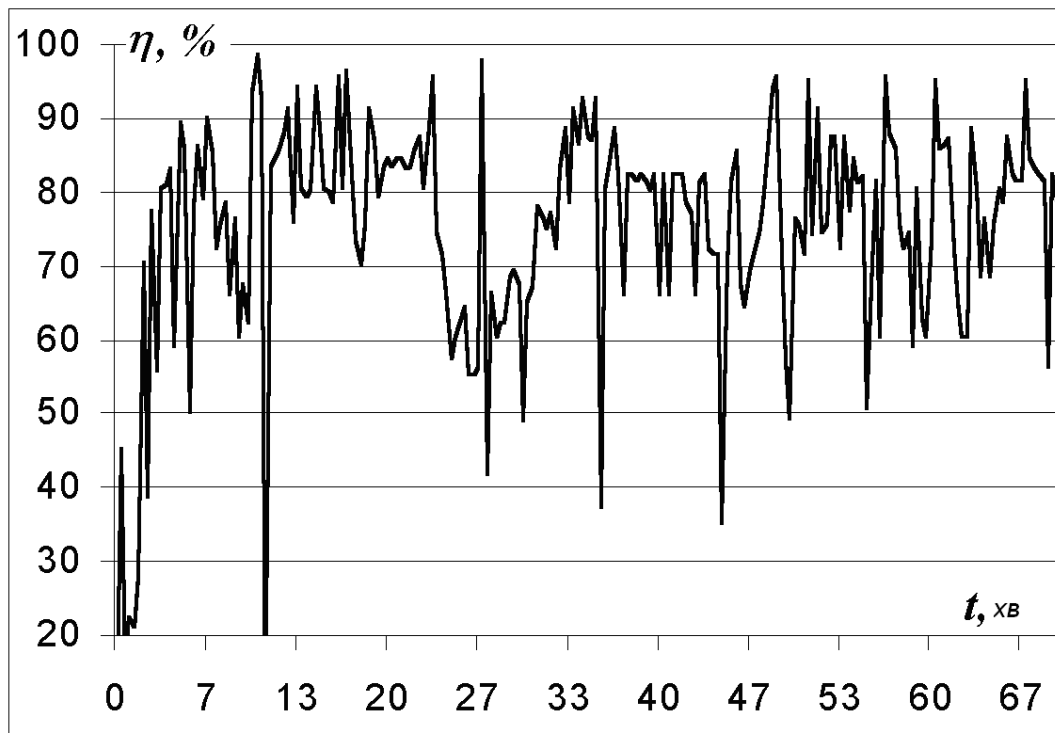


Рис. 3.7. Динаміка залежності виходу гранульованого продукту від часу.

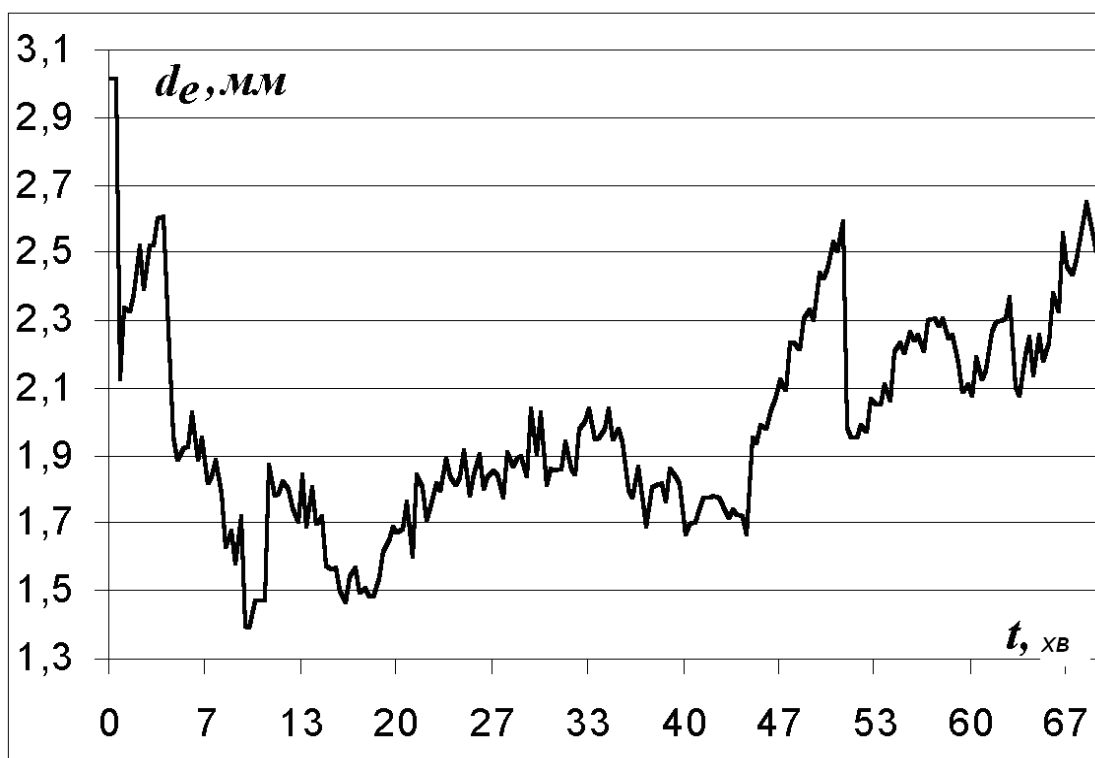


Рис. 3.8. Динаміка залежності еквівалентного діаметру частинок в апараті від часу.

### Висновки до підрозділу

Експериментальну частину дослідження проводили на дослідній установці для зневоднення та гранулювання гетерогенних систем у псевдозрідженому шарі в безперервному безрецикловому процесі.

Визначено основні показники якості процесу – вихід гранульованого продукту та його дисперсний склад. Розглядаються контрольовані фактори процесу - температура теплоносія на вході в апарат, температура псевдозрідженого шару в апараті, перепад тиску на псевдозрідженому шарі і робоча швидкість теплоносія в апараті, а також визначено значущість кореляції (коефіцієнт кореляції 0,5797) між двома останніми.

При проведенні експериментального дослідження динаміки процесу процес здійснювався в максимально можливої кількості технологічних режимів. Динаміка залежності основних величин представлена графічно.

Результати експериментальних досліджень дають змогу визначити ступінь впливу технологічних факторів процесу на вихід гранульованого

продукту, вивчити кінетику процесу гранулювання, якість дисперсного складу гранульованого продукту та пошук оптимальних умов для його реалізації.

## **Проведення експериментальних досліджень статичних режимів протікання процесу**

### **Фактори та вихідні змінні**

При обранні показників параметрів оптимізації процесу зневоднення та грануляції слід враховувати величини, що відповідають за кількісні та якісні показники процесу. Кількісною величиною, що показує частку речовини, що переходить у товарну фракцію – гранули – є вихід гранульованого продукту -  $\eta$  - що розраховується за формулою (3.3). Кількісною оцінкою якості дисперсного складу гранульованого продукту можуть виступати –  $d_e$  – еквівалентний діаметр частинок (розраховується за формулою (3.6)),  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення діаметрів частинок від еквівалентного (3.7) та ін. Проте більш повною оцінкою якості дисперсного

складу гранульованого продукту є втрати якості  $Ek = \frac{\sum_{i=1}^5 x_i \cdot (d_i - d_e)^4}{\sigma^4} - 3$ .

В літературі показано, а при аналізі результатів попередніх досліджень доведено, що важливими факторами, що впливають на кількісні та якісні показники процесу, є температура теплоносія на вході в апарат –  $T_{ВХ}$ , температура псевдозрідженого шару -  $T_{Ш}$ , площа поверхні частинок у псевдозрідженому шарі, або відношення  $\frac{\Delta P_{Ш}}{d_e}$ , число псевдозрідження  $K_w$  та щільність зрошення поверхні частинок у псевдозрідженому шарі  $a_f$ . Проте, як показано раніше, між факторами  $K_w$  та  $\frac{\Delta P_{Ш}}{d_e}$  існує суттєвий та значущий кореляційний зв'язок. Ці фактори не можуть вважатися незалежними і лише

один з них може бути введеним до плану експерименту. Фактор  $\frac{\Delta P_{III}}{d_e}$  в порівнянні з  $K_W$  значно легше піддається керуванню. Для цього треба визначити еквівалентний діаметр частинок ( $d_e$ ) у шарі по результатах ситового аналізу за формулами (3.4) – (3.6) та встановити відповідну висоту шару ( $\Delta P_{III}$ ).

У відповідності до формули (3.12) щільність зрошення поверхні псевдозрідженого шару  $a_f$  залежить від площі поверхні шару, отже  $a_f$  є функцією аргументу  $\frac{\Delta P_{III}}{d_e}$ . Таким чином, незалежними факторами, що

вводяться до плану експерименту, є:

- температура теплоносія на вході в апарат –  $T_{BX}$ , °С;
- температура псевдозрідженого шару –  $T_{III}$ , °С;
- відношення  $\frac{\Delta P_{III}}{d_e}$ .

При грануляції сипкої речовини на основі сахарної пудри на вказаній установці, зміна технологічних факторів процесу можлива лише в певних межах. Ці межі можна трактувати як області визначення факторів. При виході значень факторів за вказані межі, проведення процесу неможливе.

Межі значень відношення  $\frac{\Delta P_{III}}{d_e}$  вказані на діаграмі залежності

$$\eta = f\left(\frac{\Delta P_{III}}{d_e}, K_W\right).$$

В області визначення технологічних факторів виділяється область проведення експерименту – інтервали варіювання факторів. Значення меж області проведення експерименту за температурними факторами ( $T_{BX}$  та  $T_{III}$ ) обрані за аналізом апріорної інформації та з урахуванням досвіду проведення процесу на вказаній установці. Інтервал варіювання  $\frac{\Delta P_{III}}{d_e}$  обраний таким

чином, щоб забезпечити проведення процесу в області стійкої кінетики гранулоутворення (див. підрозділ 4.3) Значення меж областей визначення факторів та інтервалів варіювання зведені в табл. 5.3. Слід вказати на те, що верхні межі інтервалу варіювання відповідають кодованим значенням технологічних факторів +1, а нижні – -1.

Таблиця 3.1. Области визначення та інтервали варіювання факторів

| Фактор                     | Межі області визначення |        | Межі інтервалів варіювання |             |
|----------------------------|-------------------------|--------|----------------------------|-------------|
|                            | нижня                   | верхня | нижня (-1)                 | верхня (+1) |
| $T_{ВХ}, ^\circ\text{C}$   | 55                      | 70     | 60                         | 64          |
| $T_{Ш}, ^\circ\text{C}$    | 40                      | 50     | 46                         | 48          |
| $\frac{\Delta P_{Ш}}{d_e}$ | 65                      | 175    | 110                        | 150         |

### Вибір виду експериментально-статистичної моделі та плану експерименту

Відомі переваги використання експериментально-статистичної моделі статистичної характеристики S/N для дослідження процесу зневоднення та грануляції у псевдозрідженому шарі. Ці переваги мають місце лише при використанні для опису процесу експериментально-статистичної моделі другого порядку. Для трьох факторів повна експериментально-статистична модель набуває вигляду:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 \quad (3.13.)$$

Така модель (3.13.) має десять коефіцієнтів, тобто для її побудови необхідно провести експеримент не менше як в одинадцяти точках (одна точка потрібна для перевірки адекватності моделі).

Для реалізації підходу Тагучі до робастності необхідно провести експерименти за планом. При наявності керованих факторів процесу, що

будуть змінюватись на трьох рівнях, кількість експериментальних точок має бути кратна трьом.

Для розрахунку S/N відношень необхідно провести щонайменше три паралельні досліди в кожній експериментальній точці. Час проведення одного досліду в одній точці – 20 хвилин. Таким чином, реалізація трьох дослідів в одній точці потребує 1 годину, що є досить великим часовим проміжком. Це значить, що число експериментальних точок має бути мінімальним. Враховуючи вищесказане, приходимо до висновку, що план експерименту має містити дванадцять точок. Загальний час проведення експерименту, без урахування часу на запуски, зупинки апарату та вихід його на заданий режим, при цьому буде 12 годин.

Для наведених вище умов проведення експерименту, можливо декілька варіантів планів для реалізації підходу Тагучі. Варіанти таких планів та значення детермінанту дисперсійної матриці при побудові повної експериментально-статистичної моделі другого порядку. На думку дослідника найкращим з наведених варіантів є дані, представлені в таблиці 3.2.

Графічне зображення розміщення точок плану на кубі представлено на рис. 3.9. Курсивом на рисунку позначені точки, що лежать в “невидимій” частині куба.

Таблиця 3.2. План експерименту в кодованих координатах

| № точки | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ |
|---------|-------|-------|-------|
| 1       | 1     | 1     | 0     |
| 2       | 1     | 1     | -1    |
| 3       | 1     | 0     | -1    |
| 4       | 1     | -1    | 0     |
| 5       | 0     | 1     | 1     |
| 6       | 0     | 1     | 0     |
| 7       | 0     | 0     | 1     |

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| 8  | 0  | -1 | -1 |
| 9  | -1 | 0  | 1  |
| 10 | -1 | 0  | -1 |
| 11 | -1 | -1 | 1  |
| 12 | -1 | -1 | 0  |

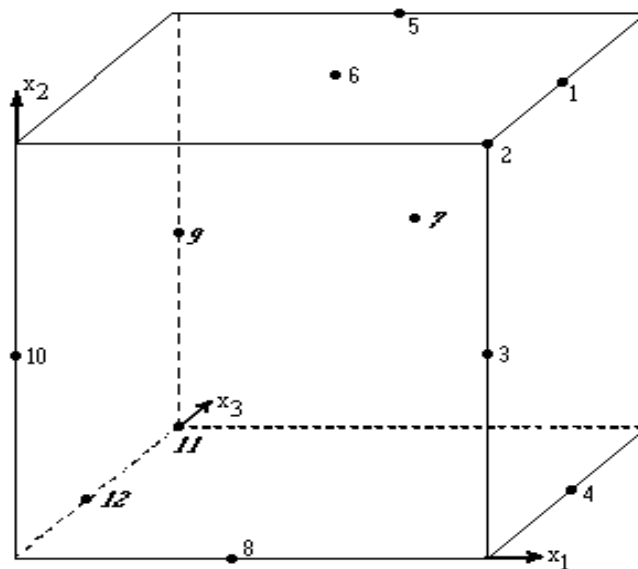


Рис. 3.9. Графічне зображення розміщення точок плану експерименту на кубі  
Характеристики наведеного плану представлені в таблиці Б.13. Детермінант дисперсійної матриці плану  $\det(X^T X)^{-1} = 2,3935 \cdot 10^{-6}$ , максимальний за модулем недиагональний елемент = 0,9375.

План експерименту в натуральних координатах представлено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. План експерименту в натуральних координатах

| № точки | $T_{BX}, ^\circ C$ | $T_{III}, ^\circ C$ | $\frac{\Delta P_{III}}{d_e}$ |
|---------|--------------------|---------------------|------------------------------|
| 1       | 64                 | 49                  | 130                          |
| 2       | 64                 | 49                  | 110                          |
| 3       | 64                 | 47                  | 110                          |
| 4       | 64                 | 46                  | 130                          |
| 5       | 62                 | 49                  | 150                          |

|    |    |    |     |
|----|----|----|-----|
| 6  | 62 | 49 | 130 |
| 7  | 62 | 47 | 150 |
| 8  | 62 | 46 | 110 |
| 9  | 60 | 47 | 150 |
| 10 | 60 | 47 | 110 |
| 11 | 60 | 46 | 150 |
| 12 | 60 | 46 | 130 |

### **Висновки до підрозділу**

Таким чином, запропонований вище тип експериментально-статистичної моделі дозволить продемонструвати переваги розширення підходу Тагучі. Запропонований план експерименту повністю задовольняє викладеним раніше вимогам і може бути використаний при постановці експерименту з пошуку роботизованих умов для проведення процесу зневоднення та гранулювання в псевдозрідженому шарі за підходом Тагучі.

#### 4. Обґрунтування модернізації

Останнім часом підприємства фармацевтичної промисловості випускають досить широкий спектр лікарських препаратів, які відрізняються за формою, способом дії, швидкістю дії та багатьма особливостями. На сьогоднішній день найбільш розповсюдженою формою лікарських препаратів є таблетки. Їх доля на ринку складає близько 80 % лікарських форм. Таблетки найбільш розповсюджені оскільки мають ряд переваг перед іншими лікарськими формами: легкість застосування та дозування, доступність широким масам.

В процесі приготування переважної кількості широко вживаних таблеток проводять такі операції як змішування, вологе гранулювання, сушка, сухе гранулювання. Існують апарати, в яких поєднані всі чотири вищезгадані операції.

Проте, навіть найсучасніше обладнання має ряд недоліків. У даному дипломному проекті проводиться модернізація апарату для гранулювання та сушки у псевдо зрідженому шарі.

Недоліками обладнання до модернізації була необхідність зупинятись для струшування рукавних фільтрів, потреба часто очищувати рукавні фільтри та інше. Після модернізації відпала потреба зупиняти процес, тепер рідше виникає потреба очищувати фільтри, зменшились витрати на електроенергію та зменшені непродуктивні затрати часу.

Предметом модернізації є встановлення електростатичного фільтру замість рукавних фільтрів та встановлення додаткового патрубку, за допомогою якого продукт, що назбирується на фільтрі, повертається до киплячого шару.

|   |   |  |                            |                         |                          |              |
|---|---|--|----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br><i>Чудовів С.О.</i> | <i>Вид документа</i><br><i>Пояснювальна записка</i>                          |                            | <i>Статус документа</i> |                          |              |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br><i>Лопка М.С.</i>   | <i>Назва, додаткова назва</i><br><i>Обґрунтування</i><br><i>модернізації</i> | <b>200501.MP.00.004.ПЗ</b> |                         |                          |              |
|   | <i>Документ затверджено</i><br><i>Гавва О.М.</i>  |  | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i>     | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i> |

В даному проекті пропонується замінити рукавні фільтри, які дорогі у використанні, потребують витрат часу на струшування, важко очищуються та не виконують свої функції максимально можливо. Запропоновано замість їх, встановити електростатичний фільтр, та встановити додатковий патрубок для повернення продукту з фільтра у киплячий шар. За рахунок запропонованої модернізації відпадає потреба робити зупинку для струшування рукавних фільтрів, що дає суттєві переваги виробництву.

## 5. Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування

### Опис будови установки

Для проведення експериментів в даному дослідженні використовується установка по зневодненню та грануляції у псевдозрідженому шарі.

Установка забезпечує стійке проведення процесів грануляції розчинів, одержання готового продукту заданого фракційного складу, оперативне керування процесом, вимір необхідних експериментальних величин і технологічних параметрів процесу. Схема установки наведена на рис. 5.1.

У режимі грануляції установка забезпечує проведення процесу зневоднення і грануляції та виготовлення готового продукту у вигляді сфероподібних частинок – гранул розміром  $1,4 \div 3,2$  мм без введення центрів грануляції протягом процесу із зовні.

Установка для вимірювання відповідних фізичних величин, що характеризують технологічний процес, має контрольно-вимірювальні прилади.

Гранулятор (1) являє собою апарат киплячого шару з прямокутною камерою і площею перерізу в зоні решіток  $F = 0.328$  м<sup>2</sup> ( $0,111 * 0,296$  м). Верхня частина камери гранулятора виконана розширеною з двох боків. Розширена частина апарата з'єднана з циклоном. Пристрій вивантаження матеріалу з шару, розміщений на рівні газорозподільної решітки (ГРР), дозволяє проводити загальне і селективне вивантаження частинок. Камера гранулятора виконана з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. До нижньої частини камери гранулятора приєднана газорозподільна решітка жалюзійного типу з можливістю зміни кута нахилу жалюзі від 4% до 10%, що забезпечує активний гідродинамічний режим та сприяє інтенсивній циркуляції частинок у киплячому шарі.

|   |  |   |                            |                         |                          |              |
|---|--|---|----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br><i>Удодов С.О.</i> | <i>Вид документа</i><br><i>Пояснювальна записка</i>   |                            | <i>Статус документа</i> |                          |              |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br><i>Лалко М.С.</i>  | <i>Назва, додаткова назва</i><br><i>Устрій та принцип роботи</i><br><i>модернізованого об'єкту</i><br><i>проектування</i> | <b>200501.MP.00.004.ПЗ</b> |                         |                          |              |
|   | <i>Документ затверджено</i><br><i>Гавва О.М.</i> |   | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i>     | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i> |

Саме це запобігає утворенню застійних зон в апараті в разі ведення інтенсивного тепло-масообміну, що маємо при зневодненні та грануляції у псевдозрідженому шарі.

Для підігрівання теплоносія до заданої температури використовують електрокалорифер (6). На вході до апарата, перед газорозподільною решіткою, встановлено хромель-копелеву безінерційну термопару. Температура теплоносія, який подається в апарат, регулюється автоматичним (або ручним) керуванням кількості секцій електрокалорифера.

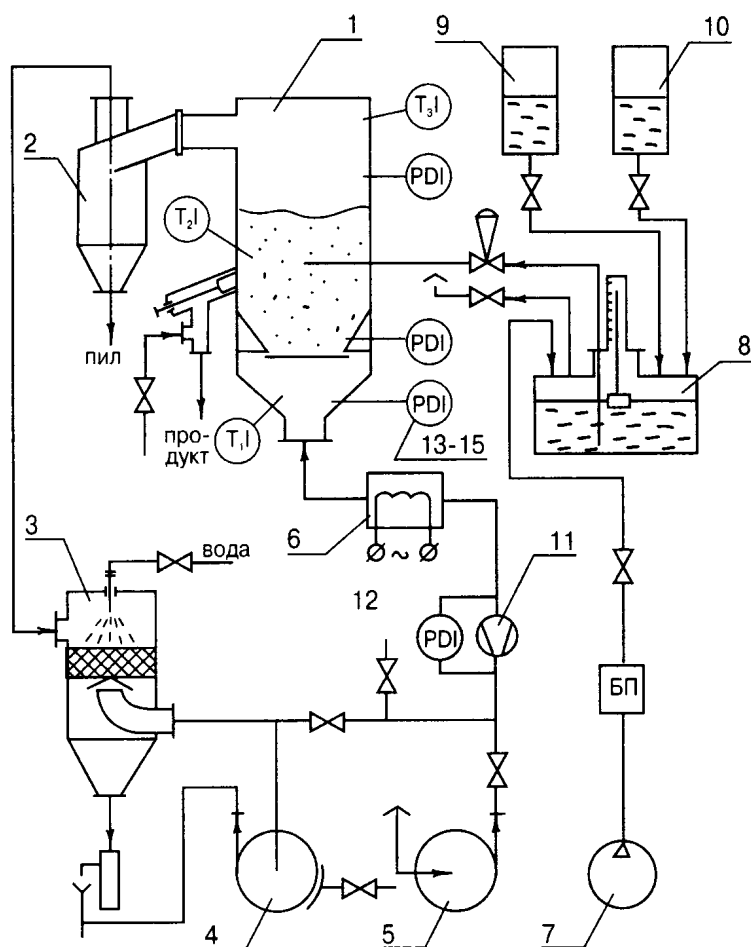


Рисунок 5.1. Схема установки:

1 - апарат із псевдозрідженим шаром; 2 - циклон; 3 - скруббер; 4 - вакуум-насос; 5 - газодувка; 6 - калорифер; 7 - компресор; 8 - бак робочого розчину; 9, 10 - ємності вихідних розчинів; 11 - камерна діафрагма; 12 - 15 — дифманометри.

Для сухого очищення відпрацьованого теплоносія використовують циклон конструкції НДОГАЗ, діаметром 150 мм. Остаточне очищення вихідних газів відбувається в прямоточному розпилюючому скрубєрі.

### **5.1. Принцип дії установки**

Установка працює наступним чином. Повітря подається до гранулятора (1) через калорифер (6) за допомогою газодувки (5), а потім відводиться із гранулятора вакуум-насосом (4). За допомогою відповідних вентилів у грануляторі можна створити розрідження або надлишковий тиск.

Витрати повітря, що надходить до калорифера (6), вимірюються за допомогою діафрагми (11). Після підігрівання повітря в калорифері до заданої температури воно подається до гранулятора (1). Рівномірний розподіл нагрітого теплоносія по всій площі гранулятора проводиться за допомогою газорозподільної решітки. Водночас у киплячий шар вводиться робочий розчин. За допомогою розподільного пристрою забезпечується рівномірний розподіл розчину по поверхні частинок у киплячому шарі. Розподільчий пристрій являє собою дисковий розпилювач.

Відпрацьований теплоносій після сухого очищення в циклоні (2) і мокрого в скрубєрі (3) відводиться вакуум-насосом для подальшого викидання в атмосферу.

Готовий продукт товарної фракції виводиться через вивантажувальний пристрій що забезпечує селективне або повне вивантаження частинок, а вловлений у циклоні матеріал вивантажується в спеціальну ємність та направляється на повторне розчинення.

## 6. Підбір конструкційних матеріалів

В машинобудуванні для фармацевтичної промисловості використовується різні конструкційні матеріали (КМ):

- 1) метали групи заліза і їх сплави між собою та з іншими елементами;
- 2) мідь і її сплави;
- 3) алюміній і його сплави;
- 4) титан, тантал, ніобій, цирконій, вольфрам і їх сплави;
- 5) скло, фарфор, кераміка;
- 6) полімеризаційні пластмаси, каучуки та гуми, вуглепластики, композиційні матеріали.

Широкий спектр КМ пояснюється різноманітністю та специфічністю вимог, що пред'являються до конструкційних матеріалів для обладнання.

КМ повинні мати:

- 1) достатню механічну міцність;
- 2) стійкість до корозійної дії речовин технологічного та навколишнього середовищ;
- 3) володіти необхідними фізичними властивостями (наприклад, хорошою теплопровідністю);
- 4) легко піддаватися механічній обробці;
- 5) не надавати інгібіторної дії на процеси, що проводяться в даній апаратурі;
- 6) не впливати на чистоту продуктів;
- 7) бути дешевими і доступними.

Однією з важливих вимог до КМ для обладнання ХФВ та його окремих вузлів (реактори, дозатори та ін.) в більшості випадків є їх корозійна стійкість, яка визначає їх довговічність.

|   |   |  |                            |                         |                          |              |
|---|---|--|----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br><i>Чудовів С.О.</i> | <i>Вид документа</i><br><b>Пояснювальна записка</b>                      |                            | <i>Статус документа</i> |                          |              |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br><i>Лопко М.С.</i>   | <i>Назва, додаткова назва</i><br><b>Підбір конструкційних матеріалів</b> | <b>200501.MP.00.006.ПЗ</b> |                         |                          |              |
|   | <i>Документ затверджено</i><br><i>Гавва О.М.</i>  |  | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i>     | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i> |

Вибір КМ для обладнання або його окремих деталей визначається їх призначенням та вимогами до якості ЛЗ.

Необхідно враховувати умови проведення технологічного процесу (температура, тиск), характеристики робочого середовища (хімічний склад, рН, абразивні включення та ін.). КМ, що контактує із технологічними середовищами, повинен мати:

- а) високу корозійну стійкість;
- б) високу механічну міцність;
- в) не повинен впливати на процеси, що проводяться в даній апаратурі (хід хімічних реакцій, адсорбувати компоненти робочого середовища та ін.);
- г) не повинен впливати чистоту продукту;
- д) повинен бути недорогим та доступним.

## 7. Розрахункова частина

### Вихідні данні:

|  |   |
|--|---|
| Разове завантаження продукту             | 30 кг;  |
| початкова вологість сировини             | $w_{\text{п}} = 5 \%$ ;                           |
| кінцева вологість сировини               | $w_{\text{к}} = 3\%$ ;                            |
| температура сировини початкова і кінцева | $\Theta_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;          |
| параметри повітря:                       |   |
| в літній час:                            | $t = 19,3 \text{ }^\circ\text{C}$ , $w = 69 \%$ ; |
| в зимній час                             | $t = -6 \text{ }^\circ\text{C}$ , $w = 89 \%$ ;   |
| температура повітря після калорифера     | $t_1 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ ;               |
| кількість гранулюючої рідини             | $V = 20 \text{ л (1 \% розчин)}$ ;                |
| в'язкість гранулюючої рідини             | $\rho_{\text{гр. р.}} = 1074 \text{ кг/м}^3$      |

### Розрахунок продуктивності

Розраховуємо час циклу роботи сушарки:

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6 + \tau_7 + \tau_8 + \tau_9$$

$\tau_{1,3,5,7,9}$  – час сушіння;

$\tau_{2,4,6,8}$  – час розпилювання;

$$\tau_{\text{ц}} = 10 + 2,5 + 15 + 2,5 + 15 + 2,5 + 15 + 2,5 + 15 = 80 \text{ хв.}$$

Кількість циклів за зміну (8 год):

$$n_{\text{ц}} = (t \cdot 60) / \tau_{\text{ц}}$$

$$n_{\text{ц}} = (8 \cdot 60) / 80 = 6$$

Продуктивність повлажн матеріалу :

$$G_1 = \frac{30 \cdot 60}{80} = 22,5 \text{ кг/год}$$

Продуктивність установки по сухому продукту:

$$G_2 = G_1 + M_{\text{кл}} - W_M$$

|   |   |  |                            |                     |                          |              |
|---|---|--|----------------------------|---------------------|--------------------------|--------------|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br>Чудов В.С.  | <i>Вид документа</i><br><b>Пояснювальна записка</b>          | <i>Статус документа</i>    |                     |                          |              |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br>Лопко М.С.  | <i>Назва, додаткова назва</i><br><b>Розрахункова частина</b> | <b>200501.MP.00.007.ПЗ</b> |                     |                          |              |
|   | <i>Документ затверджено</i><br>Гавва О.М. |  | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i> | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i> |

Кількість випарюваної вологи

$$W_m = (G_1 \cdot (1 - w_1) + V_k \cdot \rho_k \cdot (1 - w_2)) - (G_1 \cdot (1 - w_1') + V_k \cdot \rho_k \cdot (1 - w_2'));$$

Де:

$w_1$  - початкова вологість сировини;

$w_1'$  - кінцева вологість сировини;

$w_2$  - початкова вологість клейстера;

$w_2'$  - кінцева вологість клейстера;

$V_k$  - об'єм клейстера;

$\rho_k$  - в'язкість гранулюючої рідини.

$$W_m = (30 \cdot (1 - 0,95) + 0,02 \cdot 1074 \cdot (1 - 0,01)) - (30 \cdot (1 - 0,97) + 0,02 \cdot 1074 \cdot (1 - 0,97)) = 21,22 \text{ кг/цикл}$$

$$W_m = 15,915 \text{ кг/год}$$

Звідси визначаємо кількість висушеного матеріалу:

$$G_2 = G_1 + M_{кл} - W_m = 30 + 21,48 - 21,22 = 30,26 \text{ кг/цикл}$$

$$G_2 = 22,695 \text{ кг/год}$$

### Розрахунок витрати повітря, швидкості газів і діаметра сушарки

Питомі витрати теплоти в навколишнє середовище  $q_{втр} = 22,6 \text{ кДж/кг}$  (1 % від теплоти на випаровування 1 кг води).

Для визначення параметрів відпрацьованого повітря приймаємо його температуру  $t_2 = 42 \text{ }^\circ\text{C}$ , що дозволяє достатньо повно використовувати тепло сушильного агента. Звичайно температуру матеріалу в псевдорозрідженому шарі приймають на 1 – 2  $^\circ\text{C}$  нижче температури відпрацьованого повітря. Тоді температура матеріалу в псевдорозрідженому шарі буде рівна 40  $^\circ\text{C}$ .

Приймаючи модель повного перемішування матеріалу в „киплячому шарі”, можна рахувати температуру висушеного матеріалу, рівній температурі матеріалу в шарі, тобто  $t_{m2} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

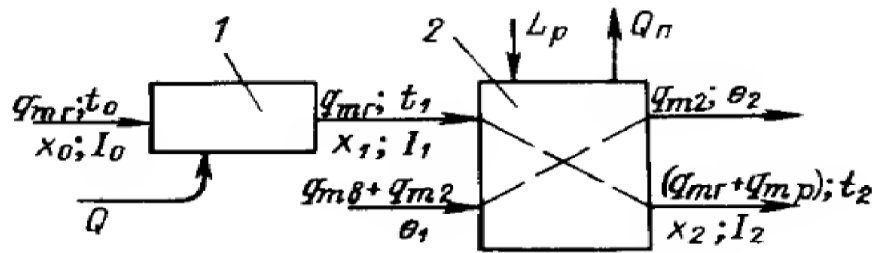


Рис. 7.1 Схема розподілу потоків речовини та тепла у сушарці.  
Визначаємо внутрішній тепловий баланс сушарки за формулою:

$$\Delta = c \cdot t_{m1} + q_{\text{дод}} - (q_{\text{тр}} + q_{\text{м}} + q_{\text{втр}}),$$

де

$c$  – теплоємність води в вологому матеріалі при температурі  $t_{m1}$ ;

$t_{m1}$  – температура початкового матеріалу;

$q_{\text{дод}}$  – додаткова кількість теплоти, яка вноситься в апарат;

при роботі сушарки за нормальним сушильним варіантом  $q_{\text{дод}} = 0$ ,  
кДж/кг води;

$q_{\text{тр}}$  – питомі втрати з транспортними засобами, кДж/кг води, в  
даному випадку  $q_{\text{тр}} = 0$ ;

$q_{\text{мат}}$  – питомі втрати теплоти з матеріалом, кДж/кг води;

$q_{\text{втр}}$  – питомі втрати теплоти в навколишнє середовище, кДж/кг води,

$\Delta$  – різниця між питомим приходом та витратами теплоти

безпосередньо в сушарці; показує відмінність реального сушарного процесу  
від теоретичного сушарного процесу.

$c_{\text{м}}$  - теплоємність висушеного матеріалу, кДж/(кг · К),

$$q_{\text{мат}} = \frac{G_{m1} \cdot c_{\text{м}} \cdot (t_{m2} - t_{m1})}{W};$$

$$\Delta = 4,19 \cdot 20 - \frac{0,0052 \cdot 0,8 \cdot (40 - 20)}{0,0032} - 22,6 = 36,73 \text{ кДж/кг.}$$

На діаграмі I-x по відомим параметрам  $t_0=19,3$  °C та  $\phi=69$  % (літній період),  $t_0=-6$  °C та  $\phi=89$  % (зимовий період) знаходимо: вологовміст  $x_0=0,0094$  кг води/кг сухого повітря та ентальпію  $I=41,5$  кДж/кг сухого повітря (літній період); вологовміст  $x_0=0,002$  кг води/кг сухого повітря та ентальпію  $I=1,5$  кДж/кг сухого повітря (зимовий час)

При нагріві повітря до температури  $t_1=70$  °C його ентальпія збільшується до  $I_1=95$  кДж/кг сухого повітря, так як нагрів сушильного

повітря здійснюється через стінку, вологовміст лишається постійним:  $x_0=x_1$ . Для визначення параметрів відпрацьованого повітря необхідно по діаграмі I-x побудувати робочу лінію сушки.

Для побудови робочої лінії сушки необхідно знати координати мінімум двох точок. Координати однієї точки відомі:  $x_1=x_2=0,0094$ ,  $I_1=95$  кДж/кг. Для знаходження іншої точки задамося довільним значенням  $x$  і визначимо відповідне значення  $I$ . Задамо довільне значення вологовмісту повітря  $x=0,03$ , і знайдемо відповідне йому значення ентальпії знаходимо за рівнянням:

$$I=I_1+\Delta\cdot(x-x_1);$$

$$I=95+36,73\cdot(0,03-0,0094)=95,6\text{ кДж/кг (для літнього періоду)}$$

$$I=76+36,73\cdot(0,03-0,002)=76,87\text{ кДж/кг (для зимового періоду)}$$

Далі проводимо лінію сушки на діаграмі I – x через дві точки з координатами  $x_1=x_2=0,0094$ ,  $I_1=95$  кДж/кг і  $x=0,03$ ,  $I_1=95,6$  кДж/кг до перетину із заданими параметрами відпрацьованого повітря  $t_2=42$  °C. Для зимового періоду  $x_1=x_2=0,002$ ,  $I_1=76$  кДж/кг і  $x=0,03$ ,  $I_1=76,87$  кДж/кг. В точці перетину лінії сушки і ізотермії 42°C знаходимо кінцевий вологовміст відпрацьованого повітря  $x_2=0,0208$  кг води/ кг сухого повітря (літній період),  $x_2=0,0128$  кг води/ кг сухого повітря (зимовий період)

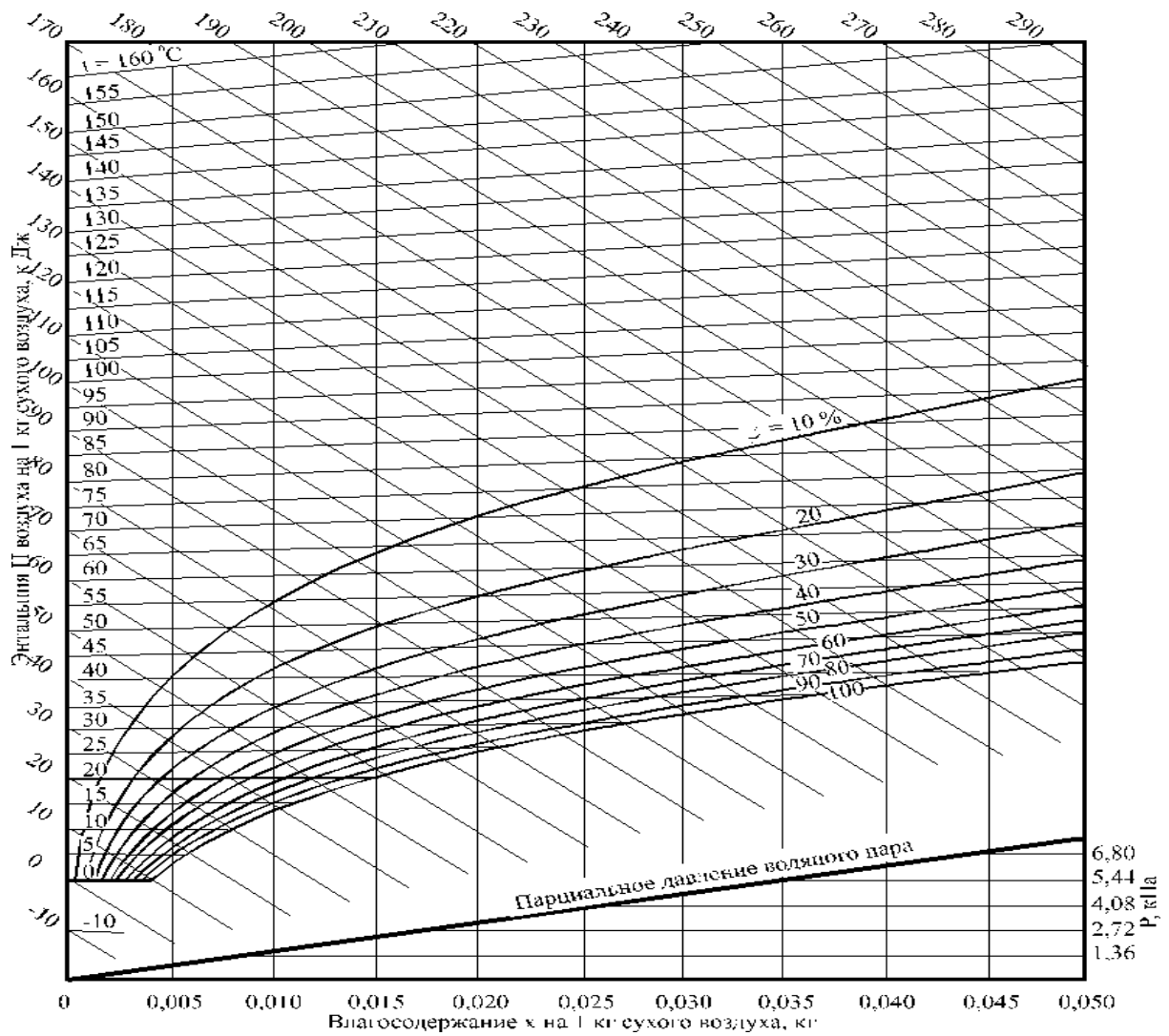


Рис. 7.2. I - X діаграма

Витрата повітря на сушку становить:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_0};$$

$$L = \frac{0.0032}{0.0208 - 0.0094} = 0,307 \text{ кг/с. (літній період)}$$

$$L = \frac{0.0032}{0.0128 - 0.002} = 0,324 \text{ кг/с. (зимовий період)}$$

Середня температура повітря в сушарці:

$$t_c = \frac{t_v + t_{вих}}{2};$$

$$t_c = \frac{70 + 42}{2} = 56 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Середній вологовміст повітря в сушарці:

$$x_{сер} = \frac{x_0 + x_2}{2};$$

$$x_{сер} = \frac{0,0094 + 0,0208}{2} = 0,0151 \text{ кг вологи/ кг сухого повітря, (літній період)}$$

$$x_{сер} = \frac{0,002 + 0,0128}{2} = 0,0074 \text{ кг вологи/ кг сухого повітря, (зимовий період)}$$

Середня густина сухого повітря та водяних парів:

$$\rho_{с.п.} = \frac{M_{с.п.}}{v_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{сер}};$$

$$\rho_{с.п.} = \frac{29}{22,4} \cdot \frac{273}{(273 + 56)} = 1,074 \text{ кг/см}^3;$$

$$\rho_{в.п.} = \frac{18}{22,4} \cdot \frac{273}{(273 + 100)} = 0,588 \text{ кг/см}^3;$$

Середня об'ємна продуктивність по повітрю:

$$V = \frac{L}{\rho_{с.п.}} + \frac{x_{сер} \cdot L}{\rho_{в.п.}};$$

$$V = \frac{0,307}{1,074} + \frac{0,0151 \cdot 0,307}{0,667} = 0,292 \text{ м}^3/\text{с.}, \text{ (літній період)}$$

$$V = \frac{0,324}{1,074} + \frac{0,0074 \cdot 0,324}{0,667} = 0,305 \text{ м}^3/\text{с.}, \text{ (зимовий період)}$$

Далі розраховуємо фіктивну (на повний переріз апарату) швидкість початку псевдозрідження:

$$\omega_{nc} = Re \cdot \mu_{cp} / (\rho_{cp} \cdot d_e).$$

$$\text{Де } Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{Ar}} \text{ - критерій Рейнольда}$$

$\mu$  – в'язкість повітря при середній температурі;

$d_e$  – еквівалентний діаметр полідисперсних

часток матеріалу;  $0,279 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

$n$  – число фракцій;

Критерій Архімеда:

$$Ar = \frac{g \cdot d^3 \cdot (\rho_r - \rho_c)}{\nu^2};$$

$$Ar = \frac{9,81 \cdot (1,35 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 1,074 \cdot 1500}{(2,2 \cdot 10^{-5})^2} = 8,02 \cdot 10^4;$$

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{Ar}} = \frac{8,02 \cdot 10^4}{1400 + 5,22 \sqrt{8,02 \cdot 10^4}} = 27,8;$$

$$\omega_{nc} = \frac{27,8 \cdot 2,2 \cdot 10^{-5}}{1,35 \cdot 10^{-3} \cdot 1,074} = 0,42 \text{ м/с},$$

де  $\mu_{\text{ср}}$  – в'язкість повітря при середній температурі;

$d_e$  – еквівалентний діаметр полідисперсних частинок матеріалу;

Верхня межа допустимої швидкості в псевдозжиженому шарі визначається швидкістю вільного винесення найбільш дрібних частинок. Ця швидкість визначається за рівнянням:

$$\omega_{\text{вин}} = \frac{\mu}{d \cdot \rho} \left( \frac{Ar}{18 + 0,575 \sqrt{Ar}} \right)$$

Критерій Архімеда для часток матеріалу діаметром 0,1 мм дорівнює:

$$Ar = \frac{9,81 \cdot (1 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 1,074 \cdot 1500}{(2,2 \cdot 10^{-5})^2} = 3,26 \cdot 10^4;$$

Швидкість вільного унесення:

$$\omega_{ce} = \frac{2,2 \cdot 10^{-5}}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,074} \left( \frac{3,26 \cdot 10^4}{18 + 0,575 \sqrt{3,26 \cdot 10^4}} \right) = 5,3 \text{ м/с}$$

Робочу швидкість сушильного агенту вибирають в межах від  $\omega_{nc}$  до  $\omega_{ву}$

Ця швидкість залежить від придільного числа псевдо зрідження

$K_{пр} = \omega_{св} / \omega_{пс}$ : при  $K_{пр} > 50$  робоче число псевдо зрідження вибирають з інтервалу від 3 до 7,  $K_{пр} < 20 - 30 - 1,5 - 3$

$$\omega_{роб} = K \omega \cdot \omega_{пс} = 2 \cdot 0,42 = 0,84 \text{ м/с};$$

де  $\omega_{роб}$  – робоча швидкість сушильного агенту.

Діаметр сушарки визначається з рівняння:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega_{роб}}} = \sqrt{\frac{0,305}{0,785 \cdot 0,84}} = 0,68 \text{ м} \approx 0,7 \text{ м}$$

### Розрахунок висоти киплячого шару

Прирівнюючи рівняння теплового балансу і рівняння тепловіддачі, отримаємо:

$$DQ = \omega \cdot \rho_{ср} \cdot c \cdot S dt = \alpha \cdot (t - t_m) \cdot dF;$$

$c$  – теплоємність повітря при середній температурі,

1000 Дж/(кг·К);

$\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$t$  – температура газу, °С;

$t_m$  - температура матеріалу, °С

$F$  – поверхня висушуемого матеріалу, м<sup>2</sup>;

$\rho_{ср}$  – густина сухого повітря при середній температурі в апараті, кг/м<sup>3</sup>.

При умові шароподібності частинок замінимо поверхню висушуемого матеріалу  $dQ$  на

$$dQ = [6 \cdot (1 - \varepsilon) / d_e] S \cdot d \cdot h,$$

де  $h$  – висота псевдозрідженого шару, м.

Розділяючи змінні та інтегруючи, отримаємо вираз при умові постійної температури частинок по висоті шару:

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

Спочатку визначимо висоту псевдозрідженого шару, необхідну для випаровування поверхневої вологи матеріалу.

Приймаючи модель повного перемішування матеріалк в псевдозрідженому шарі, можна вважати температуру матеріалу рівною температурі вологого термометра. Останню знаходимо за параметрами сушильного агента за допомогою I-x діаграми.

Вона буде дорівнювати  $t_{вм} = 30^{\circ}\text{C}$  (для літнього періоду) і  $t_{вм} = 25^{\circ}\text{C}$  (для зимового періоду).

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  визначаємо скориставшись таким рівнянням:

для  $Re = < 200$

$$Nu = 1,6 \cdot 10^2 (De / \varepsilon) \cdot Pr$$

де  $Nu = \alpha \cdot d_e / \lambda$  – критерій Нусельта;

$Pr = c \cdot \mu / \lambda$  – критерій Прандля;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності повітря при середній температурі,

Вт / (м · К).

$$\alpha = 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\lambda}{de} \left( \frac{Re}{\varepsilon} \right)^{1,3} \cdot Pr^{0,33}.$$

Пористість псевдозрідженого шару  $\varepsilon$  при відомому значенні робочої швидкості:

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

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_e \cdot \rho_{cp}}{\mu_{cp}};$$

$$Re = \frac{0,84 \cdot 1,35 \cdot 10^{-3} \cdot 1,074}{2,2 \cdot 10^{-5}} = 55,36.$$

Критерій Архімеда:

$$Ar = 8,02 \cdot 10^4;$$

$$\varepsilon = \left( \frac{18 \cdot 55,36 + 0,36 \cdot 55,36^2}{8,02 \cdot 10^4} \right)^{0,21} = 0,47 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}.$$

$$\alpha = 1,6 \cdot 10^2 \cdot \frac{0,032}{0,135 \cdot 10^{-3}} \left( \frac{55,36}{0,47} \right)^{1,3} \cdot \left( \frac{1000 \cdot 2,2 \cdot 10^{-5}}{0,032} \right)^{0,33} = 165 \left( \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right)$$

Тепер визначимо висоту псевдозрідженого шару, необхідну для випаровування вологи:

- літній період

$$\frac{42 - 30}{70 - 30} = \exp \left( - \frac{165}{0,84 \cdot 1,074 \cdot 1000} \cdot \frac{6 \cdot (1 - 0,47)}{1,35 \cdot 10^{-3}} \cdot h \right);$$

- зимовий період

$$\frac{42 - 25}{70 - 25} = \exp \left( - \frac{165}{0,84 \cdot 1,074 \cdot 1000} \cdot \frac{6 \cdot (1 - 0,47)}{1,35 \cdot 10^{-3}} \cdot h \right);$$

$$h = 0,025 \text{ м.}$$

На основі дослідів експлуатації апаратів з псевдозрідженим шаром встановлено, що висота шару  $H$  має бути приблизно в 4 рази більше висоти зони гідравлічної стабілізації шару  $H_{\text{ст}}$ , тобто  $H = H_{\text{ст}}$ .

Висота  $H_{\text{ст}}$  пов'язана із діаметром отворів розподільчої решітки  $d_0$  зі співвідношенням  $H_{\text{ст}} \cong 20 d_0$ , тобто  $H = 80 d_0$

Діаметр отворів розподільчої решітки вибирають із ряду нормальних розмірів встановленого ГОСТ 6636-69 (в мм).

Виберемо діаметр отворів розподільчої решітки  $d_0 = 2,0 \text{ мм}$ .

Тоді висота зони гідродинамічної стабілізації шару:

$$H_{\text{ст}} = 20 \cdot d_0 = 20 \cdot 2 \cdot 10^{-3};$$

Висота псевдозрідженого шару

$$H = 80 \cdot 2,0 \cdot 10^{-3} = 0,16 \text{ мм.}$$

Число отворів розподільчої решітки:

$$n = \frac{4 \cdot F_p \cdot F_c}{\pi \cdot d_0^2};$$

$$n = \frac{4 \cdot 1,78 \cdot 0,05}{3,14 \cdot 0,002^2} = 1950.$$

де  $S$  – переріз розподільчої решітки, чисельно рівний перерізу сушарки,  $\text{м}^2$ ;

$F$  – доля живого перерізу решітки, приймаємо в інтервалі від 0,02 до 0,1. Приймаємо  $F = 0,05 \text{ м}^2$ .

### Розрахунок гідравлічного опору

Основну долю загального опору  $\Delta P$  складають гідравлічні опори псевдозрідженого шару  $\Delta P_{\text{пс}}$  та решітки  $\Delta P_{\text{р}}$ .

$$\Delta P = \Delta P_{\text{пс}} + \Delta P_{\text{р}}$$

Величину  $\Delta P_{\text{пс}}$  знаходять з рівняння:

$$\Delta P_{\text{пс}} = \rho \cdot (1 - \varepsilon) \cdot g \cdot H; \quad \Delta P_{\text{пс}} = 1500 \cdot (1 - 0,47) \cdot 9,81 \cdot 0,16 = 1247,8 \text{ Па.}$$

Для задовільного розподілення газового потоку необхідно дотримуватись деякого співвідношення між гідравлічним опором шару і решітки.

Мінімально допустимий опір решітки  $\Delta P_{\text{р мін}}$  обчислюється:

$$\Delta P_{\text{р мін}} = \Delta P_{\text{пс}} \cdot \frac{k_{\omega}^2 \cdot (\varepsilon - \varepsilon_0)}{(k_{\omega}^2 - 1) \cdot (1 - \varepsilon_0)}$$

Порозність нерухомого шару  $\varepsilon_0$  для шароподібних частинок приймають рівною 0,5.

$$\Delta P_{\text{р мін}} = 1247,8 \cdot \frac{2^2 \cdot (0,47 - 0,4)}{(2^2 - 1) \cdot (1 - 0,4)} = 194 \text{ Па.}$$

Гідравлічний опір вибраної решітки:

$$\Delta P_{\text{р}} = \xi \left( \frac{\omega}{F_c} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{\text{сп}}}{2}$$

Коефіцієнт опору решітки  $\xi = 1,75$ .

$$\Delta P_{\text{р}} = 1,75 \cdot (0,84/0,05)^2 \cdot (1,074/2) = 265 \text{ Па.}$$

Значення  $\Delta P_{\text{р}} > \Delta P_{\text{р мін}}$  перевищує мінімальний допустимий гідравлічний опір решітки. Загальний опір сушарки:

$$\Delta P = 1247,8 + 265 = 1512,8 \text{ Па}$$

## Розрахунок калорифера

Для нагріву повітря до  $+150^{\circ}\text{C}$  використовуються парові калорифери. Основною величиною за якою вибираються калорифери, є необхідна площа нагріву.

Площа поверхні теплопередачі:

$$F = Q_k / (3,6 \cdot K \cdot \Delta t_{cp}),$$

$Q_k$  – теплове навантаження на калорифер, Вт

$K$  - коефіцієнт теплопередачі, кВт/(м · К)

$\Delta t_{cp}$  – середня різниця температур пари і повітря.

$\Delta t_b = 50^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta t_m = 30^{\circ}\text{C}$ .

$$\Delta t_{cp} = (\Delta t_b - \Delta t_m) / \ln((\Delta t_b / \Delta t_m))$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{50 - 30}{\ln \frac{50}{30}} = 39,2^{\circ}\text{C}$$

Теплове навантаження калорифера:

$$Q = L \cdot c_{пов} \cdot (t_{п} - t_{к})$$

$$Q = 0,315 \cdot 1000 \cdot (70 - (-6)) = 23940 \text{ Вт}$$

Значення коефіцієнта  $K$  залежить від моделі калорифера, виду теплоносія, та швидкості теплоносія.

$$K = 10 \cdot (\rho \cdot \omega_{пов})^{0,68} = 10 \cdot (1,4)^{0,68} = 20,52 \text{ кВт/(м} \cdot \text{К)}$$

$\omega_{пов}$  - швидкість повітря в калорифері.

Кількість калориферів 1 шт.

$$F = 23940 / (3,6 \cdot 39,2 \cdot 20,52) = 5,7 \text{ м}^2$$

Опір калорифера:

$$h_k = 9,81E(fv \cdot v)$$

де  $E$ ,  $m$  – емпіричні коефіцієнти ( $E = 0,153$ ,  $m = 1,73$ )

Тоді:

$$h_k = 9,81 \cdot 0,153 \cdot 4 = 16,5 \text{ Па.}$$

## Розрахунок теплоізоляції

Розрахунок теплової ізоляції. В якості матеріалу теплової ізоляції вибираємо совелит (85% магнезії + 15% асбеста), коефіцієнт теплоізоляції якої  $\lambda_{и} = 0,09$  Вт/м·К. Приймаємо температуру зовнішньої поверхні стінки  $t_{ст.з.} = 30$  °С; температуру зовнішнього середовища  $t_{в} = 18$  °С, тоді товщина шару ізоляції:

$$\delta_{и} = \frac{\lambda_{и}(t_{з.п.} - t_{ст.з.})}{\alpha_{в}(t_{ст.з.} - t_{в})},$$

де  $\alpha_{в}$  – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляції у навколишнє середовище,

$$\alpha_{в} = 8,4 + 0,06(t_{ст.з.} - t_{в}) = 8,4 + 0,06(30 - 18) = 9,72 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

$$\delta_{и} = 0,09(70 - 30) / 9,72(30 - 18) = 0,043 \text{ м.}$$

Приймаємо товщину теплової ізоляції 50 мм.

## Розрахунок трубопроводу подачі клейстера

### Розрахунок трубопроводу

Масові витрати:

$$G = w \cdot S = \rho \cdot w \cdot a^2$$

Звідси знаходимо швидкість руху рідини в трубопроводі:

$$w = \frac{G}{\rho \cdot a^2} = \frac{20}{1,074 \cdot 0,016^2} = 15 \text{ м/с}$$

$\rho_{гр.р}$  – в'язкість гранулюючої рідини кг/м<sup>3</sup>;

$a$  – поперечний переріз трубопроводу.

Еквівалентний діаметр для круглого перетину:

$$d_e = \frac{4 \cdot S}{\Pi} = \frac{4 \cdot 0,0256}{0,0256} = 4 \text{ мм};$$

Визначимо сумарні втрати напору на подолання тертя та місцевих швидкостей:

$$h_{г.н.} = \left( \lambda \cdot \frac{1}{d_e} + \sum \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}$$

$\lambda$  - коефіцієнт гідравлічного опору;

$\Pi$  – змочений периметр, м;

$S$  – площа поперечного перерізу труби;

$\xi$  - коефіцієнт місцевого опору.

Коефіцієнт гідравлічного опору для турбулентного режиму та гідравлічно гладких труб:

$$\lambda = \frac{0,3165}{\text{Re}^{0,25}} = \frac{0,3165}{32220} = 9,83$$

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d_e \cdot \rho}{\mu} = \frac{15 \cdot 4 \cdot 1,074}{0,002} = 32220$$

Коефіцієнт місцевого опору:

$$\xi_1 = 2 \cdot A \cdot B = 2 \cdot 1 \cdot 0,21 = 0,42 \quad - \text{ значення } A \text{ та } B \text{ вибираються з таблиць}$$

залежно від співвідношення діаметра кільця та радіусу округлення кільця

$$d_0/R = 335/320 = 1,05;$$

$$\xi_2 = 2,2 \quad - \text{ залежить від наявності повороту на } 90^\circ.$$

Отже:

$$h_{e.n.} = \left( 9,83 \cdot \frac{1}{4} + 2,2 + 0,42 \right) \cdot \frac{15^2}{2 \cdot 9,8} = 5,7 \text{ м.}$$

Витрати тиску на створення швидкісного потоку:

$$\Delta P_{шв} = \frac{w^2 \cdot \rho}{2} = \frac{15 \cdot 1,074}{2} = 8055 \text{ Па}$$

Витрати рідини:

$$V = w \cdot f = 15 \cdot 0,00256 = 0,0384 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр найменшого отвору форсунки:

$$d_\phi = \frac{18,8 \cdot V}{n \cdot w} = \frac{18,8 \cdot 0,0384}{3 \cdot 15} = 0,004 \text{ мм.}$$

## Розрахунок електростатичного фільтра

Мінімальна площа перетину активної зони електростатичного фільтра:

$$f_3 = \frac{K \cdot V_n}{w_n} = \frac{1,1 \cdot 0,305}{0,84} = 4,2 \text{ м}^2$$

Де:

$V_n$  – об'ємна витрата повітря м<sup>3</sup>/с;

$K = 1,1$  - коефіцієнт запасу;

$W_n = 0,8-2$  м/с – швидкість повітря в електростатичному фільтрі.

Ступінь очищення повітря в електростатичному фільтрі:

$$\eta = 1 - \exp(-w_q \cdot a)$$

Де:

$w_q$ - швидкість руху заряджених частинок у напрямку осаджувальних пластин;

$a$  – коефіцієнт який характеризує геометричні розміри електростатичного фільтра та швидкість руху повітря в ньому.

$$a = \frac{L \cdot \Pi}{f_3 \cdot w_n} = \frac{0,275 \cdot 1,43}{4,2 \cdot 0,84} = 0,111$$

$L$  – довжина осаджувального електрода, м;

$\Pi$ - активний периметр осаджувального електрода, м.

Швидкість руху заряджених частинок у напрямку осаджувальних пластин:

$$w_q = \frac{6 \cdot 10^{-2} \cdot E^2 r_q}{\mu_n} = \frac{6 \cdot 10^{-8} \cdot 6000 \cdot 2 \cdot 10^3}{2,03} = 0,36 \text{ м/с};$$

Де:

$E$ -напруженість електричного поля;

$r_q$  – середній радіус частинок, мкм;

$\mu_n$  – в'язкість повітря, Па\*с.

Отже, ступінь очищення повітря в електростатичному фільтрі:

$$\eta = 1 - \exp(-w_q \cdot a) = 1 - \exp(-0,36 \cdot 0,111) = 0,989$$

## 8. Технологія машинобудування

### Вибір вузла та аналіз характеристик виробу

В даному розділі магістерського проекту розглянуто технологію складання підшипникового вузла та його встановлення в корпус сушарки-гранулятора СГ-30

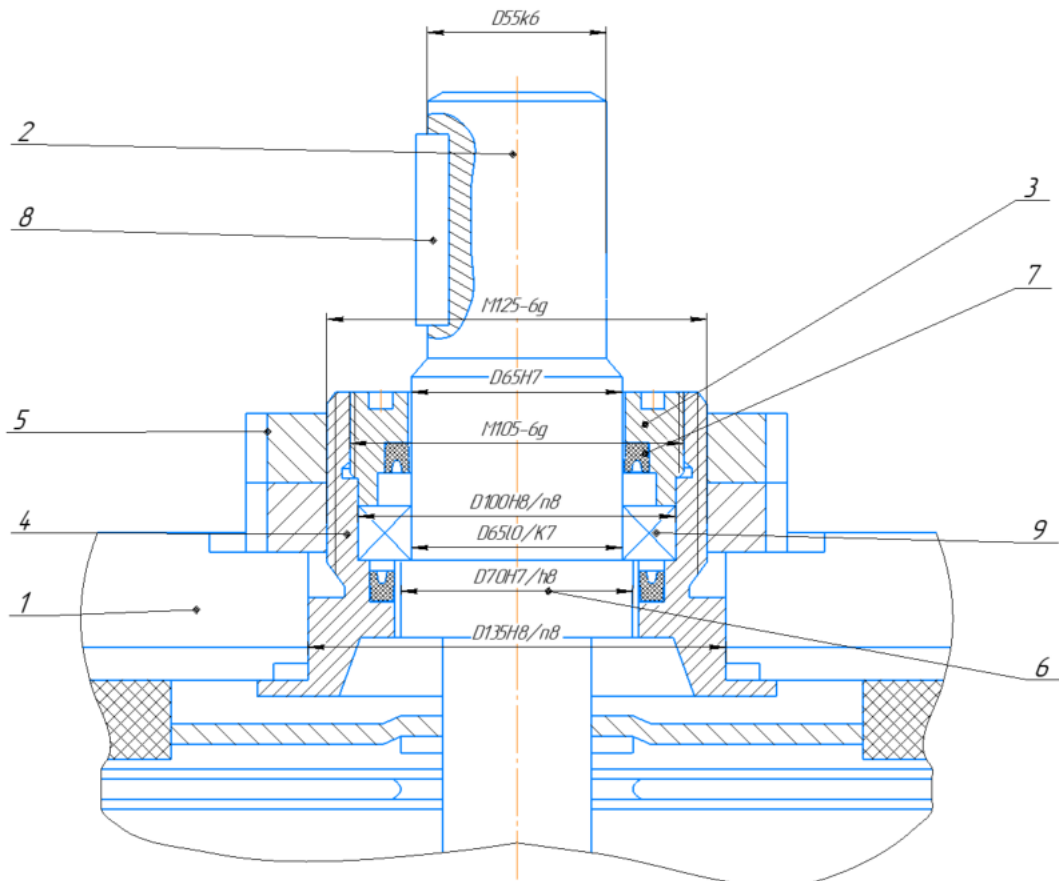


Рис. 8.1. Підшипниковий вузол сушарки-гранулятора СГ-30

|  |                                    |   |                            |              |                   |       |
|--|------------------------------------|---|----------------------------|--------------|-------------------|-------|
| Відповідальна організація<br><b>НУХТ</b> | Технічне узгодження<br>Чудов В.О.  | Вид документа<br><b>Пояснювальна записка</b>                    | Статус документа           |              |                   |       |
| Власник документа<br><b>НУХТ</b>         | Розробник документа<br>Лалко М.С.  | Назва, додаткова назва<br><b>Технологія<br/>машинобудування</b> | <b>200501.MP.00.008.ПЗ</b> |              |                   |       |
|  | Документ затверджено<br>Гавва О.М. |   | Інд. змін.                 | Дата видання | Мова<br><b>UA</b> | Аркуш |

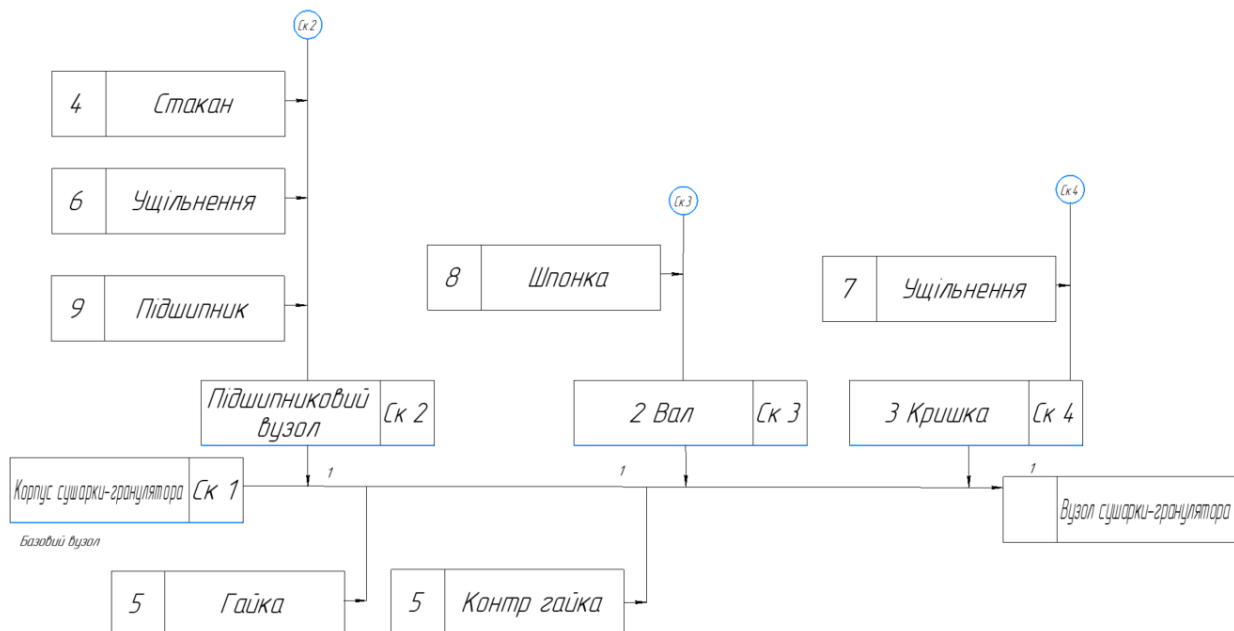


Рис. 8.2. Графічна схема складання

Таблиця 8.1. Опис подетального складу вузла

| Номер позиції деталі | Назва деталі                    | Кількість деталей |
|----------------------|---------------------------------|-------------------|
| 1.                   | Корпус сушарки-гранулятора      | 1                 |
| 2.                   | Вал                             | 1                 |
| 3.                   | Кришка                          | 1                 |
| 4.                   | Стакан                          | 1                 |
| 5.                   | Гайка М125                      | 2                 |
| 6.                   | Манжета 1-80x70-0 ГОСТ 14896-84 | 1                 |
| 7.                   | Манжета 1-80x65-0 ГОСТ 14896-84 | 1                 |
| 8.                   | Шпонка ГОСТ 10748-79            | 1                 |
| 9.                   | Підшипник 180113 ГОСТ 8882-75   | 1                 |
|                      |                                 |                   |
|                      |                                 |                   |
|                      |                                 |                   |

Таблиця 8.2. Опис технологічний маршрут складання вузла

| Номер переходу                               | Зміст переходу                                 |
|--|--|
| <b>10. Збирання підшипникового вузла СК2</b> |  |
| 10.1.  | Встановити стакан в корпус сушарки-гранулятора |
| 10.2.  | Встановити ущільнення                          |
| 10.2.  | Встановити підшипник                           |
| 10.4.  | Встановити ущільнення                          |
| 10.5   | Закріпити стакан гайкою                        |
| 10.6   | Закріпити стакан контр гайкою                  |
| <b>20. Збирання і встановлення вала СК3</b>  |  |
| 20.1.  | Встановити шпонку на вал                       |
| 20.2.  | Встановити вал в стакан                        |
| <b>30. Встановлення кришки СК4</b>           |  |
| 30.1.  | Встановити ущільнення в кришку                 |
| 30.2.  | Встановити кришку в стакан                     |
|  |  |

## 9. Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання

### Поставка обладнання

Установка поставляється на вивантаження на піддонах, в обшивці або в ящиках для морського транспортування в залежності від місцезнаходження замовника або умов продажу.

Необхідно порівняти кількість поставлених пакувальних одиниць з кількістю по накладній. Щоб запобігти пошкодженню, особливо на керуванні, установку зберігають в сухому місці. При сухому зберіганні до шести місяців не потрібні ніякі спеціальні заходи.

### Розпакування

На ящиках і обшивках спочатку слід видалити кришки та лицьові панелі. Вийняти усі незакріплені деталі і перевірити наявність транспортних пошкоджень. Якщо вони є, то потрібно негайно попередити постачальника.

На монтаж установка поступає в розібраному вигляді. Тому перед монтажем установку розпаковують, розконсервують, звільняють від змазки та перевіряють наявність всіх необхідних частин та деталей згідно пакувальної відомості.

### Порядок розміщення і монтаж

Перед монтажем апарату необхідно звернути увагу на те, щоб підлога в приміщенні була рівна. Допускається не кріпити апарат до полу. Задня чи бокова стінки апарату повинні знаходитись від стіни приміщення не менше чим 800 мм.

Потрібно підвести трубопровід подачі пара від заводської магістралі до патрубків калориферної установки. На підведеному трубопроводі необхідно додатково встановити автоматично регулюючий пристрій із манометром і запобіжним клапаном. Запірний орган повинен знаходитись на трубопроводі між апаратом і регулюючим пристроєм.

|   |  |   |                            |                         |                          |              |  |
|---|--|---|----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|--|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br><i>Удодов С.О.</i> | <i>Вид документа</i><br><i>Пояснювальна записка</i>   |                            | <i>Статус документа</i> |                          |              |  |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br><i>Лопка М.С.</i>  | <i>Назва, додаткова назва</i><br><b>Правила монтажу,<br/>експлуатації та ремонту<br/>обладнання</b> | <b>200501.MP.00.009.ПЗ</b> |                         |                          |              |  |
|   | <i>Документ затверджено</i><br><i>Гавва О.М.</i> |   | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i>     | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i> |  |

Запобіжний пристрій повинен забезпечувати доступ пара, який поступає в калориферну установку апарату. Описані вище пристрої в комплект поставки не входять і забезпечуються заводом, який експлуатує апарат.

Потрібно підвести трубопровід подачі пара зжатого повітря від заводської магістралі до пульта пневмообладнання. Тиск повітря повинен бути 0,4 МПа. Підключення електрокабелю пульта електропневмообладнання до клемної коробки.

При збиранні приточної і витяжної вентиляції виходи на зовні повинні бути зроблені найкоротшим шляхом, а кількість ізгибів повітроводів повинно бути мінімальним. Для усунення значного опору повітря необхідно збільшити січення каналів в 1,2 – 1,5 разів в порівнянні із приєднаними фланцями. Всмокчуючий і нагнітальний повітроводи повинні мати в місцях кріплення їх до апарату резинові прокладки, які виключають передачу вібрацій від апарата до повітроводу.

Перевірку напрямку обертання електродвигуна, вентилятора, який повинен відповідати показнику стрілки на електродвигуні. У випадку неправильного напрямку обертання кількість повітря, який відсмоктується вентилятором знижується на 40-50 %. Перед включенням вентилятора необхідно перевірити надійність кріплення крильчатки на валу електродвигуна.

Потрібно зробити перевірку розрідження, яке створює вентилятор. При цьому шибер повинен бути відкритий, решітку в продуктовому резервуарі закрити ватманським папером знизу. Розрідження в цьому випадку повинно бути не менше 340 мм вод. стовпчика. Напір вимірюється тягонапорометром. Відкрити повністю шибер, заміряти продуктивність вентилятора, яка повинна бути не менше 1400 м/год. Відрегулювання тиску в пневмосітці із допомогою регулятора тиску, настройку здійснюють по манометру на тиск 3 кгс/см.

## Підготовка до роботи

Перевірка апарату холостою ходою (без завантаження матеріалу). Включення крану і трьохходового клапана. При цьому повітря через кран, вологовідділювач, регулятор тиску потрапляє в полость управління повітро - розподілювача. Повітря через повітро – розподілювач через дросель із зворотнім клапаном проходить в безштокову порожнину циліндру. Шток циліндру переміщується вгору і піднімає об'ємну рамку.

Для опускання піднімальної рамки тумблер трьохходового клапана встановить в положення „Опускание”. При цьому повітря із повітророзподілювача через дросель із зворотнім клапаном потрапляє в штокову порожнину циліндра. Поршень циліндру опускається і підйомна рамка опускається. Переміщення і опускання рамки повинно відбуватися

плавно і рівно за заданий проміжок часу. Регулювання швидкостей піднімання рамки здійснюється дроселями із зворотнім клапаном. Для цього необхідно ослабити контргайку і обертати за часовою стрілкою корпус дроселя для збільшення швидкості переміщення, і проти часової стрілки для зменшення швидкості переміщення рамки. По закінченню регулювання контргайку затягують.

Дуже важливим є також монтаж фільтра, який затримує частини продукту. Для монтажу фільтра необхідно на нижню частину підкласти захисну плиту, на неї раму фільтра. Центрувальний стержень з'єднати з підвісним кільцем фільтра, встановити болти та зафіксувати карабінними крюками. Необхідно слідкувати за тим, щоб силіконова стрічка правильно лежала на рамі фільтра. Рукава фільтра закріпити на карабінних крюках та защепнути на підвісному кільці фільтра. При цьому необхідно слідкувати за тим, щоб рукава фільтра скрутилися між собою. Вивільнити швидко рознімне з'єднання пневматичного ущільнення фільтра від вставного болта і знову з'єднати з надувними ущільненнями. Заправити натяжну стрічку в кромку фільтра (але ще не замикає). Кромку фільтра натягнути на раму

фільтра і замкнути натяжну стрічку. Підвісне кільце фільтра і раму фільтра з'єднати за допомогою фіксувальних тросів, щоб під час процесу вібрації вантаж фільтруючого пристрою висів на рукавах фільтра. Замикаючий кабель з'єднати між підвісним кільцем фільтра і рамою фільтра, а також між підвісним кільцем та вібраційним циліндром.

Перед тим, як підняти фільтрувальний пристрій, необхідно перевірити наступне: встановлений чи вставний болт на своє місце та чи зафіксований він з карабінним крюком; петля встановлюючого фільтра повинна кріпитися на карабінному крюці, що має різьбове з'єднання. Це є додатковим засобом безпеки для всієї фільтруючої системи.

Монтаж клапана миттєвого спрацювання відбувається наступним чином: спочатку необхідно перевірити шкіряне сальфонне ущільнення. Для цього послаблюємо болти і знімаємо нижню частину клапана. Стиснуте повітря подаємо на циліндр клапана, щоб вивести поршневий шток. Викручуємо різьбовий фіксатор. Тарілку клапана відкручуємо від поршневого штоку. Від'єднуємо затискачі для трубок, дістаємо ущільнення і перевіряємо його, потім закріплюємо за допомогою зажимів. Подаємо стиснуте повітря на циліндр та тарілку клапана, прикручуємо на виведений поршневий шток. Прикручуємо нижню частину корпусу і корпус клапана в комплекті, вмонтовуємо в трубопровід. Кожний клапан миттєвого спрацювання має балон з азотом. Клапан миттєвого спрацювання та балон з азотом з'єднані між собою спеціальним вентиляем.

Як тільки включається вентилятор, автоматично відкривається противозаморожувальна заслінка. При вимиканні вентилятора заслінка закривається.

Після монтажу необхідно провести наладку зібраної установки. По-перше необхідно перевірити на герметичність циліндр в клапані миттєвого спрацювання. Необхідне керування ввімкнути, вентилятор вимкнути. Відчепити обидва шланга стиснутого повітря. Один з двох підключень

змочити ущільнювальним аерозолем. На інше, ще вільне підключення, насаджують шланг з подачею стиснутого повітря. Можлива негерметичність циліндра видна за рахунок появи бульбашок на вільному кінці підключення і за рахунок шуму повітря, що виходить. Перевірити шланг та звільнившись кінець підключення також змочити ущільнюючим аерозолем.

Підключення електрики і пневматики.

Електричні кабелі живлення і трубопроводи стиснутого повітря підключаються згідно електричної і пневматичної схем.

Гідравлічне масло потрібно заливати, коли візок знаходиться в нижньому положенні. Рівень заповнення контролюється за датчиком рівня масла. Для заповнення масляного бака можна використовувати звичайний ручний ричаговий всмоктуючий насос, який використовується, наприклад, для спустошення бочок з маслом.

Електричне підключення повинно проводитися професійним електриком. Пройти всі робочі положення без вантажу.

Кілька разів пройти всі робочі положення з максимальним навантаженням.

Перевірити на щільність і при необхідності підтягнути різьбові з'єднання гідравліки.

### **Обслуговування та експлуатація**

На основній системі керування установки з киплячим шаром можна набирати температуру приточного повітря, і нормальне значення потрібно встановлювати на регуляторі.

По причинах безпеки і для спрощення обслуговування включені різні зафіксовані схеми.

Вентилятор вмикається лише тоді, коли надувні ущільнювачі готові до роботи:

- ущільнювати ємкість для матеріала;
- ущільнювати фільтр.

Заслінки для приточного і відточного повітря відкриваються лише тоді, коли вентилятор працює на повну потужність. Аварійні клапани відкриваються вібразу при включенні вентилятора.

Робоча здатність надувних ущільнювачів постійно контролюється. Якщо один з сигналів відсутній, то вентилятор одразу автоматично вимикається і заслінки для приточного і відточного повітря, а також аварійні клапани закриваються.

Тиск гідросистеми, тиск у надувних ущільнювачах і температура відточного повітря показують аналогові вимірювальні прилади.

Встяхування витяжного фільтру відбувається за допомогою кнопочного вмикача або автоматично ввімкнено в процесі керування. В процесі встряхування переривається розпилююча і кипляча фази, і частинки дрібного пилу потрапляють назад у ємкість для матеріала.

Вимірювальний датчик температури виступає у киплячий шар. Він передає данні для керування температурою на блок керування. Граничні і номінальні значення вводяться до блоку керування. Інтервали і час встряхування можна встановлювати на датчик часового циклу.

Вимірювач різниці тисків встановлено на ступені фільтра блока підготовки приточного повітря, на фільтрі продукту (знизу) і на фільтрі продукта (зверху).

Автоматичне всмоктування і відсмоктування продукта можливо лише тоді, коли відповідні заслонки відкривають і розпилюючий насос відключено.

При експлуатації та обслуговуванні установки необхідно використовувати наступні умови:

1) перед експлуатацією необхідно пересвідчитись, що переробляемий продукт не утворює пил з вищим класом, ніж 1 і 2;

2) сторони каналів і апаратів, що знаходиться з боку подачі повітря, монтуються за пристроєм нагріву, мають температуру  $> 60^{\circ} \text{C}$ . Ці частини необхідно ізолювати;

3) установка повинна бути заземлена;

4) до роботи з установкою допускаються працівники, які пройшли відповідне навчання і ознайомлені з технікою безпеки;

5) перед тим, як матеріал (твердий матеріал, розбризкуюче середовище, дезінфекційний, чистящий розчин ) ввести в установку, необхідно не в установці перевірити його сумісність з використовуємим матеріалом установки і при встановлених експлуатаційних умовах (тиск, температура, вологість);

6) установка може використовуватись лише в бездоганному технічному стані, а також згідно правилам, при впевненості в надійності і безпеці, при дотриманні даної інструкції по експлуатації. Необхідно терміново ремонтувати ушкодження, які можуть впливати на безпеку;

7) запасні частини повинні відповідати технічним вимогам, визначеним виробником;

8) до роботи з електричним обладнанням установки допускаються лише професійні електрики або обучені особи під керівництвом і поглядом професійного електрика, згідно електротехнічних правил;

9) всі електричні установки, які експлуатуються у вибухонебезпечних приміщеннях мають вибухонебезпечний захист;

10) вентилятор дозволяється вмикати лише тоді, коли завершені всі роз'єднання (комунікації) установки;

11) при використанні аварійного ключового вимикача, відповідальний за нього оператор повинен зняти ключ перед вводом установки в експлуатацію і взяти його до себе на зберігання. Цим попереджується, наприклад, зміна параметрів під час процесу, зупинка та

вмикання процесу непередбаченим для цього особам, травмування обслуговуючого персоналу під час проведення профілактичних робіт, так як особа може перемкнути режим сервісного обслуговування на робочий режим;

12) електротехнічні роботи мають проводитись ізольованими інструментами і лише професійно навченим персоналом;

13) перед експлуатацією необхідно пересвідчитись, що установка має заземлення в одній спільній точці;

14) перед тим, як підняти фільтр для затримання продукту необхідно пересвідчитись в тому, що запобіжні затискачі (карабінні крюки) для підвішування фільтра знаходяться на визначеному місці;

15) необхідно регулярно перевіряти і очищувати канали витяжного та приточного повітря, щоб видаляти потенційне відкладання пилу та стираємих частинок, які при технічному огляді та обслуговуванні (наприклад, зварні роботи) можуть стати причиною вибуху;

16) відчинити дверцята обслуговування в процесі роботи установки забороняється. Пересвідчитись в тому, що фіксатори зачинені;

17) не допускається видаляти з'єднувальні деталі;

18) не допускається перекривати запобіжники, вимикачі та теплові реле. У випадку переривання подачі необхідно повідомити про це обслуговуючий персонал;

19) не допускається відкривання ревізійних отворів вентилятора під час його роботи;

20) для забезпечення працездатності клапана миттєвого спрацювання необхідно в установлені проміжки проводити технічні перевірки;

21) з метою забезпечення гарної роботи установки не допускається засмічення фільтра затримання продукту, при закупорці фільтра його необхідно замінити;

22) перед пуском в експлуатацію необхідно закрити всі ілюмінатори, отвори та дверцята технічного обслуговування. Демонтувати всі вбудовані в установку промивні форсунки і закрити всі отвори заглушками. Заглушка стоку води має бути закрита. Ввімкнути керування. Фільтр утримання продукту має бути вмонтований і загерметизований. Вибрати всі необхідні параметри і відповідно завантажити програму. Висунути продуктивний бункер і заповнити обробляємим матеріалом. Повернути бункер в установку. Закрити та загерметизувати бункер.

Технологічний процес можна починати тоді, коли бункер введено, закрито і загерметизовано.

Порядок роботи.

Перед початком роботи залити рідину в бачок. Провірити подача електромережі, зжате повітря и пар до апарату. Провірити чистоту і надійність закріплення форсунки.

Основний продукт засипається у відведену ємкість для матеріала, яка після цього вводиться в машину і механічно блокується. Після цього ємкість для матеріала ущільнюється. Лише, якщо тиск ущільнення складає 3,5 бар, машина готова до роботи і можна вмикати вентилятор.

Як тільки вентилятор працює, можна відкривати заслінки приточного і витяжного повітря і при необхідності налаштувати.

На регуляторі встановлюють бажану температуру приточного повітря. Якщо це зроблено, теплообмінник відразу починає підігрів технологічного повітря.

Після звичайно короткої фази нагрівання при процесі гранулювання починають вприскування агломеруючої рідини. Для цього вмикається насос у шафі керування. Потужність насоса (продуктивність) можна регулювати зміною кількості обертів насоса на насосному агрегаті. В якості стандартних насосів використовують рукавні насоси.

Яку кількість рідини за одиницю часу можна вприскувати, залежить від наступних факторів:

- вид продукта;
- значення температури процесу;
- в'язкість розпилюючої рідини;
- типорозмір установки (кількість продукта);
- вид і величина сопла (сопло з одною, трьома або шістьма насадками).

На основі часу сушки і гранулювання визначених в залежності від продукта (попередні випробування), можна встановити час проходження процесу за датчиком загального часу.

Під час встряхування витяжного фільтра процес вприскування автоматично преривається, поки продукт знову не опиниться у киплячому русі.

Після фази розпилення досушують як омога більшою температурою процесу, поки температура відточного повітря не стане постійною.

Якщо набраний час процесу вийшов, установка вимикається. За допомогою спеціального керування час процесу можна також набирати за допомогою максимальних контактів, які включаються в залежності від встановленої температури відвідного повітря або продукту.

Лише, коли вентилятор вимкнено, можна опускати і розвантажувати ємність для матеріалу.

Рекомендовано перед зняттям ємності для матеріалу витяжний фільтр ще раз встряхувати, щоб як омога менше продукту залишалось на рукавах витяжного фільтра.

## 10. Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування

### Аналіз параметрів технологічної схеми

Автоматизація процесу є найважливішим етапом проектування виробництва не залежно від його специфіки. Також на даному етапі максимально виключають людський труд, тому що людина не в змозі контролювати та швидко реагувати на різні зміни параметрів апаратів виробництва. Дуже важливо знизити людський фактор, для запобігання помилок. З цією метою задаються рівні параметрів та способи їх керування.

Автоматизація виробничих процесів - використовує відомі методи і засоби для систем, що здатні управляти технологічним процесом без участі людини.

Автоматичний контроль та керування технологічними процесами забезпечують високу якість продукції, раціональне використання сировини та енергії, подовження термінів міжремонтного пробігу устаткування, зменшення чисельності технічного персоналу:

Метою технологічного процесу, що розглядається у даній роботі, є виробництво фармакологічних пігулок:

Головними задачами, що вирішуються, є такі:

захист від екстремальних факторів зовнішнього середовища (ударів, стирання);

захист від впливів навколишнього середовища (світло, волога, кисень і вуглекислий газ);

маскування неприємного смаку і запаху, що містяться в таблетках лікарських речовин;

захист від фарбувальний здатності лікарських речовин, що містяться в таблетках (наприклад, таблетки активованого вугілля);

|   |  |   |                            |                         |                          |              |
|---|--|---|----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br><i>Удадов С.О.</i> | <i>Вид документа</i><br><i>Пояснювальна записка</i>   |                            | <i>Статус документа</i> |                          |              |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br><i>Лапка М.С.</i>  | <i>Назва, додаткова назва</i><br><i>Автоматичний контроль та</i><br><i>управління об'єктом</i><br><i>проектування</i> | <b>200501.MP.00.010.ПЗ</b> |                         |                          |              |
|   | <i>Документ затверджено</i><br><i>Гавва О.М.</i> |   | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i>     | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i> |

захист містяться в таблетках лікарських речовин від кислої реакції шлункового соку;

захист слизової рота, стравоходу і шлунку від подразнюючої дії лікарських речовин;

локалізація терапевтичної дії лікарських речовин в певному відділі шлунково-кишкового тракту;

продовження терапевтичної дії лікарських речовин в таблетках;

подолання несумісності різних речовин, що знаходяться в одній таблетці, шляхом введення їх до складу оболонки і ядра;

поліпшення товарного вигляду таблеток і зручності їх застосування.

Аналіз технологічної схеми показав, що для забезпечення нормальної роботи підприємства, безпечного протікання процесу та для отримання якісного кінцевого продукту, потрібні такі контури автоматизації:

регулювання температури в теплообміннику з сорочкою;

контроль вологості та температури гранулята в грануляторі;

регулювання вологості та температури ядер пігулок в сушарці;

контроль витрати постачання допоміжних речовин в теплообмінник з сорочкою;

регулювання температури в теплообміннику з сорочкою;

контроль тиску та температури в реакторі (11);

контроль тиску та температури в реакторі (12);

контроль швидкості обертання, контроль та сигналізація витрат речовин які поступають з форсунки в коутері;

контроль температури запайки блістерів.

Тому на підставі даного аналізу технологічної схеми було визначено необхідний рівень автоматизації виробництва. В результаті чого, було обрано регульовані і регулюючі параметри, об'єкти автоматизації, а також визначено параметри контролю та регулювання.

Відповідно для обраних параметрів регулювання, були вибрані місця для заміру параметрів на технологічному об'єкті та номінальні значення параметрів. Всі дані про необхідні параметри регулювання та контролю виробництва наведено в таблиці 10.1.

На основі обраних параметрів обирають технічні засоби автоматизації. Засоби автоматизації підбирають, враховуючи особливості технологічного режиму. При цьому слід дотримуватися наступних правил:

для регулювання однакових параметрів технологічного процесу застосовуємо однотипні засоби автоматизації;

клас точності приладів повинен відповідати технологічним вимогам;

діапазон вимірювання приладів повинен відповідати діапазону технологічних параметрів, що регулюються.

На основі наведених даних у таблиці 10.1 та правил, розроблено схему автоматизації процесу покриття пігулок оболонкою. Для даної схеми підбрані необхідні технічні засоби (первинні та проміжні перетворювачі, вторинні прилади, регулятори, виконавчі механізми тощо) за допомогою каталогів виробників технічних засобів автоматизації. Засоби автоматизації представлені в специфікації, яка наведена в додатку В.

### **Опис розробленої схеми автоматизації**

#### **Контроль температури**

Для контролю та регулювання температури в апаратах технологічної лінії було обрано термоперетворювач опору мідний ТСМ 9623 (поз. 6-1, 7-1, 8-1, 9-1, 10-1, 11-1, 12-1), діапазон вимірювання температури 0-120 °С.

Призначений для вимірювання температур рідких, твердих та сипучих речовин. Значення опору перетворюється в уніфікований сигнал 0 - 5 мА. Отриманий уніфікований сигнал з датчика поступає на електричний ПІД - регулятор (поз. 6-2, 7-2, 8-2, 9-2, 10-2, 11-2, 12-2) з вихідним сигналом 0 - 5 мА. З регулятора сигнал поступає на виконавчий механізм з вхідним сигналом 0 - 5 мА.

Таблиця 10.1. – Параметри контролю та регулюванням виробництва

| № п/п | Назва стадії процесу, місце заміру параметру | Назва параметру, що контролюється чи регулюється | Норми технологічного режиму та допустимі відхилення | Вимоги до рівня автоматизації |
|-------|--|--|---|-------------------------------|
| 1     | Теплообмінник                                | Температура                                      | 30±2°C  | контроль, регулювання         |
| 2     | Гранулятор                                   | Вологість  | 20%   | контроль                      |
| 3     | Гранулятор                                   | Температура                                      | 30±1,5°C  | контроль                      |
| 4     | Сушарка                                      | Вологість  | 7%  | контроль                      |
| 5     | Сушарка                                      | Температура                                      | 65±3,25°C   | регулювання                   |
| 6     | Трубопровід вивантаження допоміжної речовини | Витрата  | 10±0,5 м3/год                                       | контроль                      |
| 7     | Реактор (11)                                 | Температура                                      | 60±1°C  | контроль                      |
| 8     | Реактор (11)                                 | Тиск   | 0,6МПа  | контроль                      |
| 9     | Реактор (12)                                 | Температура                                      | 40±1°C  | контроль                      |
| 10    | Реактор (12)                                 | Тиск   | 0,4МПа  | контроль                      |
| 11    | Коутер                                       | Швидкість об.                                    | 24 об/хв  | контроль                      |
| 12    | Коутер                                       | Витрата  | 0,05 м3/год   | контроль та сигналізація      |
| 13    | Апарат формування блістерів                  | Температура                                      | 100±10°C  | контроль                      |

### Контроль витрат

В якості первинного перетворювача витрат будемо використовувати діафрагму камерну ДКС 10 - 50 (поз. 1-1), умовний тиск вимірювального середовища в трубопроводі 10 мПа. Діаметр труби становить 50 мм. З діафрагми камерної далі передається сигнал на дифманометр мембранний ДМ - 3583М, який перетворює величину перепаду тиску в уніфікований вихідний сигнал.

### Контроль та регулювання тиску

Для ефективного контролю тиску було вибрано перетворювач тиску вимірювальний (4-1, 5-1). Призначений для вимірювання перепаду тисків,

надлишкового, абсолютного тисків з верхніми межами вимірювань від 0,025 до 27580кПа. У моделях Rosemount 3051T і 3051CA для вимірювань використана технологія п'єзо резистивних сенсорів. Основними компонентами моделі Rosemount 3051 є сенсорний модуль і блок електроніки. У сенсорний модуль входять сенсорна система, заповнена маслом (розділова мембрана, система заповнення маслом і сенсор) і електронна частина. Електроніка сенсора встановлюється всередині сенсорного модуля і включає в себе температурний сенсор (температурний перетворювач опору), модуль пам'яті і перетворювач ємнісного сигналу в цифровий (C/D перетворювач).

### **Контроль вологості**

Для вимірювання вологості в грануляторі та в сушарці, обрано вологомір Мікрорадар 113K11K (поз. 14-1, 14-2, 14-3, 15-1,15-2, 15-3). Призначений для вимірювання вологості твердих, сипучих та пластичних матеріалів.

Даний прилад вимірює величину поглинання МХВ енергії вологим матеріалом і перетворює дану величину в цифровий код, відповідний вологості матеріалу. Сигнал сенсорів надходить в мікропроцесорний блок обробки, в якому відбувається обчислення вологості. Величина вологості показується на індикаторі табло мікропроцесорного блоку і перетворюється в аналогові виходи 4 - 20 мА. По каналу RS485 вологість, температура і сигнали сенсорів можуть передаватися в комп'ютер.

### **Контроль швидкості обертання**

Для контролю швидкості обертання барабана коутера був підібраний тахометр (поз. 15-2) оптичний дистанційний з цифровим виходом ДО - 03 - 04.

Даний тахометр використовує безконтактний принцип вимірювання частоти. Випромінювання і прийом світлового променя, відбитого від світло відбиваючої мітки, прикріпленою до видимої частини обертових механізмів в

даному випадку барабану. Прийнята послідовність відбитих сигналів перетворюється в послідовність імпульсів рівня 3 В ТТ-логіки. Отримана послідовність імпульсів перераховується програмою мікроконтролера в значення об / хв, які відображаються на шестизначному сегментному дисплею тахометра. Тахометр має також світлодіодний індикатор для контролю прийому променя, відбитого від світло відбиваючої мітки.

### **Контроль подачі сировини**

Для подачі сировини в збірник був підібраний пристрій безперервного вагового дозування Piovani Lybra LG.

Даний апарат має спеціальну системою управління по втраті ваги для вимірювання кількості сировини, що подається шнеком - дозатором до статичного збірника. В пристрій вбудований єдиний екран з інтуїтивними графічними інтерфейсами дозволяє оператору контролювати роботу всієї системи, порівнювати попередні налаштування дозування з фактичними значеннями, миттєво перевіряти дані виробництва і отримувати доступ до всіх функцій установки.

### **Контроль та підрахунок отриманої продукції**

Для підрахунку готової продукції був вибраний лічильник імпульсів СИ1 РЗЩ (поз.3-1, 3-2). Даний пристрій призначений для цифрового підрахунку об'єктів або одиниць імпульсів, які надходять на вхід лічильника від кінцевих вимикачів, кнопок, безконтактних датчиків та включених виконавчих пристроїв після досягнення заданого значення результату розрахунку.

## 11. Охорона праці

Під охороною праці розуміють систему заходів щодо забезпечення умов охорони та високої продуктивності праці.

Міцність законів, обов'язкових до виконання, мають правила безпеки і норми виробничої санітарії, а також технічні умови на обладнання та матеріали.

На кожному об'єкті робіт повинні бути інструкції з охорони праці для працівників за видами та умовами роботи, про показання першої медичної допомоги, з пожежної безпеки, а також попереджувальні знаки та знаки безпеки.

Працівники та спеціалісти відповідно до затверджених норм мають бути забезпечені та зобов'язані використовувати спеціальний одяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту.

Працівники повинні проходити обов'язкові умови для роботи, а також періодичні медичні огляди з оформленням профілю та умов їх роботи в порядку, встановленому наказом Міністерства охорони здоров'я Республіки Казахстан.

Управління підйомними механізмами, горнопрохідним та обогатильним обладнанням, контрольно-вимірювальною апаратурою, а також обслуговування двигунів, електроустановок, сварочних та інших устаткування службовими особами, які мають посвідчення, дає право на виробництво цих робіт, що мають відповідну групу безпеки по електроності.

На підприємстві повинна працювати система управління охороною праці, спрямована на запобігання травматизму, професійним захворюванням, дорожньо-транспортним пригодам, пожежам та виключення передумов для їх відновлення.

|   |   |   |                            |                         |                          |              |
|---|---|---|----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br><i>Чудовів С.О.</i> | <i>Вид документа</i><br><i>Пояснювальна записка</i>   |                            | <i>Статус документа</i> |                          |              |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br><i>Лопка М.С.</i>   | <i>Назва, додаткова назва</i><br><b>Охорона праці</b> | <b>200501.MP.00.011.ПЗ</b> |                         |                          |              |
|   | <i>Документ затверджено</i><br><i>Гавва О.М.</i>  |   | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i>     | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i> |

## **Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів у виробництві**

Небезпечним виробничим фактором називають такий виробничий фактор, дія якого на працюючу людину за певних умов призводить до травмування або до іншого раптового, різкого погіршення здоров'я.

Шкідливим виробничим фактором називають виробничий фактор, дія якого на працівника за певних умов призводить до захворювання або зниження працездатності. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

Найбільш небезпечними фізичними факторами є: рухомі машини та механізми; різноманітні підйомно-транспортні пристрої та рухомі вантажі; незахищені рухомі елементи виробничого обладнання (приводні та трансмісійні механізми, ріжучий інструмент, обертові та рухомі пристрої тощо); подрібнення частинок оброблюваного матеріалу та інструменту, електричний струм, підвищення температури поверхні обладнання та оброблюваних матеріалів тощо.

Шкідливими для фізичного здоров'я є фізичні фактори: підвищення або зниження температури повітря в робочій зоні; висока вологість і швидкість руху повітря; підвищений рівень шуму, вібрації, ультразвуку та різноманітних випромінювань – теплових, іонізуючих, електромагнітних, інфрачервоних тощо. До шкідливих фізичних факторів належать також теплове забруднення та газифікація робочої зони; недостатнє освітлення робочих місць, проходів і прохідів; підвищена яскравість світла і пульсація світлового потоку.

Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори за характером дії організму людини розділяються на наступні підгрупи: загальнотоксичні, подразжуючі, сенсibiliзуючі (викликаючі алергічні захворювання), канцерогенні (викликаючі розвиток опухолей), мутогенні (діючі на полові клітини організму). До цієї групи входить велика кількість пар і газів.

Мікроорганізми (бактерії, віруси тощо) та макроорганізми (рослини та тварини), які є біологічно небезпечними та шкідливими виробничими факторами, впливають на наслідки травм або захворювань на працівників.

Фізичне перевантаження (статична і динамічна) і нервово-психічне перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження) аналізаторів відносяться до психофізіологічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Основною роботою з техніки безпеки в організаціях є впровадження на кожній ділянці, кожному місці роботи безпечної технології та організації праці, передових засобів захисту, навчання кожному робочому запобіжному приладу.

Особлива увага приділяється основним виробничим і професійним небезпекам під час бурових робіт, на які слід звертатися як попередження.

Для роботи характерні небезпеки, що залучають механізовані види робіт і виникають при контакті працюючих з механізмами, інструментами, матеріалами та порушення технологічного процесу, основна причина порушення законодавства.

Виробничі процеси та операції, а також їх окремі елементи, при яких найчастіше можуть викликати небезпечні моменти, вимагають підвищеної уваги до точок зору безпеки праці.

При виконанні робіт, пов'язаних з ліквідацією аварії, виникають небезпечні моменти при використанні домкратів, амортизаторів і вібраторів.

Шкідливими виробничими факторами в роботі є: умови підвищеної складності, недостатнє освітлення, виробнича зола, шкідливі та отруйні гази, радіоактивні викиди, шум, вібрація.

Стан повітряного середовища характеризується також рівнем забруднення повітря або газифікації робочої зони. Виконання різноманітних виробничих робіт супроводжується виділенням у повітряне середовище

шкідливих речовин, які можуть стати причиною професійних захворювань або відхилень у стані здоров'я. Для повітря робочих зон виробничих приміщень встановлюються гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин.

Визначити концентрацію забруднюючих речовин можна за допомогою вимірювань або розрахункових методів. У разі перевищення нормативів концентрації шкідливих речовин у повітрі необхідно вказати методи та засоби забезпечення безпечної концентрації шкідливих речовин.

Просвітлення. Оцінка освітленості робочої зони не є необхідною для забезпечення нормативних умов роботи в приміщенні і проводиться відповідно до СанПіН 2.2.1 / 2.1.1.1278-03. Реальне освітлення на робочому місці можна взяти з паспорта виробничих приміщень, матеріалів для атестації робочих місць за умовами роботи, виміряних за допомогою люкметра, або визначених методом розрахунку, відрахувати.

Виробниче освітлення. Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення виробничих приміщень і робочих місць. Правильно розроблене і виконане вдосконалення виробництва покращує умови праці, знижує втому, сприяє підвищенню продуктивності та якості продукції, сприятливо впливає на собівартість продукції.

Шум і вібрація досліджуються, коли проектується джерела шуму та вібрації. Тоді підраховано, що рівень шуму та вібрації перевищує норму, наприклад, при роботі на верстаті, насосах тощо. е. При необхідності розробляються колективні та індивідуальні заходи щодо їх зменшення.

Вібрація — це складний коливальний процес, що виникає при періодичному зміщенні центру ваги будь-якого тіла з положення рівноваги, а також при періодичних змінах форми тіла, що перебуває в статичному стані.

Аналіз виробничих коливань представляє великі труднощі, оскільки коливання машин та іншого обладнання не є простими гармонічними

коливаннями; вони мають свою аперіодичність або квазіперіодичність, часто носять імпульсивний або толхоїчний характер.

Залежно від способу передачі вібрації тіла людині розрізняють локальну вібрацію, яка передається через руку людини, і загальну, яка передається тілу сидячої людини через тіло людини. особа. Насправді, часто є місце для поєднання цих вібрацій. Вплив вібрації на людину залежить від спрямованості її дій.

Електробезпека. Відомо, що вплив людини електричним струмом можливий лише при замиканні електричного кола через тіло людини, тобто. е. при дотику людини до мережі не менше ніж у двох точках. Коли напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини, є небезпечним фактором.

Найчастіше ураження електричним струмом спричиняє тимчасова робота повітряних мереж, електроприводів, кабельних ліній та електропроводки, зварювального обладнання та проводки до них. Ураження електричним струмом у тимчасових повітряних мережах виникають в результаті дотику до обмотки, що виникає під напругою, контакту з проводом з пошкодженою ізоляцією, ремонту та підключення.

Електротравма виявлялася тільки на основній, а також на допоміжній роботі, а травми отримували не тільки електрики та електрики, а й ІТР. Основною причиною смертельних випадків, пов'язаних із ураженням електричним струмом, є порушення правил експлуатації ЛЕП.

Підвищений рівень електромагнітного випромінювання та його оцінка проводиться при виконанні ряду робіт з комп'ютерами та іншим електрообладнанням. Джерелом електромагнітних полів промислової частоти є переважно струмоведучі частини електроустановок.

Несприятливий вплив струмів промислової частоти проявляється тільки при напрузі магнітного поля 160-200 А/м. Практично при обслуговуванні та

знаходженні навіть у зоні високовольтних електростанцій напруга польової напруги не перевищує 20-25 А/м, тому оцінка потенційного ризику випадкового впливу електричного струму .

Норми допустимих рівнів напруги в електричних полях залежать від часу перебування людини в контрольованій зоні. Допустимий час у робочій зоні на годину  $T = 50 / E^2$ . Робота електричного поля напругою 20-25 кВ/м триває не більше 10 хвилин. При напрузі не вище 5 кВ/м перебування людей у робочій зоні допускається протягом 8 годин. В основі проекту – основні методи захисту від електромагнітного випромінювання.

### **Заходи щодо ліквідації небезпечних і шкідливих виробничих факторів**

Основними напрямками діяльності з усунення небезпечних і шкідливих виробничих факторів при геологорозвідувальних роботах є: а) навчання робітників і суворе дотримання правил техніки безпеки;

б) забезпечення працівників обладнанням і транспортними засобами в повній відповідності з правилами безпечної праці та пересування в тих чи інших умовах;

в) забезпечення працівників засобами зв'язку, захисними, захисними, рятувальними, сигнальними та іншими засобами технічної безпеки.

Для боротьби з шкідливими виробничими факторами та профілактики захворювань слід вживати таких заходів: а) удосконалення технології виробництва, автоматизації та комплексної механізації виробничих процесів, виключення; б) підвищення технічного рівня санітарно-гігієнічних засобів за рахунок раціональних вентиляційних пристроїв у виробничих приміщеннях та оптимального опалення та освітлення;

в) обладнання роздягальні, сушарка;

г) забезпечення спеціального захисту, спеціального обладнання та засобів індивідуального захисту;

д) утримання території підприємства, переміщення виробництва,

виробничих приміщень і робочих місць у чистоті та порядку.

Для освітлювальних мереж на рухомі та розбірні механізми та агрегати на поверхні подається напруга не вище 220 В. Аварійне освітлення повинно здійснюватися переносними електроліхтарями з батарейками або сухими елементами.

Шкідливий вплив підвищених рівнів ультразвуку необхідно усувати та зменшувати шляхом зниження рівня шкідливого впливу в джерелі, локалізації дії ультразвуку в конструктивних планувальних рішеннях, професійних рішеннях.

Відповідальність за пожежну безпеку, своєчасне виконання протипожежних заходів та правильне утримання протипожежного обладнання в організаціях покладається на керівників (керівників) цих організацій. На ділянках виконання робіт, у тому числі на бурових установках, відповідальність покладається на керівників ділянок.

Особи, відповідальні за пожежну безпеку, зобов'язані знати і виконувати правила пожежної безпеки для організацій і підприємств і здійснювати контроль за роботою всіх працівників, які відповідають за виконання своїх посадових обов'язків.

Усі працівники зобов'язані дотримуватися протипожежних заходів. Засоби пожежогасіння повинні постійно готуватися і використовуватися тільки за попереднім записом.

Весь пожежний інвентар має бути пофарбований у червоний колір. На дошці, яка розвішується на видних і доступних місцях, розміщується набір вогнепальних ручних інструментів.

Нині використовуються вуглекислотні вогнегасники ОУ-2 та ОУ-8, а також різні види повітряно-пінних вогнегасників.

Потреби промислової безпеки повинні відповідати нормам у сфері захисту персоналу, населення та території від надмірних ситуацій, санітарно-

епідеміологічного благополуччя населення, охорони навколишнього природного середовища, екологічної безпеки, пожежної безпеки, безпеки праці, а також вимог технічних регламентів у сфері промислової безпеки.

Електробезпека. Залежно від умов виробничого середовища відповідно до «Правил улаштування електроустановок» розглядаються такі питання:

- а) вибір та обґрунтування категорій посадок за ступенем небезпеки ураження електричним струмом;
- б) вимоги до електрообладнання;
- в) аналіз відповідності реальної ситуації виробленню перерахованих вимог;
- г) заходи щодо усунення виявлених порушень;
- д) обґрунтування діяльності та засобів захисту працівників від ураження електричним струмом.

Безпека при роботі з електроустановками забезпечується застосуванням різних технічних та організаційних заходів. Технічні засоби захисту від ураження електричним струмом розподіляються на колективні та індивідуальні.

Основні колективні методи та засоби електрозахисту: ізоляція струмопровідних частин (проводів) та її безперебійний контроль; монтаж огорожувальних пристроїв; сигналізація і блокування; використання знаків безпеки та попереджувальних плакатів; застосування малих напруг; захисне заземлення; утоплення; захисне відключення.

У разі необхідності проводиться розрахунок захисного заземлення, простоїв, підбір пристроїв для автоматичного відключення.

Особи, які працюють на електроустановках, проходять відповідне навчання, або їм присвоюється кваліфікаційна група (від I до V) з техніки безпеки. Згідно з "Правилами техніки безпеки при експлуатації

електроустановок" (ПТБ), особи II групи повинні мати елементарне технічне знайомство з електроустановками: звітність представляти небезпеку електричного струму та зближення з провідними частинами, знати основні міри предосторожності при роботі в електроустановках, а також мати практичне знайомство з правилами надання першої допомоги.

Заходи щодо запобігання ураження електричним струмом можна розділити на організаційні та технічні. Організаційна діяльність викладена в Правилах технічної експлуатації електроустановок споживачів, Правилах технічної безпеки під час експлуатації електроустановок, Правилах експлуатації електроустановок та інших документах. Вони засновані на розділі «Електротехнічні роботи» Правил техніки безпеки при геологорозвідці.

Організаційні заходи включають:

допуск до обслуговування електроустановок та управління ними залежно від віку працівника та його кваліфікаційної групи з електробезпеки; - використання типу, електрообладнання в залежності від його захисту та класифікації приміщень за електробезпекою (без підвищеної небезпеки, підвищеної небезпеки, особливо небезпечного); - відсутність обладнання. Технічні заходи включають використання малої напруги, ізоляції, обшивок та інших огорожень, автоматичних замків і відключень, захисного заземлення та заземлення, діелектричних засобів. До огорожувальних поясів також належать запобіжні пояси, монтажні кігті, драбини-драбини, приставні драбини.

Не всі перераховані пристрої електрозахисту є однаково надійними; залежно від ізоляційної здатності їх поділяють на основні та додаткові. Застосування деяких додаткових засобів не забезпечує захисту людини, їх слід використовувати тільки в поєднанні з основними.

В електроустановках напругою понад 1000В є діелектричні рукавички,

чоботи, калоші, килимки ізоляційні підставки, а в установках напругою до 1000В.

Після виготовлення та періодично в процесі експлуатації електрозахисні пристрої підлягають випробуванню. Якщо засоби індивідуального захисту не витримали поточних випробувань або раніше ці випробування пройшли безрезультатно, використання таких засобів забороняється.

## 12. Охорона довкілля

Протягом останніх десятиліть увагу багатьох дослідників в усьому світі привертає проблема зростаючої неконтрольованої присутності залишків лікарських засобів та їх метаболітів у навколишньому середовищі. Лікарські засоби створюються з метою здійснення впливу на організм людини, проте у зв'язку з подібністю фізіологічних механізмів у різних біологічних видів ліки можуть впливати і на інші організми, що являють собою екосистеми на індивідуальному, видовому і міжвидовому рівнях. У зв'язку з цим вивчення життєвого циклу лікарських засобів у навколишньому середовищі і з'ясування впливу залишків ліків на різноманітні живі організми є напрямом досліджень екологічної токсикології.

Питання потенційної небезпеки таких речовин для біологічних видів почали вивчати у 90-х роках ХХ ст. Актуальним залишається з'ясування присутності, складу, розподілу, методів виявлення, біодеградації, способів попередження забруднення та способів видалення з навколишнього середовища залишків різноманітних лікарських засобів.

Істотно забруднює навколишнє середовище фармацевтична галузь, яка щорічно збільшує випуск лікарських засобів на кілька мільйонів упаковок і розширює їх асортимент. Екологічна безпека таких виробництв регулюється законодавством, тому значні викиди не мають систематичного характеру. Завдяки послідовному підвищенню технологічності й організованості виробничого процесу, впровадженню підвищених стандартів якості та екологічної безпеки, контролю з боку уповноважених державних органів в останні роки спостерігається загальна тенденція до зниження екологічного навантаження з боку фармацевтичних виробництв, у першу чергу в розвинених країнах світу.

|   |   |  |                            |                         |                          |              |
|---|---|--|----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br><i>Чудовів С.О.</i> | <i>Вид документа</i><br><i>Пояснювальна записка</i>      |                            | <i>Статус документа</i> |                          |              |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br><i>Лалко М.С.</i>   | <i>Назва, додаткова назва</i><br><b>Охорона довкілля</b> | <b>200501.MP.00.012.ПЗ</b> |                         |                          |              |
|   | <i>Документ затверджено</i><br><i>Гавва О.М.</i>  |  | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i>     | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i> |

Крім того, фармацевтичне виробництво локалізоване географічно, і в разі аварії або порушення екологічного законодавства, викиди носять виключно місцевий характер і є небезпечними лише для конкретного регіону.

Численними дослідженнями доведено вкрай негативний вплив на водні об'єкти незначної кількості лікарських засобів, що надходять в них зі стічними водами. Вивчені групи препаратів, які слабо розчиняються у воді: протизапальні, знеболюючі засоби, антибіотики, гормони, ліки, що знижують вміст холестерину. Вони слабо піддаються біодеструкції і, проходячи через очисні споруди без змін, потрапляють у природні води. В даний час гостро стоїть проблема утилізації неякісних лікарських засобів і препаратів із закінченим терміном придатності. Відповідно до наказу Міністерства охорони здоров'я України № 349 від 08.07.2004 р порядок проведення та вибір методу знищення відходів лікарських засобів визначаються після встановлення їхнього класу безпеки. Так, відходи, що належать до 3-го класу безпеки, можна захоронити на полігоні твердих побутових відходів, а відходи 2-го класу безпеки підлягають утилізації спеціальними методами. На жаль, в аптеках і лікарнях практикують багаторазове розведення і скидання в міську каналізацію неякісних ін'єкційних форм препаратів 2-го і 3-го класів безпеки. Їх розкладання на очисних спорудах становить близько 68%.

Більш небезпечними для навколишнього середовища є джерела лікарських засобів, які практично не піддаються контролю і формуються переважно людьми, що застосовують медичні препарати з лікувальною метою та у тваринництві. У домашніх аптечках жителів розвинених країн світу накопичується велика кількість ліків, що залишаються незатребуваними після завершення курсу лікування або придбаних без прямої потреби, про запас. Загальне споживання фармацевтичних субстанцій у світі перевищує 3 млн. тонн на рік. Внаслідок фізіологічної екскреції в навколишнє середовище щорічно потрапляють сотні тисяч тонн діючих речовин різноманітних

лікарських засобів. Незначна частина лікарських засобів потрапляє у водні середовища внаслідок їх транспорту через шкіру. Деякі засоби для зовнішнього застосування можуть вимиватися під час купання у відкритих водоймах.

Основними причинами, що призводять до накопичення фармацевтичного побутового сміття, є: доступність лікарських засобів; реклама фармацевтичних компаній, спрямована на підвищення споживання ліків; поліпрагмація; самолікування, самодіагностика; похилий вік та (або) наявність хронічних захворювань у осіб, що проживають у будинку; наявність у сім'ї маленьких дітей.

Лікарські засоби, що накопичилися стають непридатними внаслідок порушення первинної упаковки, неправильного зберігання або після закінчення терміну придатності. Після цього їх або змивають у каналізацію, або викидають у складі побутового сміття. Фізіологічні виділення тварин являють собою ще одне важливе джерело некерованого потрапляння лікарських засобів у навколишнє середовище. Прикладом можуть бути антибіотики, що використовуються в якості харчових добавок для сільськогосподарських тварин. В Євросоюзі використання антибіотиків, що стимулюють ріст худоби, заборонено. Це знизило масштаб проблеми, але не виключило її повністю.

Спочатку основна маса лікарських засобів, які згодом забруднюють навколишнє середовище, потрапляє в господарсько-побутові стічні води в результаті фізіологічної екскреції і (або) змиву в каналізацію непотрібних препаратів. Особливе місце займає господарсько-побутова каналізація стаціонарних медичних організацій та організацій соціального забезпечення, в яких обсяг, частота використання та перелік використовуваних лікарських засобів у розрахунку на одну особу значно перевищують аналогічні показники в приватних домоволодіннях, а правила утилізації ліків, затверджені для медичних установ, найчастіше порушуються.

У міру переміщення по каналізаційним мережам до очисних споруд концентрація присутніх лікарських засобів може дещо змінюватися внаслідок біологічної, хімічної або фізико-хімічної деградації речовин. Залежно від принципу і якості організації каналізування, в результаті протікання та інфільтрації в ґрунт може потрапляти певна кількість лікарських засобів.

Найбільший вплив на показники подальшої присутності ліків у навколишньому середовищі має очищення стічних вод. Різні методи очищення відрізняються за ефективністю щодо видалення лікарських засобів. Мулові відкладення, що залишаються після очищення господарсько-побутових стічних вод, часто використовуються в сільському господарстві як добрива, відкриваючи шлях проникнення в ґрунт залишкам препаратів, абсорбованих мулом.

Очищені стоки зливаються в поверхневі води і приносять із собою залишки лікарських засобів, не видалених системою очищення і процесами природної деградації фармацевтичних субстанцій. Поверхневі води несуть лікарські засоби до морських берегів і поповнюють водоносні шари ґрунтових вод.

Ґрунт, удобрений каналізаційним мулом або гноєм сільськогосподарських тварин, до яких застосовувалися лікарські засоби, який взаємодіє з поверхневими прісними водами, що містять залишки лікарських засобів, або фармацевтичним сміттям, є середовищем, по якому фармацевтичні субстанції інфільтруються в ґрунтові води. Здатність речовин до інфільтрації визначається їх фізико-хімічними властивостями.

Ґрунтові і поверхневі прісні води є джерелами питної води. Незважаючи на якісну очистку природних вод, що здійснюється в розвинених країнах світу, залишки лікарських засобів у певних кількостях надходять у водопровідну мережу і далі знову вживаються людьми вже у складі питної води. Це підтверджує інформація агентства Associated Press у березні 2008 р. щодо наявності залишків лікарських засобів, включаючи антибіотики,

протисудомні та психотропні речовини, в питній воді 24 основних міських територій США, в яких проживають більше 41 млн. чоловік.

Отже, в результаті підвищення доступності лікарських засобів, загального розвитку систем охорони здоров'я, зростає споживання ліків в медичних цілях і, як наслідок, збільшується їх вміст у навколишньому середовищі. Цей процес є малокерованим і потенційно небезпечним для здоров'я людей та інших біологічних організмів.

### 13. Маркетингове обґрунтування проекту

Фармацевтична індустрія ефективно долає наслідки впливу пандемії COVID-19 і за темпами змін лідирує серед секторів економіки України. Про це йдеться в інфографічному довіднику "Фармацевтика України 2021", підготовленому компанією Top Lead за підтримки фармацевтичної компанії "Дарниця" і аналітичного партнера Business Views. У дослідженні показані основні зміни на ринку, позиції вітчизняних та іноземних гравців, розглянуті тенденції розвитку, можливості, проблеми та досягнення української фармацевтичної індустрії.

Фармацевтична промисловість України налічує більше століття. На всіх етапах розвитку вона була й залишається центром інновацій, де зосереджується науковий і технологічний потенціал країни. Сучасна фарміндустрія входить до числа лідерів за продуктивністю праці та витрами на інновації, хоч є далеко не найбільшою галуззю економіки. Пандемія Covid-19 чітко показала важливість сильної фарми як складової системи охорони здоров'я та фактора зміцнення національної безпеки: крім економічного впливу, зростання фармвиробництва позитивно позначається на рівні життя населення.

Фармацевтика однією з перших адаптувалася від негативного впливу пандемії та пов'язаних із нею локдаунів. За словами голови ради директорів Darnitsa Group Дмитра Шимківа, стресостійкістю фарма завдячує високому проникненню інновацій в усі процеси. "В фармацевтичному секторі найвища частка інноваційно активних виробництв з-поміж усіх галузей переробної промисловості. 48% фармвиробників сфокусовані на інноваціях у сфері R&D, технологій та обладнання, отримання і застосування нових знань. На це фармкомпанії спрямували 1,5 млрд гривень".

|   |   |  |                            |                         |                          |              |  |
|---|---|--|----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|--|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br><i>Чудовів С.О.</i> | <i>Вид документа</i><br><i>Пояснювальна записка</i>                                  |                            | <i>Статус документа</i> |                          |              |  |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br><i>Лапка М.С.</i>   | <i>Назва, додаткова назва</i><br><b>Маркетингове</b><br><b>обґрунтування проекту</b> | <b>200501.MP.00.013.ПЗ</b> |                         |                          |              |  |
|   | <i>Документ затверджено</i><br><i>Гавва О.М.</i>  |  | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i>     | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i> |  |

Завдяки сильній локальній фармі в 2020 році вдалося уникнути дефіциту ліків. Високий рівень автоматизації і диджиталізації процесів дозволив українським фармвиробникам швидко адаптуватися до потреб ринку і забезпечити випуск необхідних препаратів.

Фармвиробництво, за словами Станіслава Шума, CEO Top Lead, один з лідерів за продуктивністю. “За показником ВВП на одного працівника – 1 млн 356 тис гривень фармацевтика випередила усі галузі переробної промисловості. Високий рівень продуктивності в фармацевтиці створює ресурси для інвестицій у розвиток і залучення найкращих високооплачуваних кадрів. За даними Держстату, зарплатня в цій сфері вдвічі перевищує рівень оплати праці в переробній промисловості”.

На початок 2021 року обсяг ринку лікарських засобів склав 4 млрд доларів США, а споживання ліків зросло до 96 доларів США на особу в рік. Це менше, ніж в європейських країнах, водночас темпи зростання є значними на фоні озитивної динаміки останніх 5 років.

Домінуюча роль як і раніше належить аптечному сегменту - 85% ринку фінансується безпосередньо споживачами і лише 15% - державою. Автори дослідження наголошують на позитивній тенденції: щороку аптечний ринок приростає в середньому на 12,6%. Під впливом пандемії Covid-19 в 2020 році цей темп дещо сповільнився - до 7,9%, проте фармацевтика почувається більш впевнено на фоні інших секторів економіки.

Аналітики зауважують покращення динаміки госпітального ринку: за останні 5 років він зростає в середньому на 10,9% щороку і в минулому році досяг позначки 0,6 млрд. доларів США. Збільшення обсягу продажів пов'язане зі зростанням державних закупівель лікарських засобів для боротьби з COVID-19 та централізацією цих закупівель в руках нового гравця - ДП “Медичні закупівлі України”, що діє в інтересах МОЗ України.

Попри виклики, у 2020 р. усі компанії з ТОП-20 (контролюють 50% ринку) продемонстрували приріст обсягів продажу, а 13-ть із них змогли збільшити свою частку на ринку, про що свідчить Evolution Index.

Українські виробники поступово збільшують присутність в роздрібному сегменті. Частка вироблених в Україні ліків в грошовому еквіваленті зросла з 28% у 2010 році до 37% в 2020-му. Водночас, частка продажів медикаментів в натуральному вираженні не істотно скоротилася - до 69%, що свідчить про вищі темпи зростання цін на ліки іноземного виробництва.

В структурі зовнішньої торгівлі лікарськими засобами переважає імпорт, що відображає загальну ситуацію в економіці. З 2015 року він зріс на 79% до майже 2 млрд доларів США, при цьому Україна імпортувала ліки переважно з європейських країн та Індії. Схожими темпами зростає експорт: за останні 6 років він збільшився на 68% до 235 млн доларів США. Ключовими регіонами присутності залишаються країни СНД, проте зростають поставки на ринки Середнього Сходу, Північної Африки та ЄС. Подальше розширення географії присутності українських фармвиробників оцінюється аналітиками як перспективне за умови продовження інтеграції законодавства України та ЄС, а також усунення бар'єрів в сфері регулювання, що суттєво сповільнюють діяльність компаній та вихід нових продуктів.

Автори довідника наголошують, що не зважаючи на складний рік, позитивні зрушення відбулися в напрямку гармонізації норм регулювання виробництва та обігу лікарських засобів України та ЄС. Процес триває в напрямках:

цифровізації реєстрації ЛЗ та пришвидшення процесу реєстрації, що дозволить зменшити собівартість виходу ліків на ринок та пришвидшити доступ споживачів до нових ліків;

забезпечення взаємовизнання сертифікації виробництва (GMP) для розширення можливостей виходу українських компаній на ринок ЄС і усунення бар'єрів для розвитку торгівлі ліками;

прискорення процесу узгодження протоколів клінічних досліджень, що підвищить конкурентоздатність національних фармвиробників.

В дослідженні окреслені позитивні перетворення в сфері цифровізації системи охорони здоров'я та виробництва ліків, а також розвитку системи регулювання ринку, які стимулюють його розвиток. Зокрема, аналітики відзначають важливість переходу на електронний рецепт, розвиток інтернет-торгівлі лікарськими засобами, диджиталізації виробництва ліків та впровадження учасниками ринку електронного документообігу. За прогнозами, частка e-commerce на фармринку України зростатиме вищими темпами, аніж у світі і досягне 15% у 2026 році.

В частині просування фармпродукції основним завданням для учасників ринку стане пошук ефективного балансу між offline- та online-комунікацією. Поки ж, за даними довідника, фармацевтичні компанії щороку збільшують інвестиції в рекламу своїх брендів на ТБ. Проте в 2020 році обсяг цього сегменту реклами зріс менш ніж на 1% і склав 130 млн доларів США. Дедалі частіше конкуренцію телерекламі складають digital канали. Активність фармацевтичних брендів у інтернет-просуванні активно зростає з року в рік, особливо помітно це проявляється в останні два роки. Під впливом локдаунів вага digital зросла також в сегменті промоції ліків.

За висновками авторів дослідження, український фармацевтичний ринок має позитивні перспективи для подальшого розвитку. Ключовими факторами прискорення темпів його зростання є продовження реформування системи охорони здоров'я України, стимулювання добровільного медичного страхування, розвиток контрактного виробництва, розширення програми реімбурсації та створення ефективної системи державно-приватного партнерства.

## Висновки

Магістерська робота за темою: «Дослідження процесу зневоднення та грануляції у псевдозрідженому шарі з метою модернізації апарата для висушування грануляту СГ-30» виконана згідно завдання.

В результаті виконання магістерської роботи проведена модернізація апарата для висушування грануляту СГ-30, що полягає у встановленні електростатичного фільтру замість рукавних фільтрів та встановлення додаткового патрубку, за допомогою якого продукт, що збирається на фільтрі, повертається до киплячого шару. За рахунок запропонованої модернізації відпадає потреба робити зупинку для струшування рукавних фільтрів, що дає суттєві переваги виробництву.

Також, проведені експериментальні дослідження, результати яких дозволяють визначити ступені впливу технологічних факторів процесу на вихід гранульованого продукту, провести дослідження кінетики процесу гранулоутворення, якості дисперсного складу гранульованого продукту та пошук оптимальних умов його проведення.

Окрім цього, запропоновано експериментально-статистичну модель татичних режимів протікання процесу зневоднення та грануляції дозволить продемонструвати переваги розширення підходу Тагучі. Запропонований план експерименту повністю відповідає всім вимогам і може бути використаний при постановці експерименту для пошуку робастних умов проведення процесу зневоднення та грануляції у псевдозрідженому шарі з використанням підходу Тагучі.

|   |   |   |                            |                         |                          |                            |
|---|---|---|----------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br><i>Чудовів С.О.</i> | <i>Вид документа</i><br><b>Пояснювальна записка</b> |                            | <i>Статус документа</i> |                          |                            |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br><i>Лалко М.С.</i>   | <i>Назва, додаткова назва</i><br><b>Висновки</b>    | <b>200501.MP.00.000.ПЗ</b> |                         |                          |                            |
|   | <i>Документ затверджено</i><br><i>Гавва О.М.</i>  |   | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i>     | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i><br><b>1/1</b> |

## Список використаної літератури

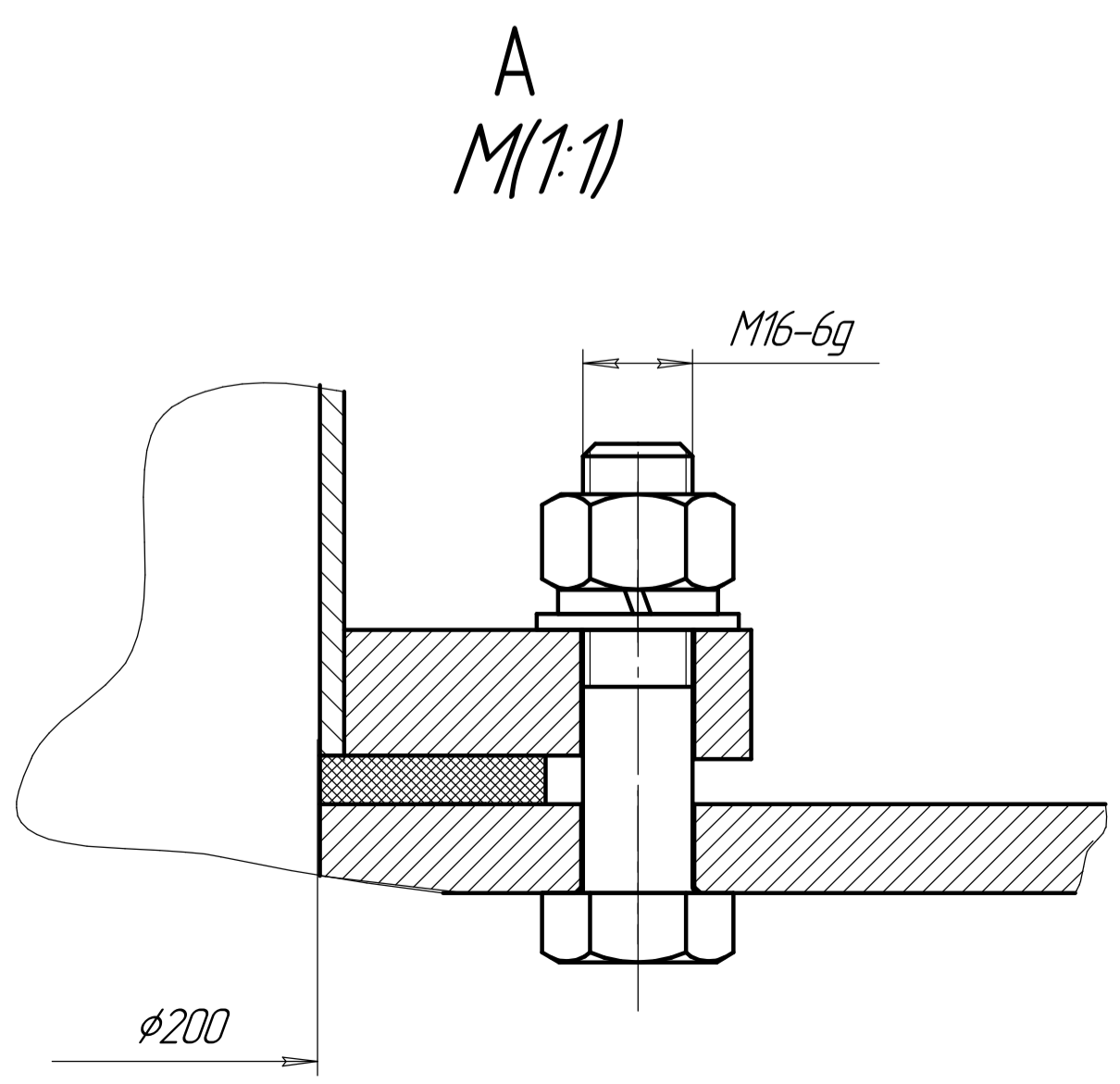
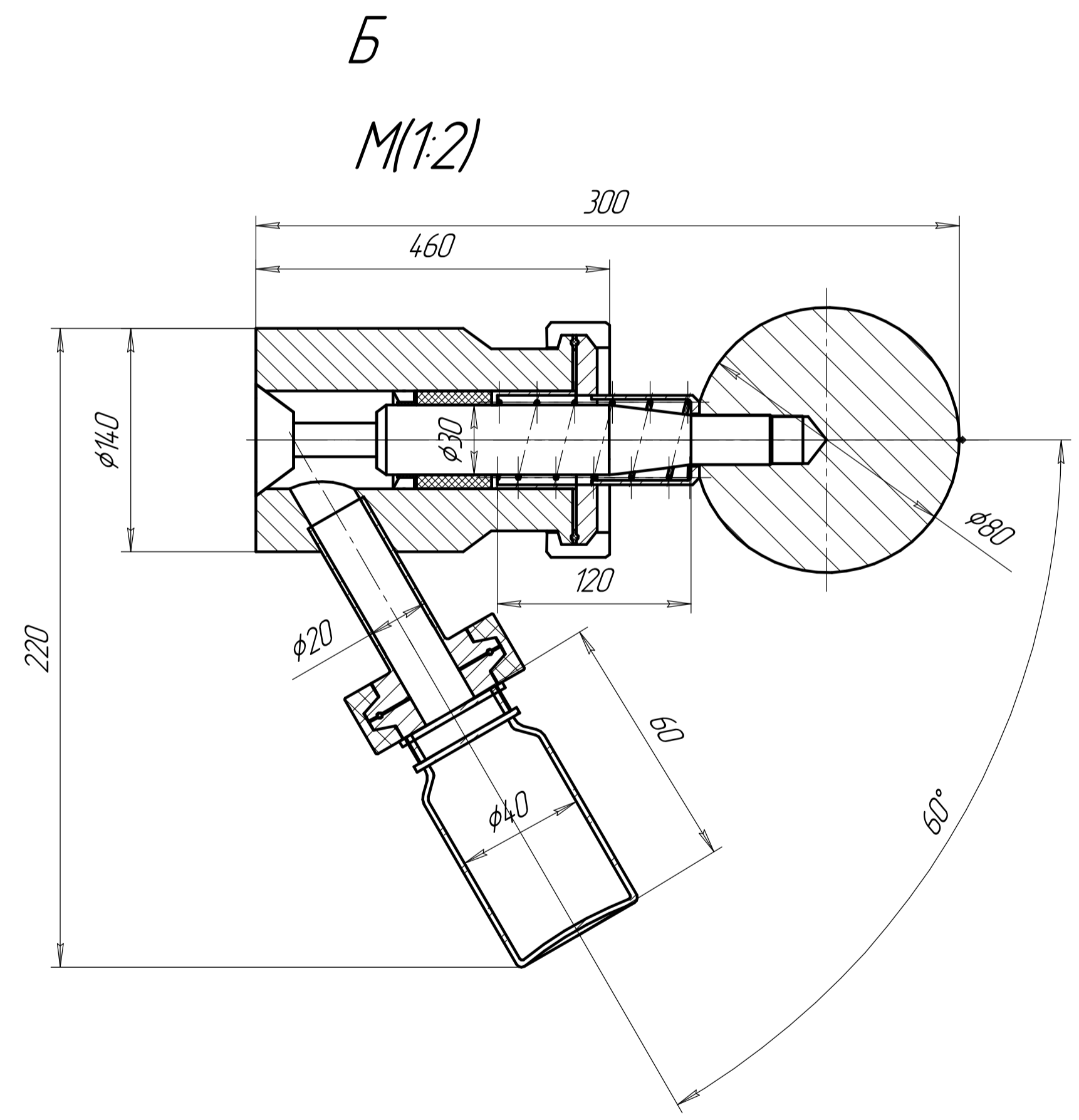
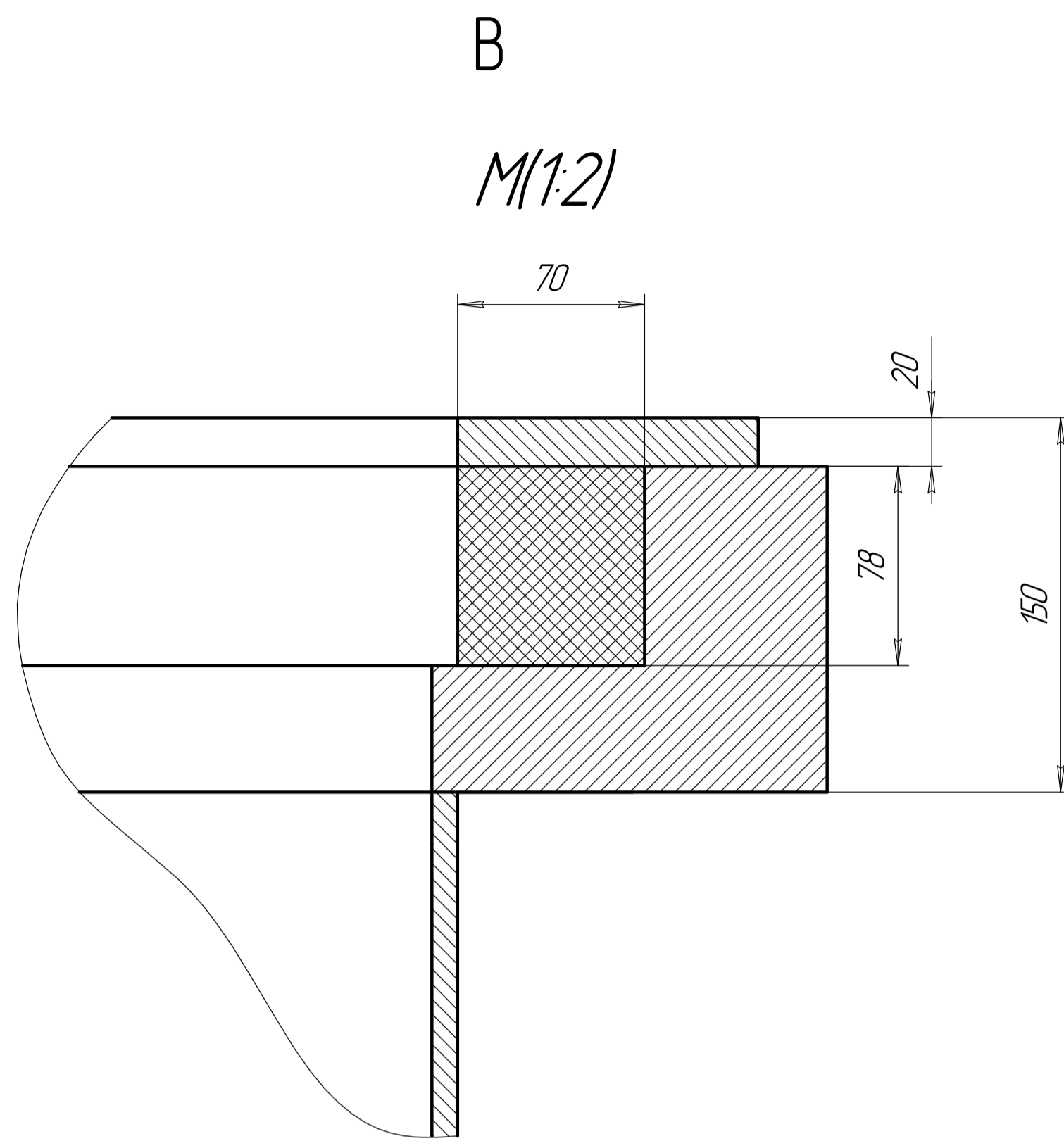
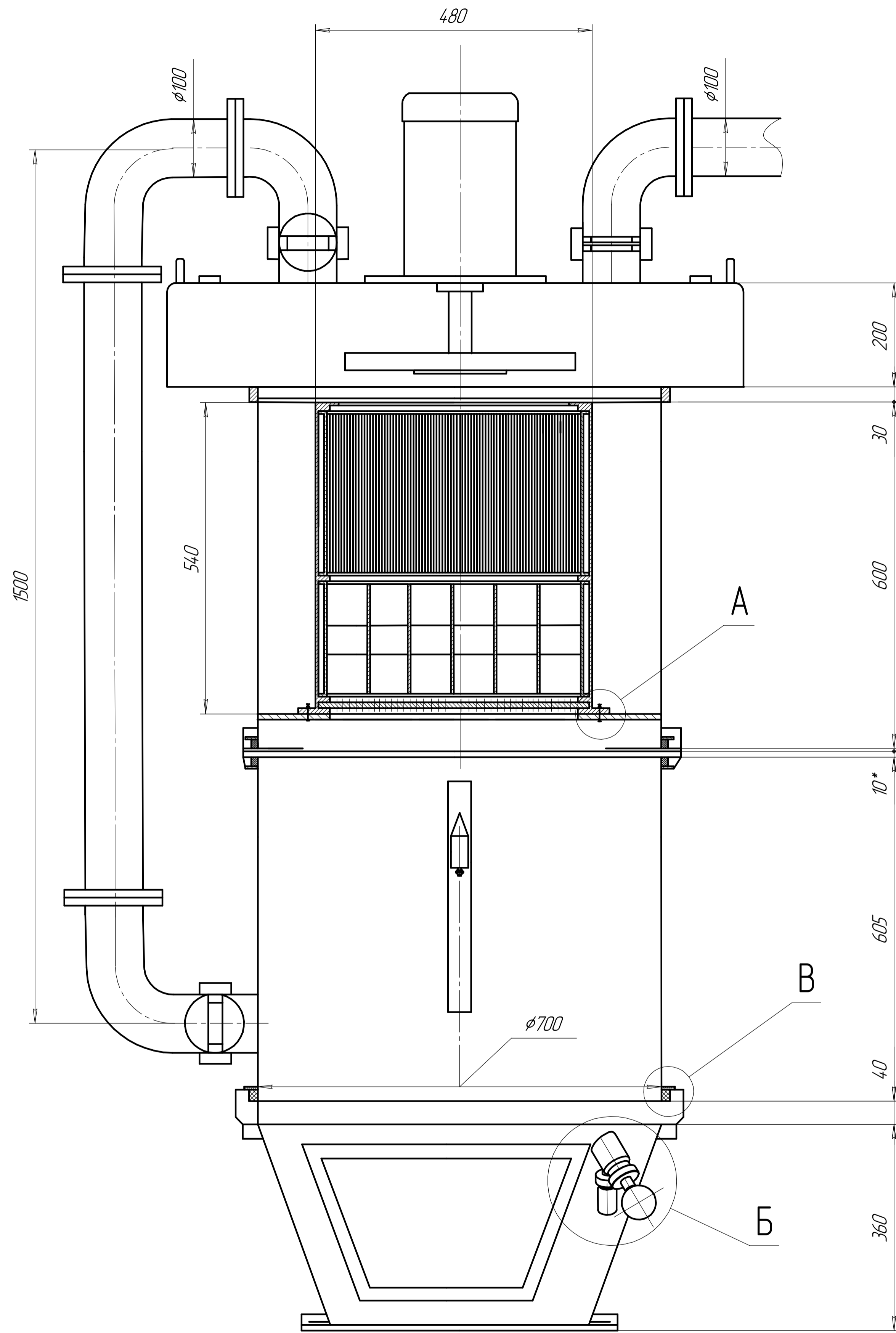
1. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Машини та апарати хімічних виробництв» зі спеціальності 7.090220 «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : для студ. денної та заочної форм навчання / С. І. Якушко. – Суми : СумДУ, 2007. – 57 с.
2. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Проектування хімічних підприємств та основи САПР» / Укладачі: О. О. Ляпощенко, В. М. Маренок. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 81 с.
3. Основні ізолювальні електрозахисті засоби для роботи в електроустановках. Правила користування та терміни випробувань [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.kazedu.kz/referat/169461/2>
4. Batt C.A. Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition) / C.A. Batt. – Elsevier, 2017. – 110 p.
5. Fellows P. Food processing technology. Principles and Practice. Second Edition / P. Fellows. – CRC Press, 2000. – 591 p.
6. Kunze W. Technology Brewing And Malting. 5th English Edition / W. Kunze. – VLB Berlin. – 935 pages
7. Lelieveld H. Handbook of Hygiene Control in the Food Industry (Second Edition) / H. Lelieveld, J. Holah, D. Gabrić. – Elsevier, 2016. – 736 p.
8. Безпека життєдіяльності [Електронний ресурс] : конспект лекцій для студентів усіх напрямів підготовки бакалаврів денної та заочної форм навчання / уклад. О. П. Слободян, В. А. Заєць, С. О. Авдієнко, Л. П. Нещадим. - К. : НУХТ, 2013. – 51 с.

|   |  |  |                            |                         |                          |              |
|---|--|--|----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| <i>Відповідальна організація</i><br><b>НУХТ</b> | <i>Технічне узгодження</i><br><i>Удадов С.О.</i> | <i>Вид документа</i><br><b>Пояснювальна записка</b>                    |                            | <i>Статус документа</i> |                          |              |
| <i>Власник документа</i><br><b>НУХТ</b>         | <i>Розробник документа</i><br><i>Лапка М.С.</i>  | <i>Назва, додаткова назва</i><br><b>Список використаної літератури</b> | <b>200501.MP.00.000.ПЗ</b> |                         |                          |              |
|   | <i>Документ затверджено</i><br><i>Гавва О.М.</i> |  | <i>Інд. змін.</i>          | <i>Дата видання</i>     | <i>Мова</i><br><b>UA</b> | <i>Аркуш</i> |

9. Заплетніков І. М. Експлуатація і обслуговування технологічного обладнання харчових виробництв [Текст] : навч. посіб. / І. М. Заплетніков, В. Г. Мирончук, В. М. Кудрявцев ; Нац. ун-т харч. технол., Донец. нац. ун-т екон. і торг. — К. : ЦУЛ, 2012. — 344 с.
10. Інноваційне обладнання галузі [Електронний ресурс] : метод. рекомендації до вивч. дисц. та провед. практ. занять для здобувачів освіт. ступ. "Магістр" спец. 133 "Галузеве машинобудування" освіт.-проф. програми "Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв" ден. та заоч. форм навч. / уклад.: О. О. Губеня, Л. В. Марцинкевич; Нац. ун-т харч. технол. - Київ : НУХТ, 2019. – 88 с.
11. Інноваційне обладнання галузі [Електронний ресурс] [Текст] : лабораторний практикум для здобувачів освіт. ступ. "Магістр" спец. 133 "Галузеве машинобудування" освіт.-проф. програми "Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв" ден. та заоч. форм навч. / уклад. : О. О. Губеня, Л. В. Марцинкевич ; Нац. ун-т харч. технол. — Київ : НУХТ, 2020. — 79 с.
12. Машины и аппараты пищевых производств: учебник для студентов вузов. Кн. 1 / С.Т. Антипов, В.Я. Груданов, В.А. Шаршунов и др.; под ред. В.А. Панфилова, В.Я. Груданова. – Минск: БГАТУ, 2007. – 420 с.
13. Нормативно-правове регулювання діяльності біотехнологічних і фармацевтичних підприємств [Текст] : підручник / М. В. Стасевич, А. М. Кричковська, Б. П. Громовик та ін. ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Львів : Новий світ-2000, 2018. – 288 с.
14. Основи охорони праці [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів освітнього ступеня «бакалавр» денної та заочної форм навчання / В. С. Гуць, С. Д. Коваленко, О. В. Євтушенко та ін. – К. : НУХТ, 2016. – 97 с.

15. Охорона праці у фармацевтичній галузі [Текст]: навч. посіб. / О. В. Жуковина, О. І. Зайцев, О. І. Жуковін, Г. А. Грецька. — К.: Медицина, 2009. — 432 с.
16. Павлице В. Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин [Текст]: Підруч. / В. Т. Павлице. — К.: Вища шк., 1993. — 556 с. — рекомендовано кафедрою. — ISBN 5-11-004099-1.
17. Пакувальне обладнання: підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. — Київ: Упаковка, 2010. — 744 с.
18. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості [Текст]: навч. посіб. / Ю. І. Сидоров, В. І. Чуєшов, В. П. Новіков. — Вінниця: Нова книга, 2009. — 816 с.
19. Технологічне обладнання фармацевтичних виробництв [Електронний ресурс]: методичні рекомендації до виконання курсового проекту для студентів освітнього ступеня «Магістр» та освітньо-кваліфікаційного рівня «Спеціаліст» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізації “ Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв” денної форми навчання / уклад.: Л. В. Марцинкевич, О. О. Губеня, С. О. Удодов. — К.: НУХТ, 2016. — 27 с.

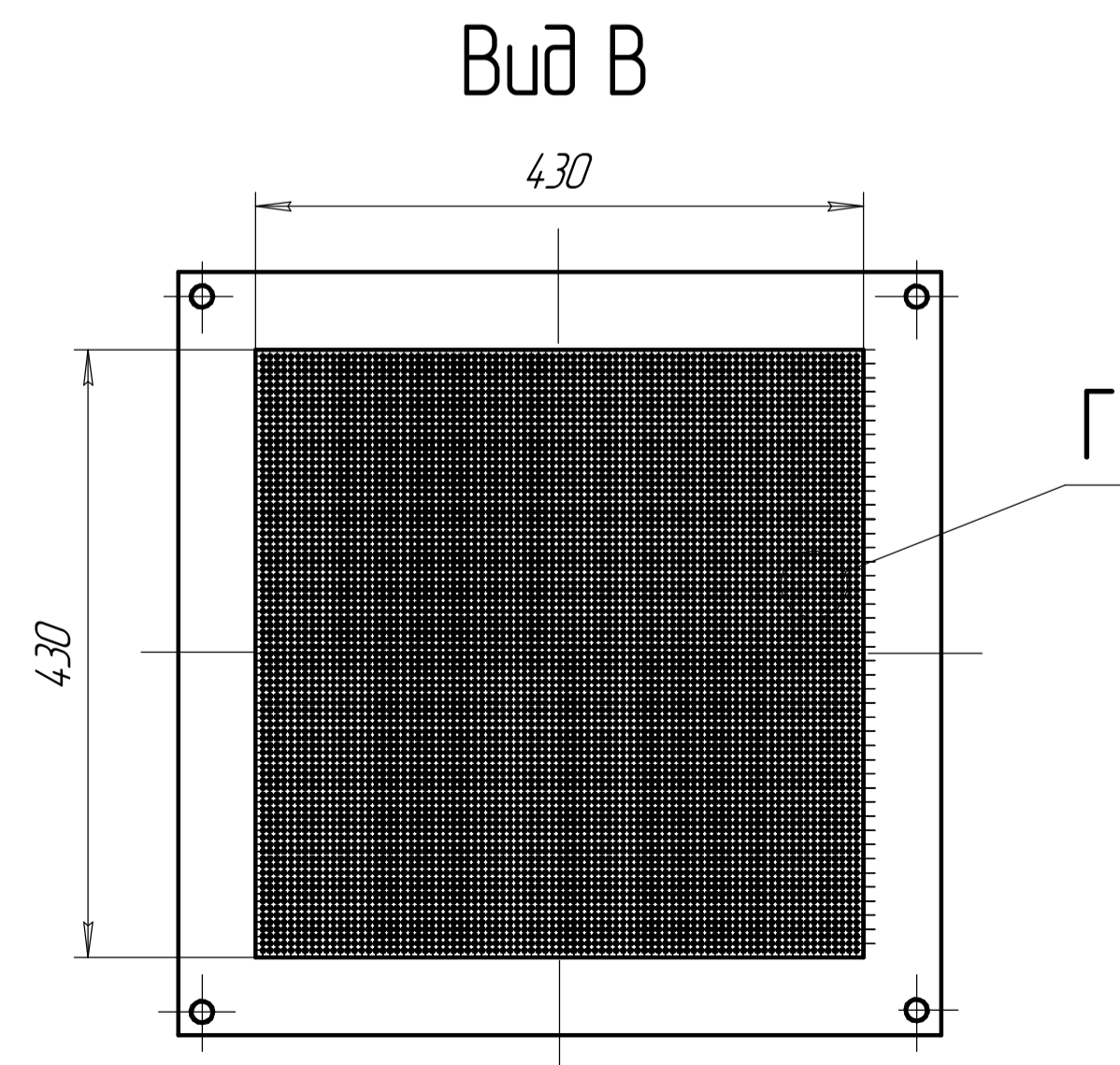
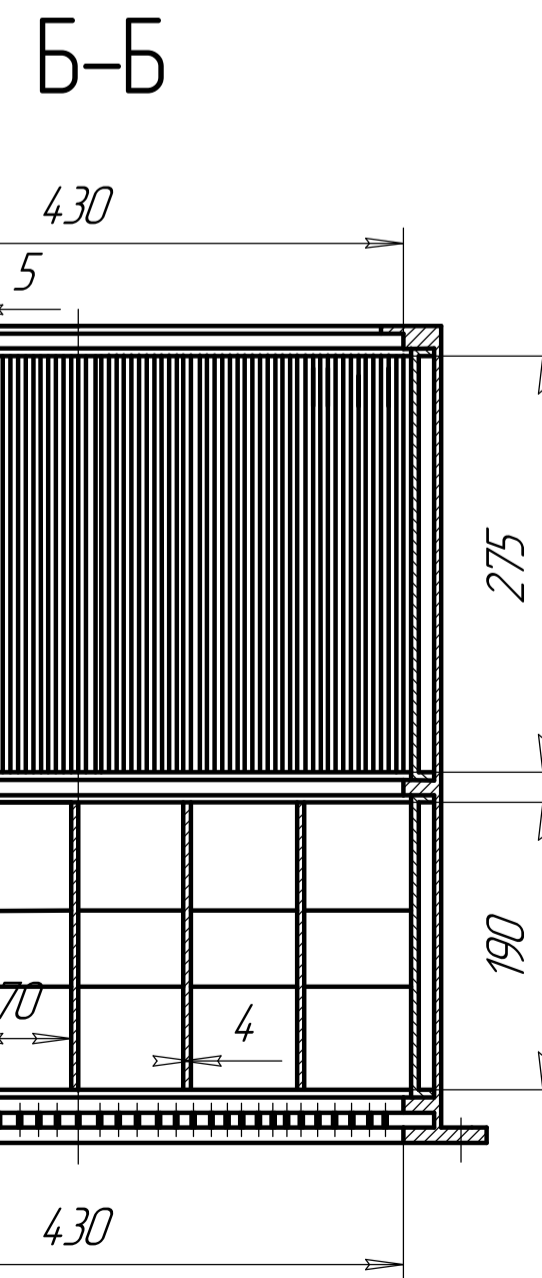
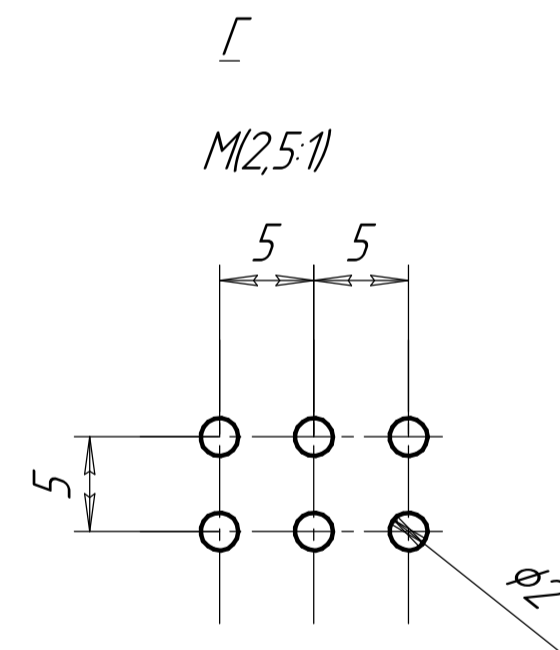
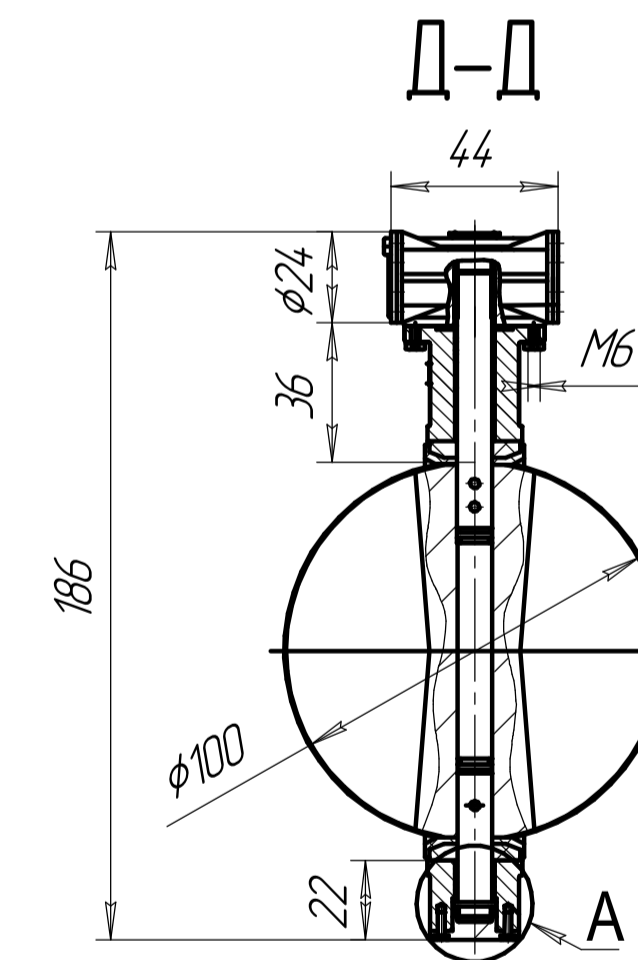
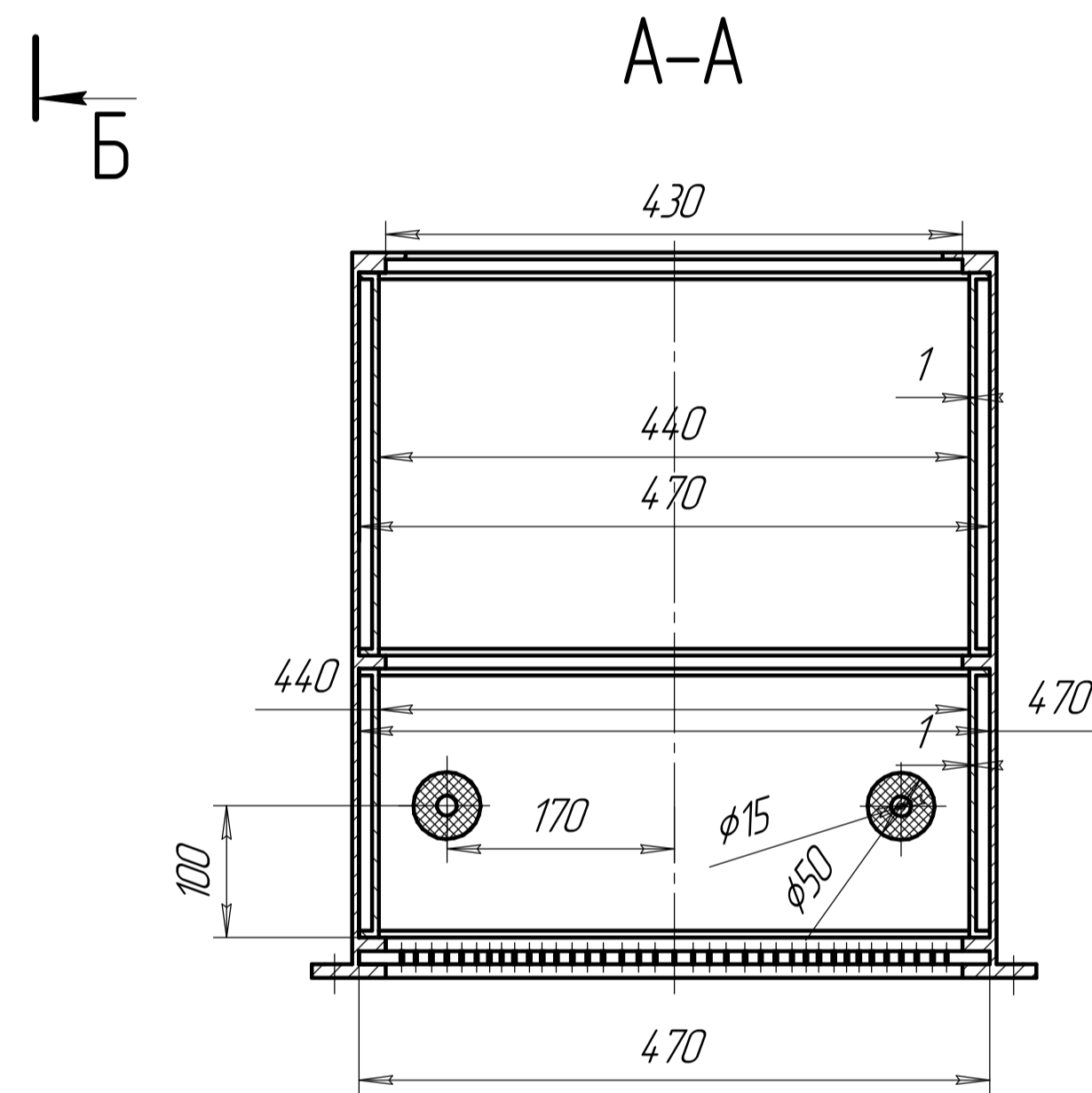
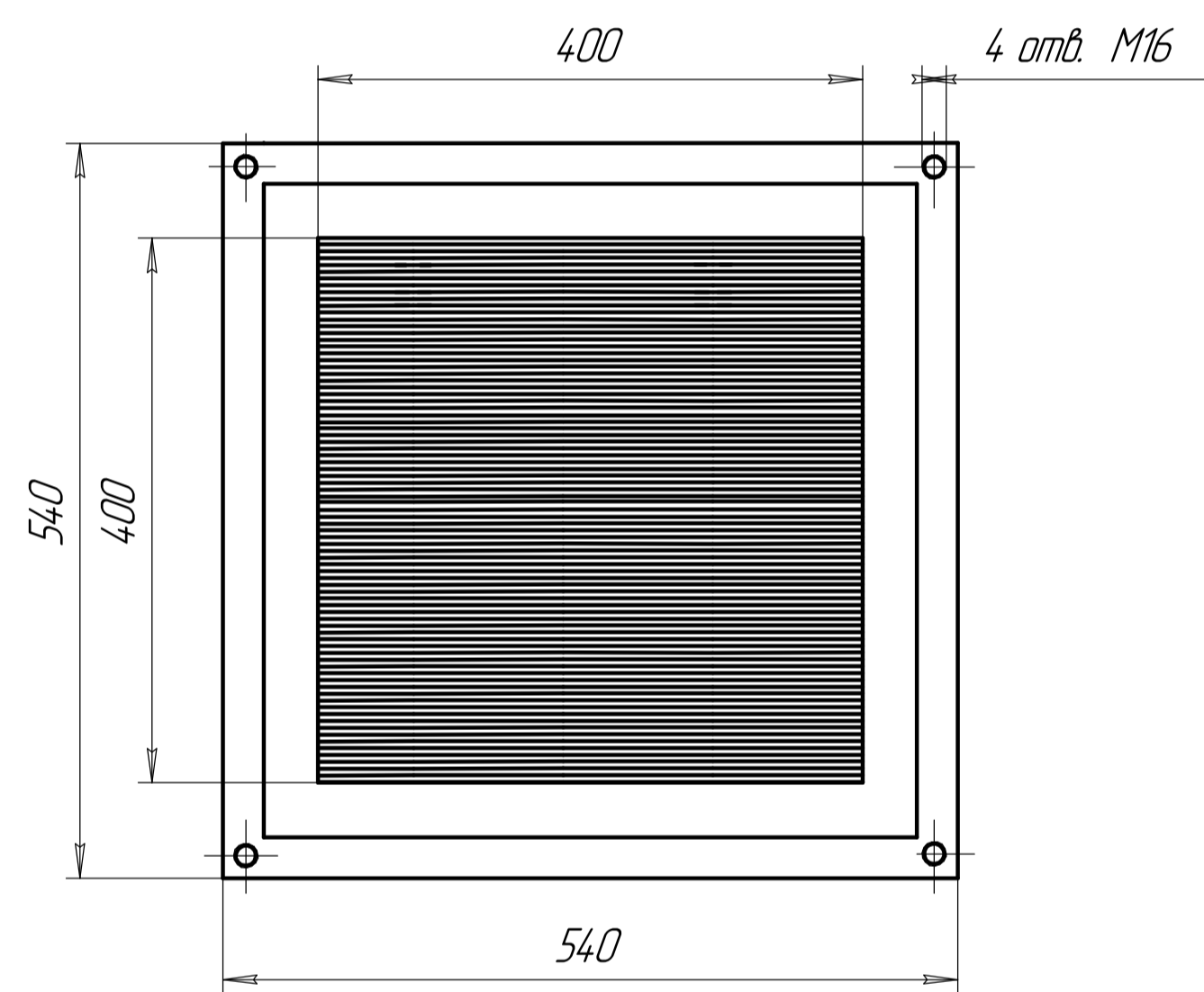
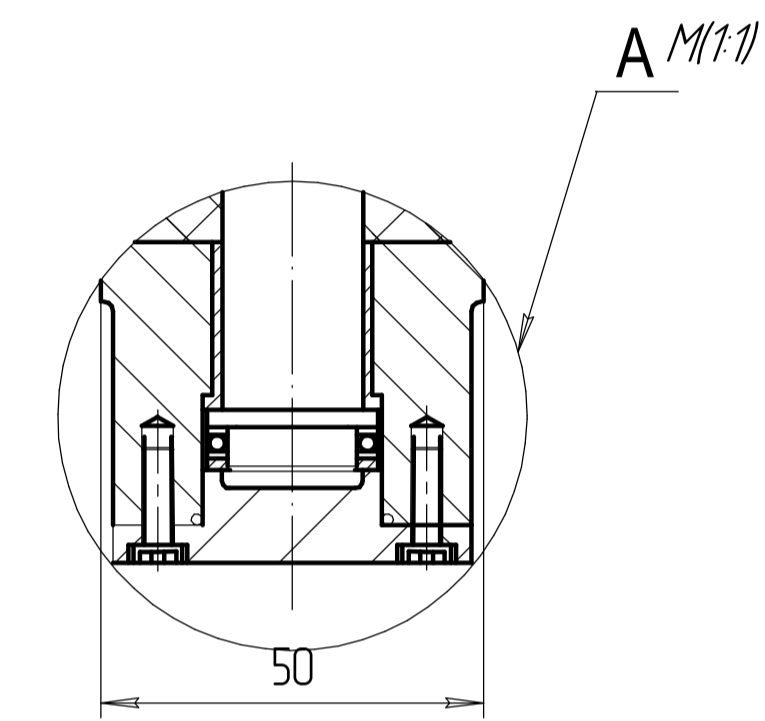
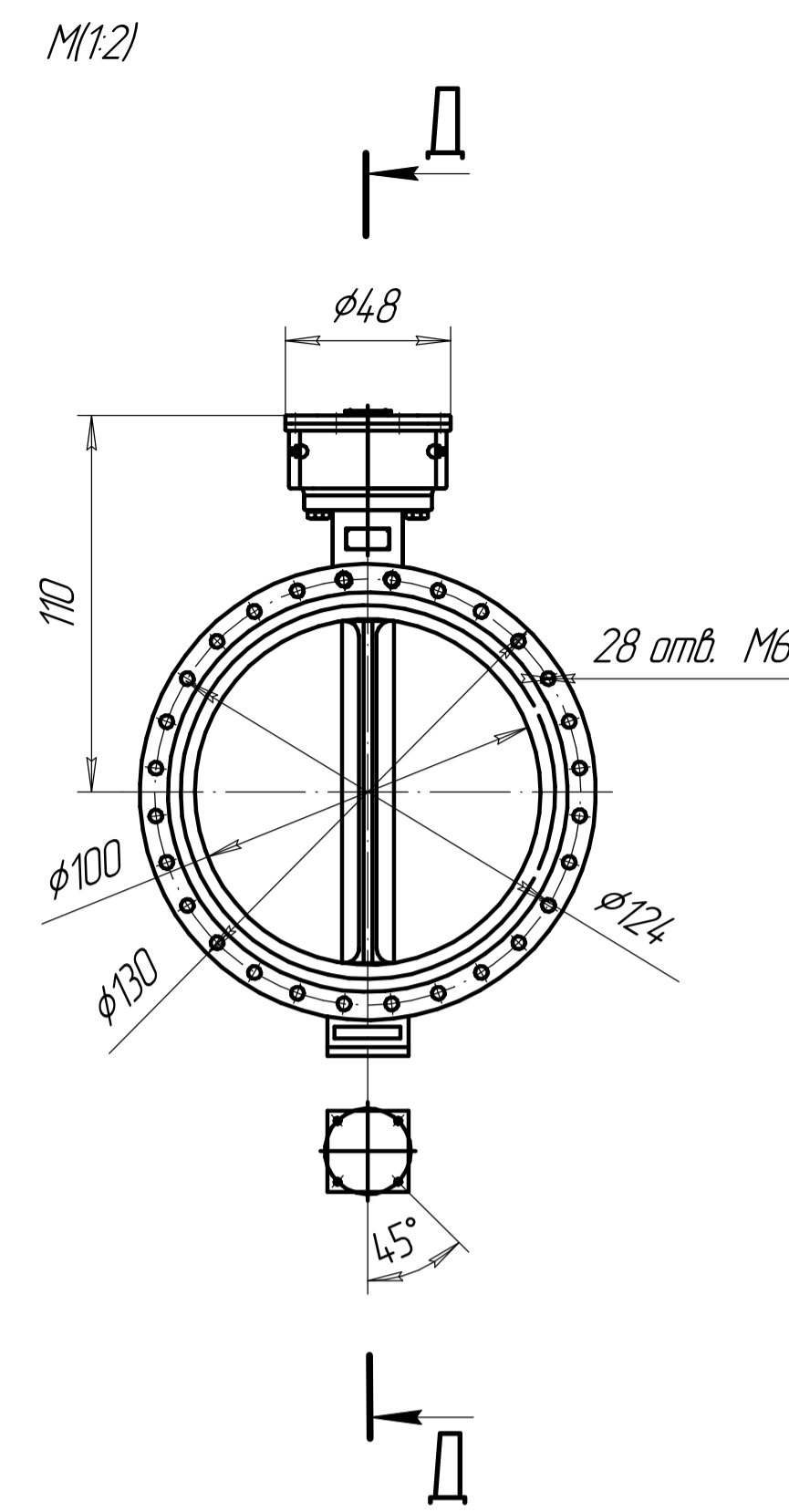
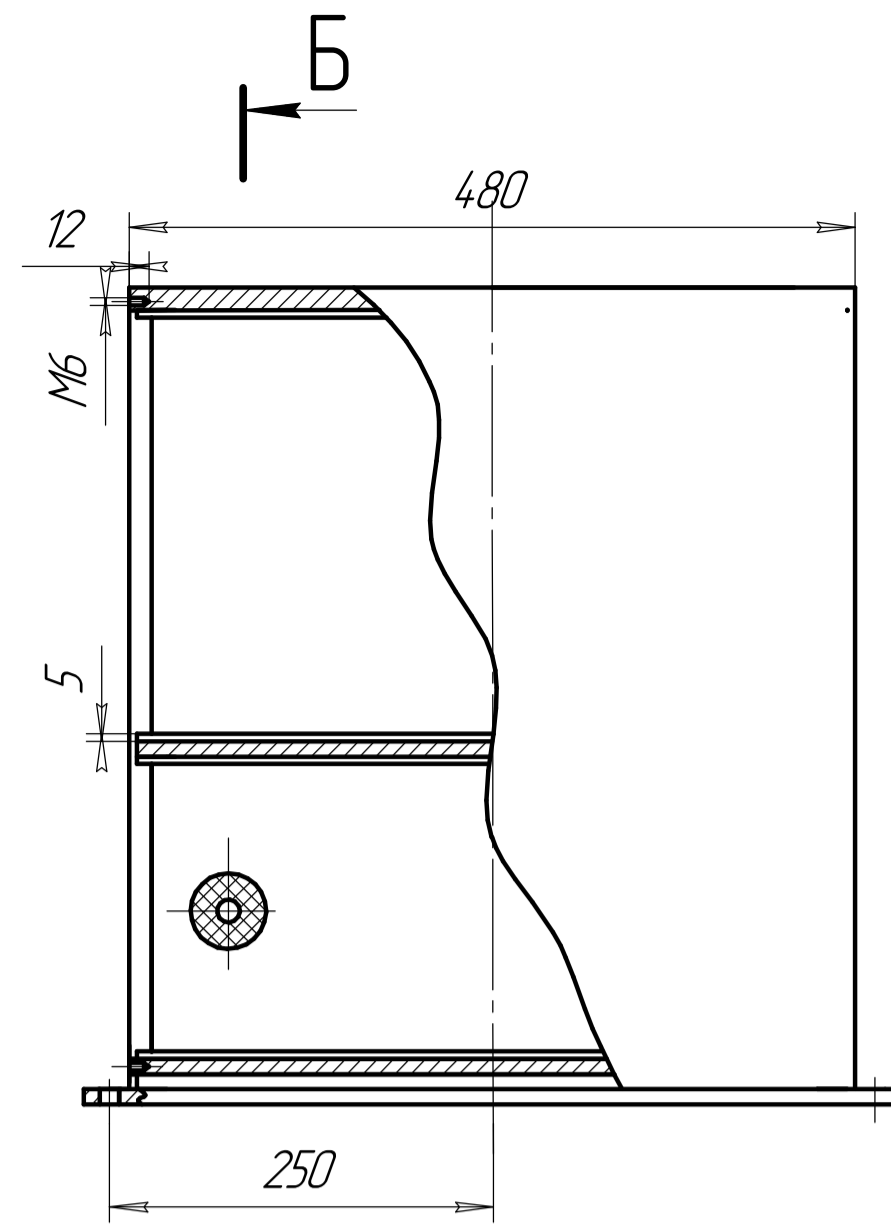
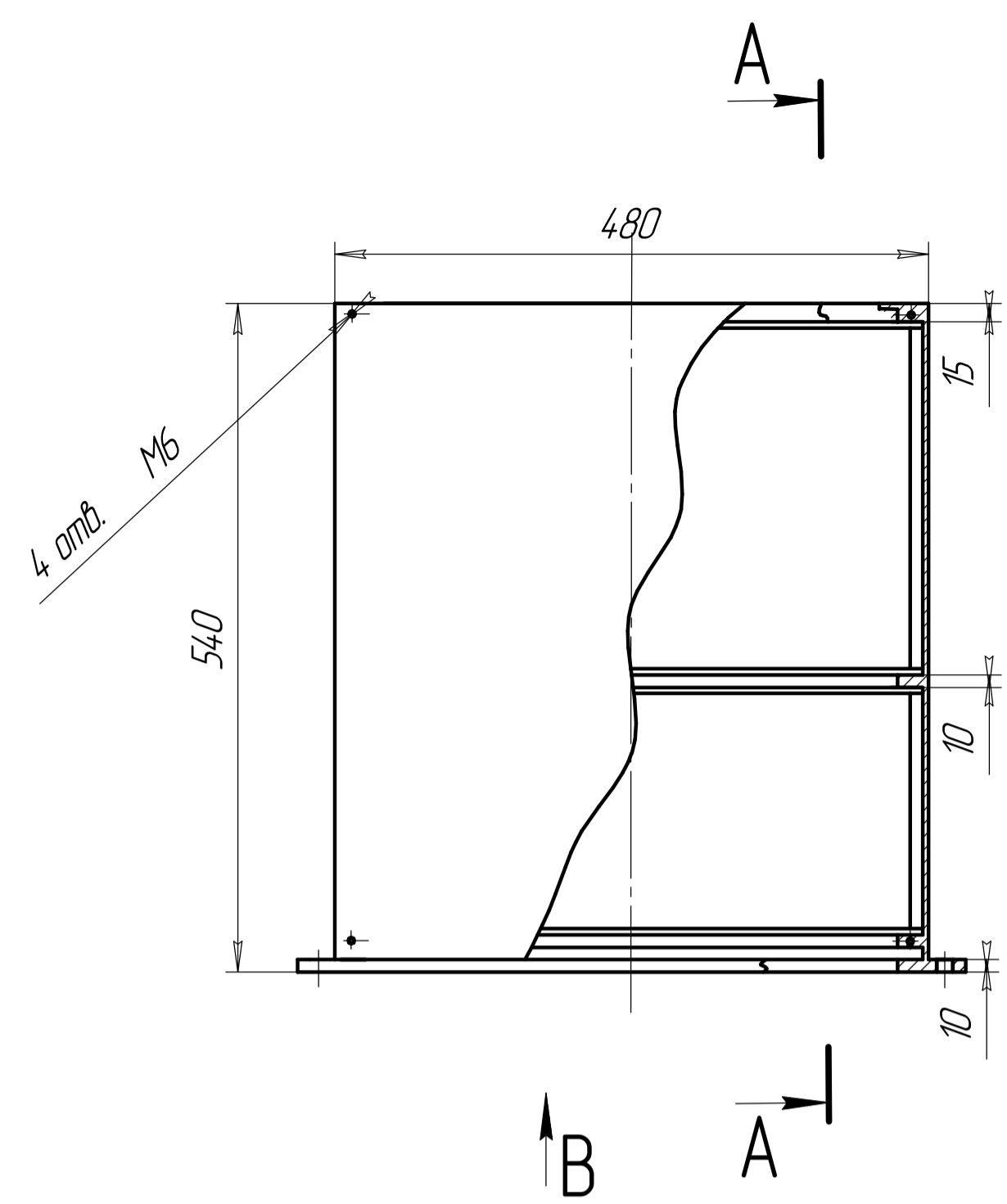




|                                   |   |                                   |                                    |              |
|-----------------------------------|---|-----------------------------------|------------------------------------|--------------|
| Відповідальна організація<br>НУХТ | Технічне узгодження<br>Чудовів С.О.                               | Розробник документа<br>Липко М.С. | Документ затверджено<br>Гавва О.М. | 15           |
| Власник документа<br>НУХТ         | Статус документа<br>Складальне креслення                          |                                   | 200501МР.00.002.СК                 |              |
|                                   | Назва, додаткова назва<br>Апарат для висушування грануляції СГ-30 |                                   | Інв. змін.                         | Дата видання |

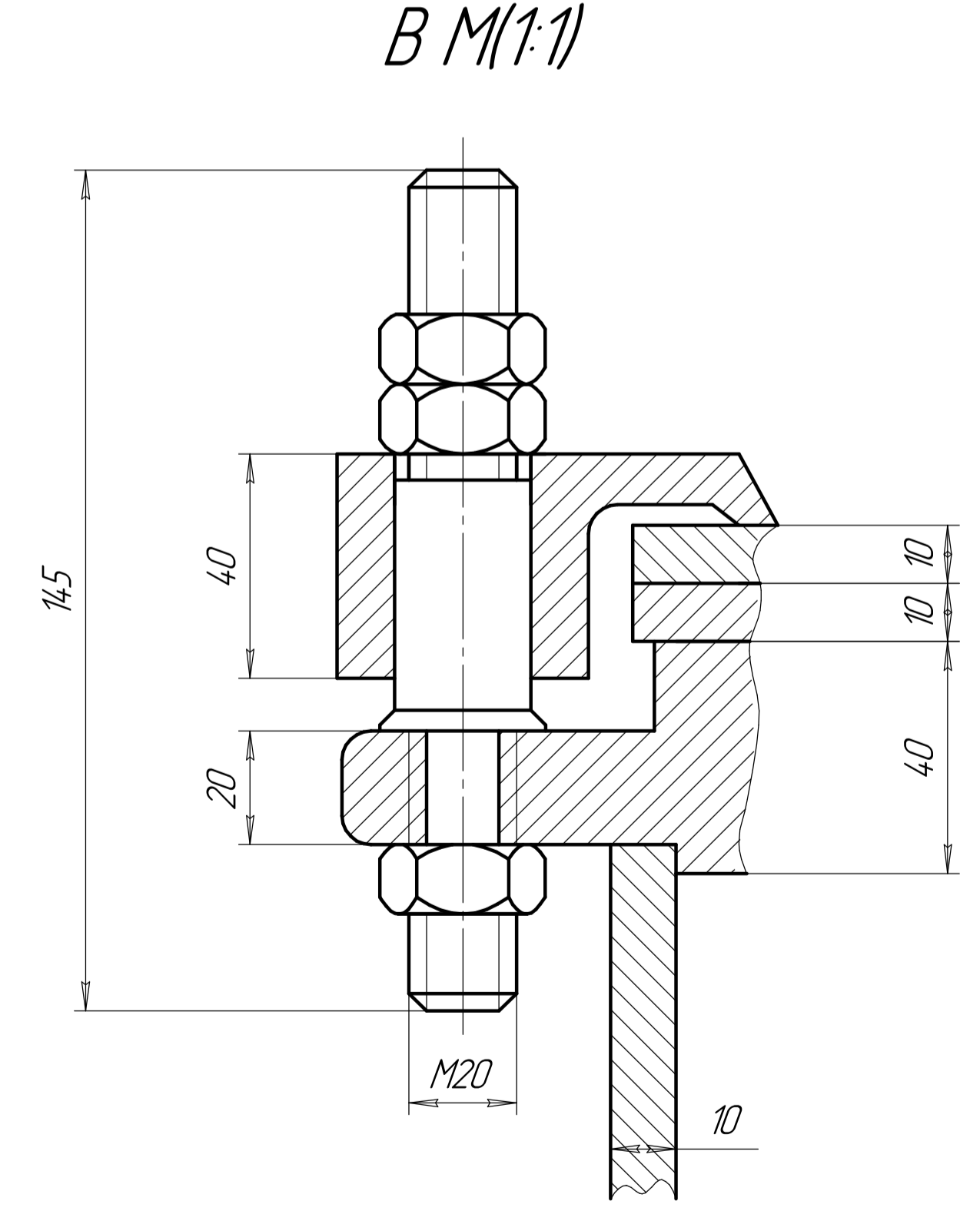
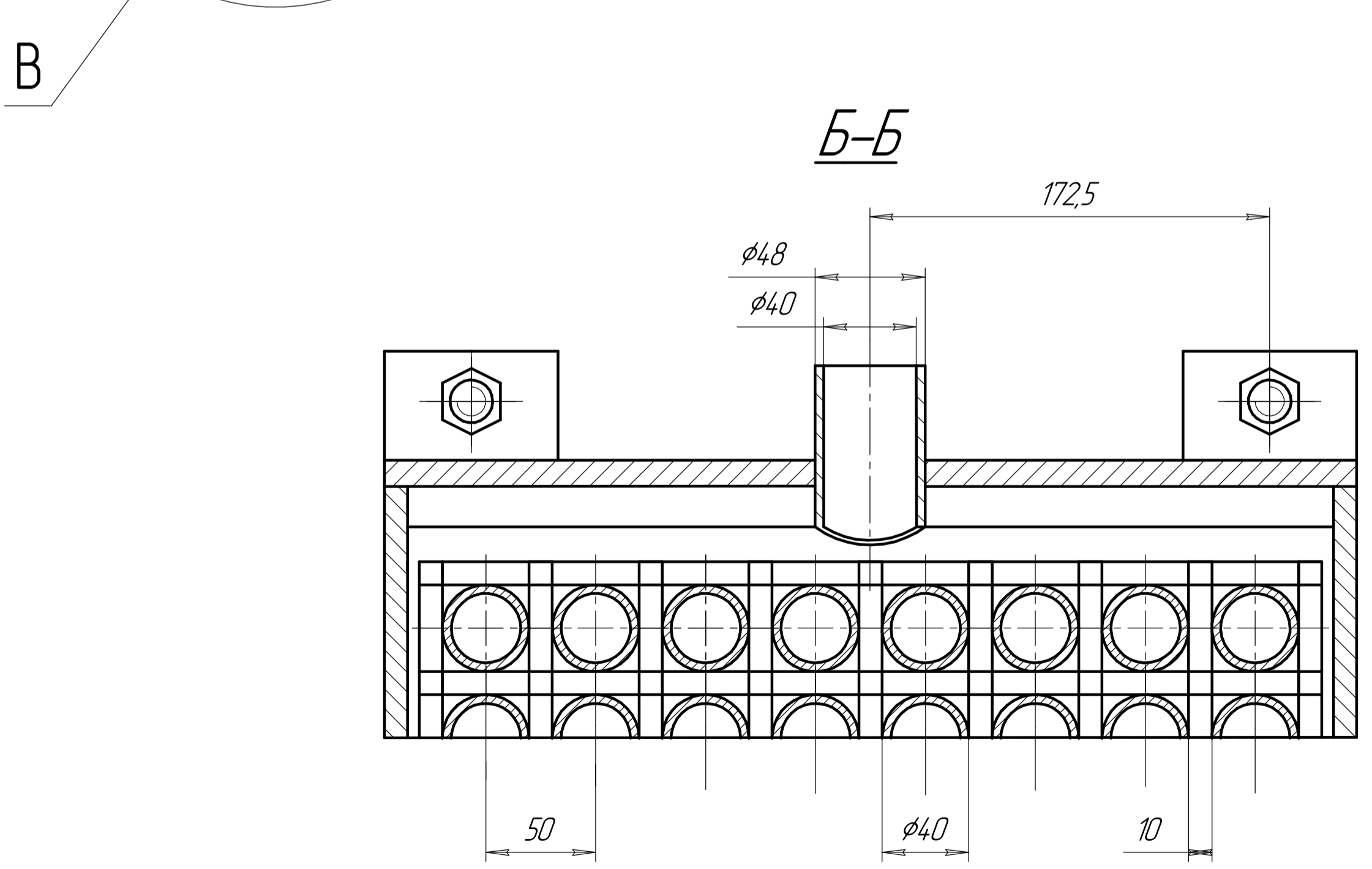
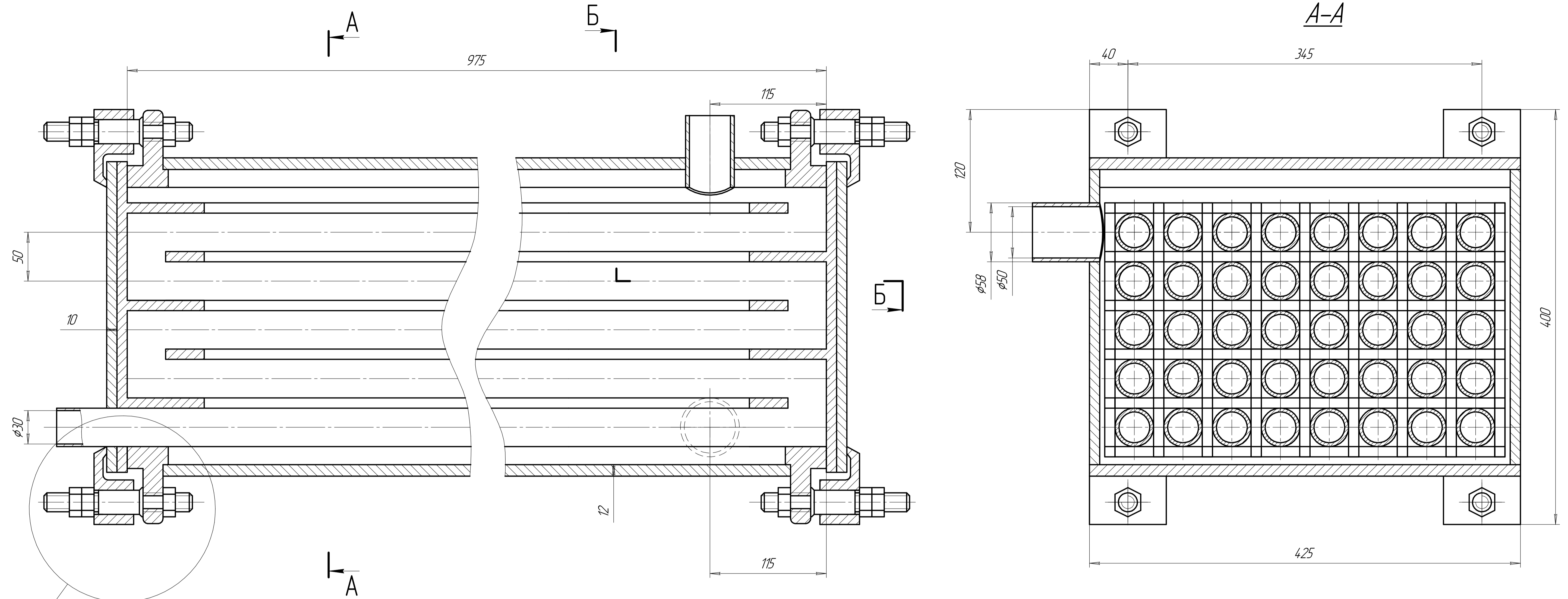
ЮЛР № 3019 Чудовівська © 2021 (00) "АНО-Центр проєктування" Радянська вулиця, 15

Не для комерційного використання



|                                   |                                    |  |                                    |    |
|-----------------------------------|------------------------------------|--|------------------------------------|----|
| Відповідальна організація<br>НУХТ | Технічне узгодження<br>Удовов С.О. | Розробник документа<br>Лопко М.С.  | Документ затверджено<br>Гавва О.М. | 15 |
| Власник документа<br>НУХТ         |                                    | Статус документа   |                                    |    |
|                                   |                                    | Складальне креслення   |                                    |    |
|                                   |                                    | Назва, додаткова назва<br>200501МР 00 003 СК                             |                                    |    |
|                                   |                                    | Вулиця модернізованого вузла<br>апарату для висхідної<br>грануляції Г-30 |                                    |    |
| Інв. змін.                        | Дата видання                       | Мова   | Аркуші                             |    |

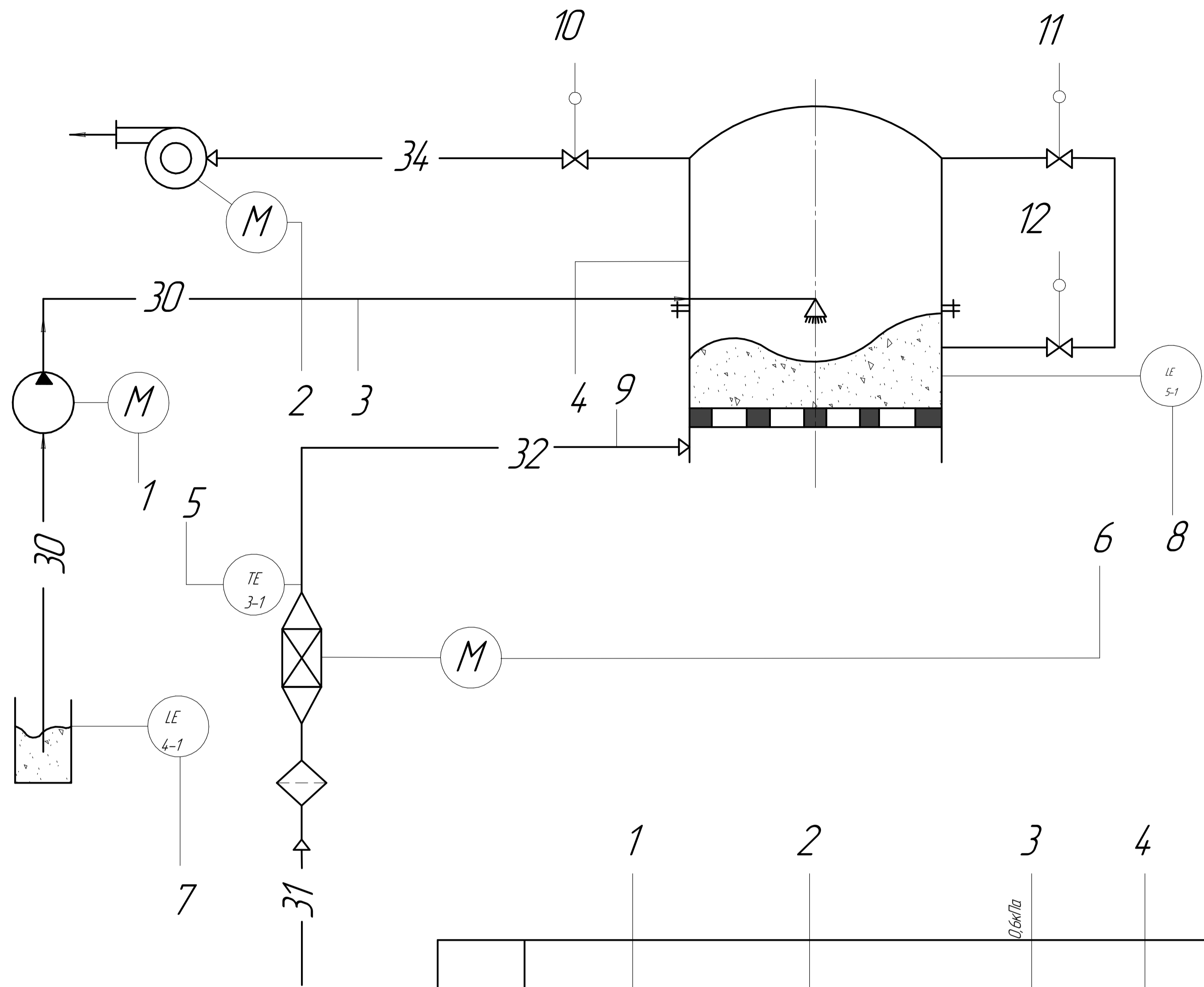




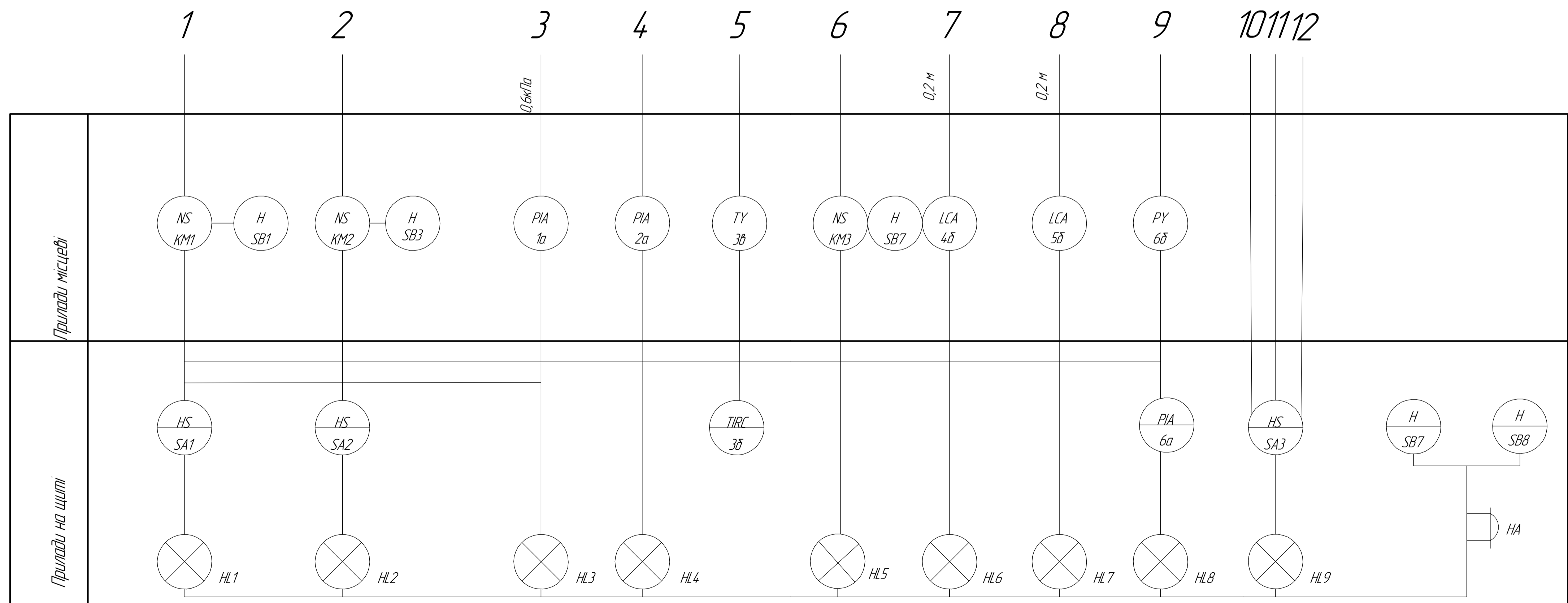
|                                   |                                     |  |                                    |        |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------------|--------|
| Відповідальна організація<br>НУХТ | Технічне узгодження<br>Чудовів С.О. | Розробник документа<br>Лопко М.С.  | Документ затверджено<br>Гавва О.М. | 12     |
| Власник документа<br>НУХТ         |                                     | Статус документа   |                                    |        |
|                                   |                                     | Складальне креслення   |                                    |        |
|                                   |                                     | Назва, додаткова назва<br>Калорифер<br>апарату для висушування<br>грануляції СГ-30 |                                    |        |
|                                   |                                     | 200501 МР 00 005 СК  |                                    |        |
|                                   |                                     | Інв. змін.   | Дата видання                       | Мова   |
|                                   |                                     |  |                                    | Аркуші |

ЮЛР № 3019 Чудовівська © 2021 100% АОО-Центр проєктування, Радянська вулиця, 12

Не для комерційного використання

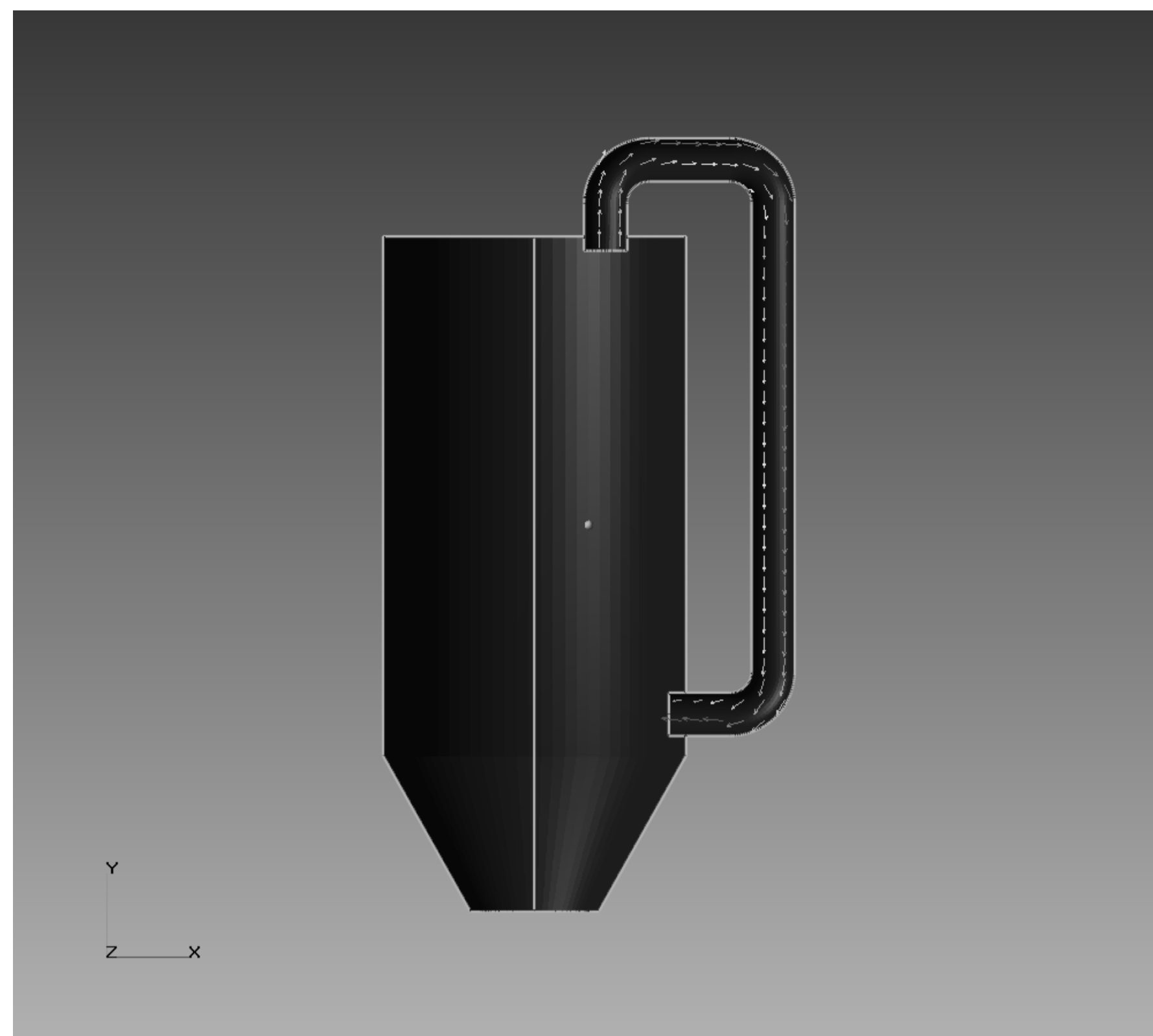


| Позначення | Середовище в трубопроводі |
|------------|---------------------------|
| — 32 —     | Горяче повітря            |
| — 31 —     | Повітря                   |
| — 30 —     | Гранулююча рідина         |
| — 34 —     | Відпрацьоване повітря     |

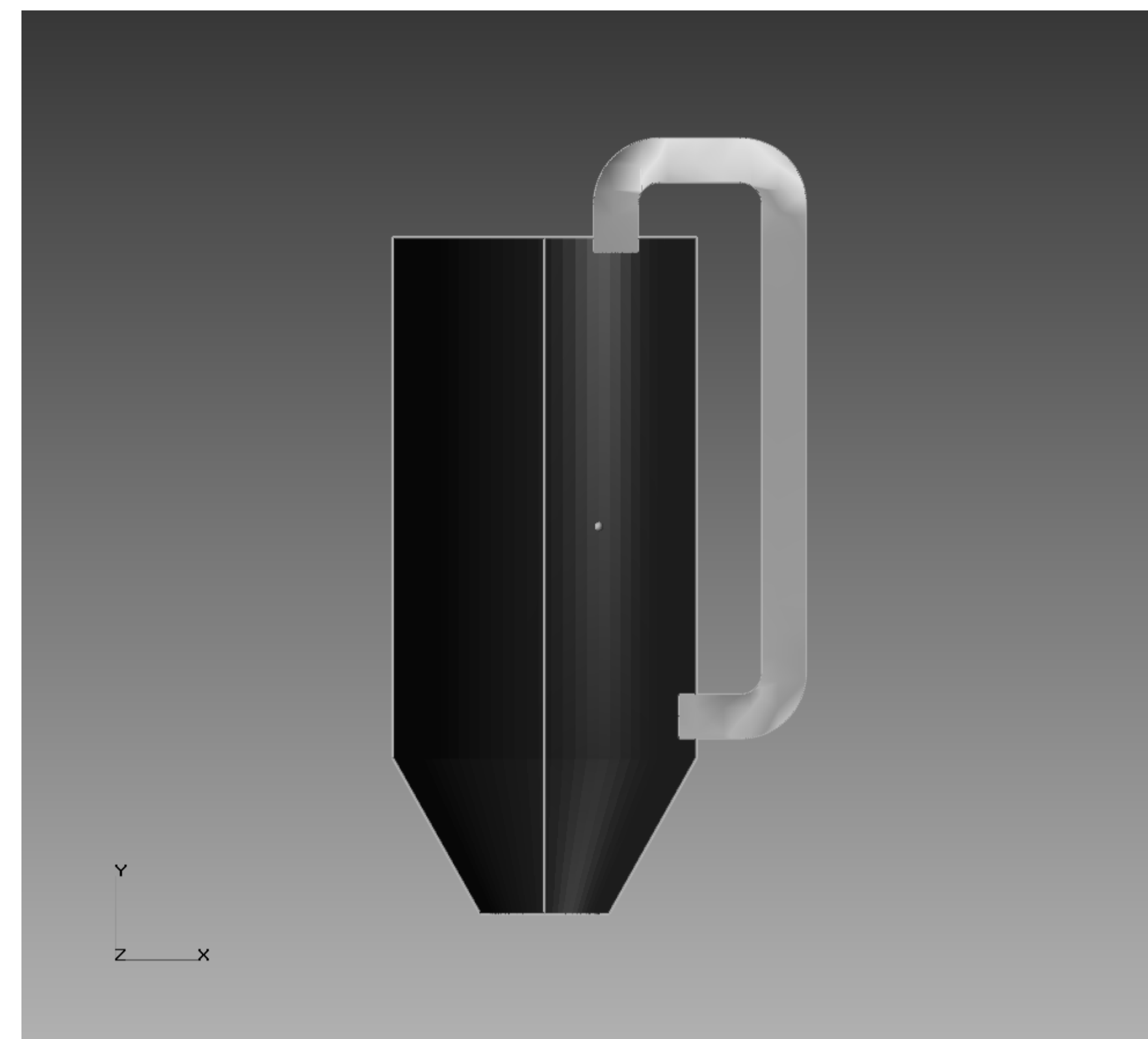


|                                   |                                     |  |                                    |                    |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------------|--------------------|
| Відповідальна організація<br>НУХТ | Технічне узгодження<br>Чудовів С.О. | Розробник документа<br>Ляшко М.С.  | Документ затверджено<br>Гавва О.М. | №/м                |
| Власник документа<br>НУХТ         |                                     | Статус документа<br>Схема автоматизації  |                                    |                    |
|                                   |                                     | Назва, додаткова назва<br>Схема автоматизації<br>апарату для висушування<br>грануляції СГ-30 |                                    | 200501МР.00.006.СА |
|                                   |                                     | Інв. змін.   | Дата видання                       | Мова               |
|                                   |                                     | Аркуші   |                                    |                    |

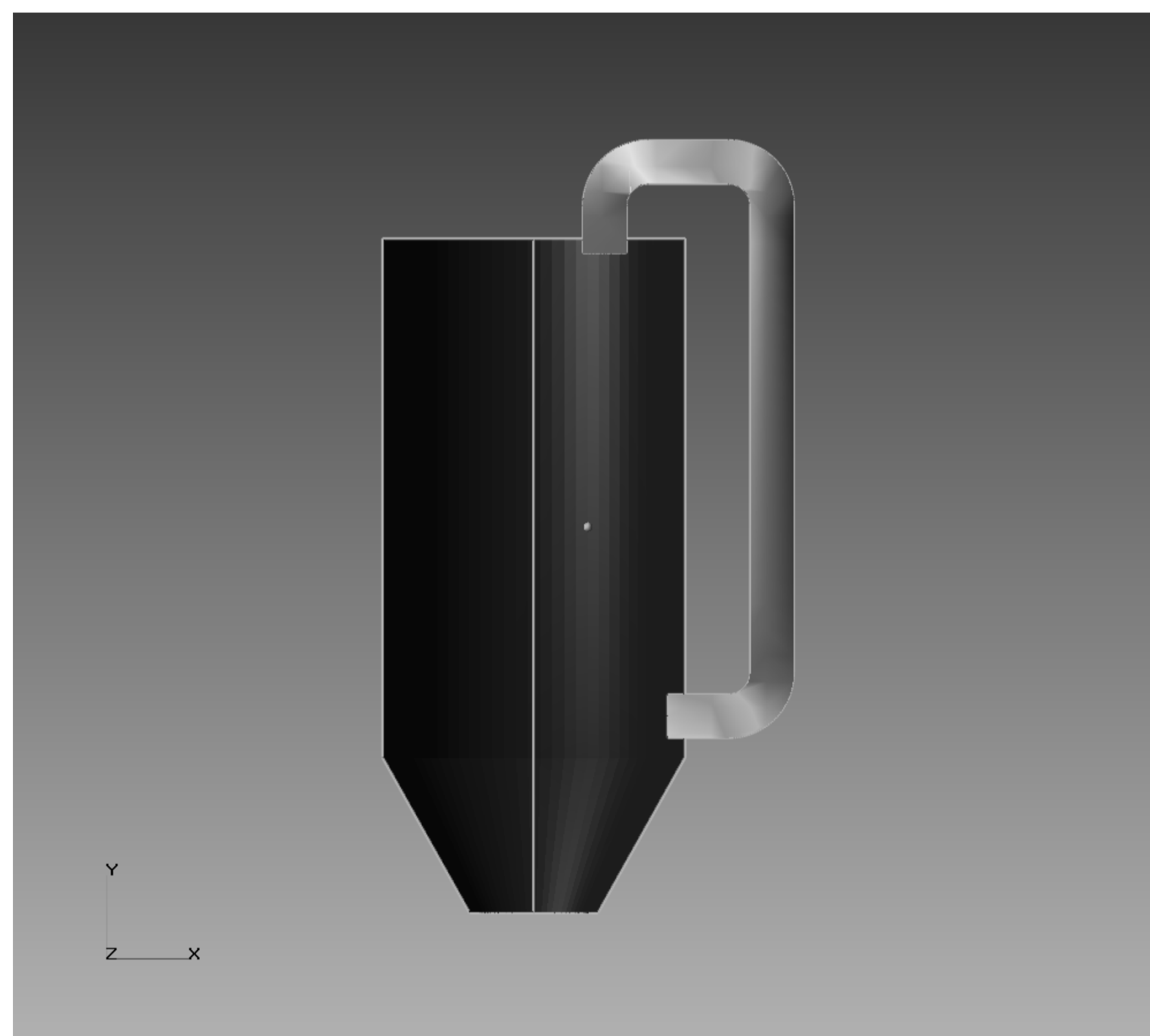




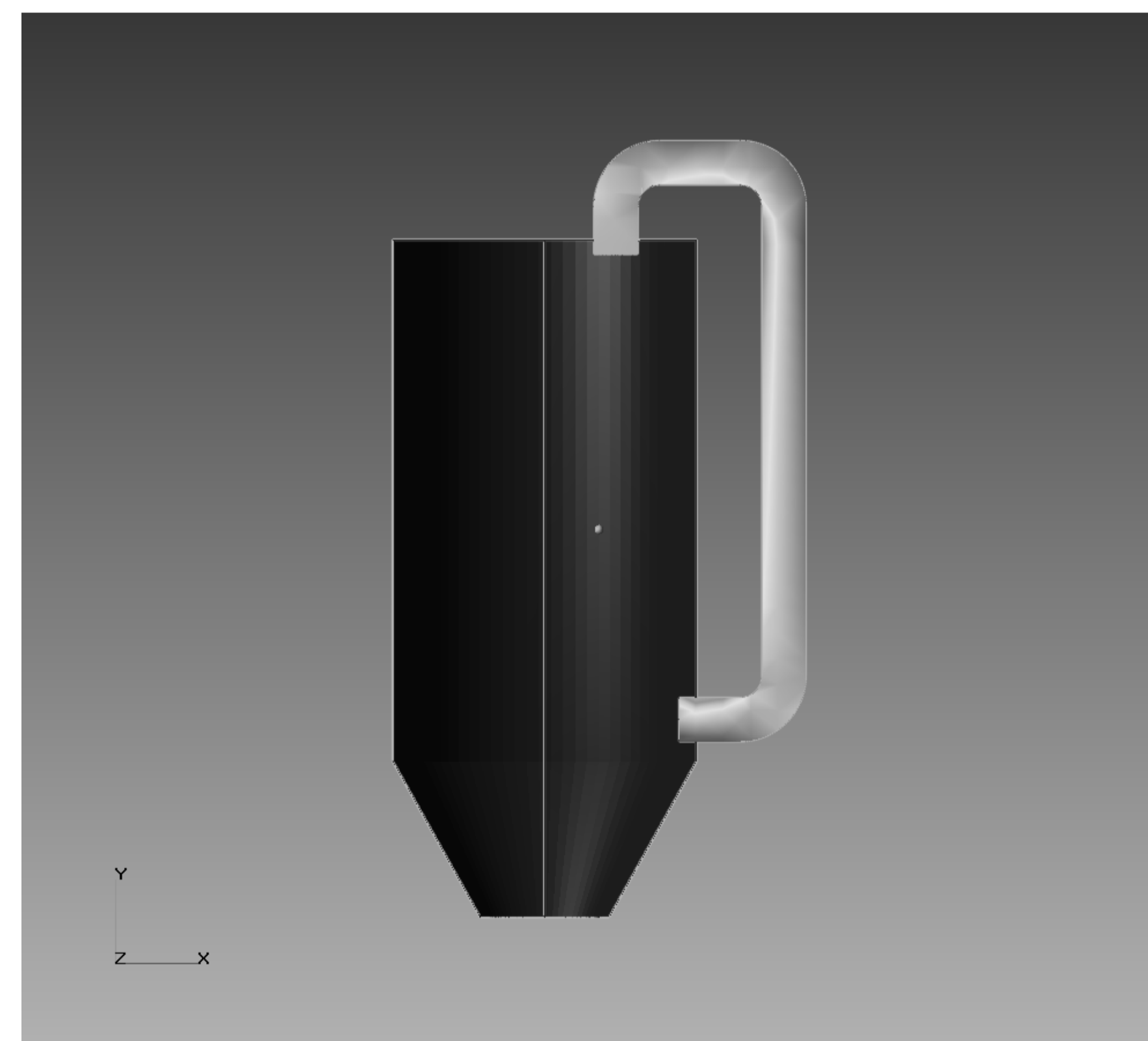
*Вектори руху теплоносія*



*Розподіл тиску теплоносія*



*Зображення величини прискорення руху теплоносія*



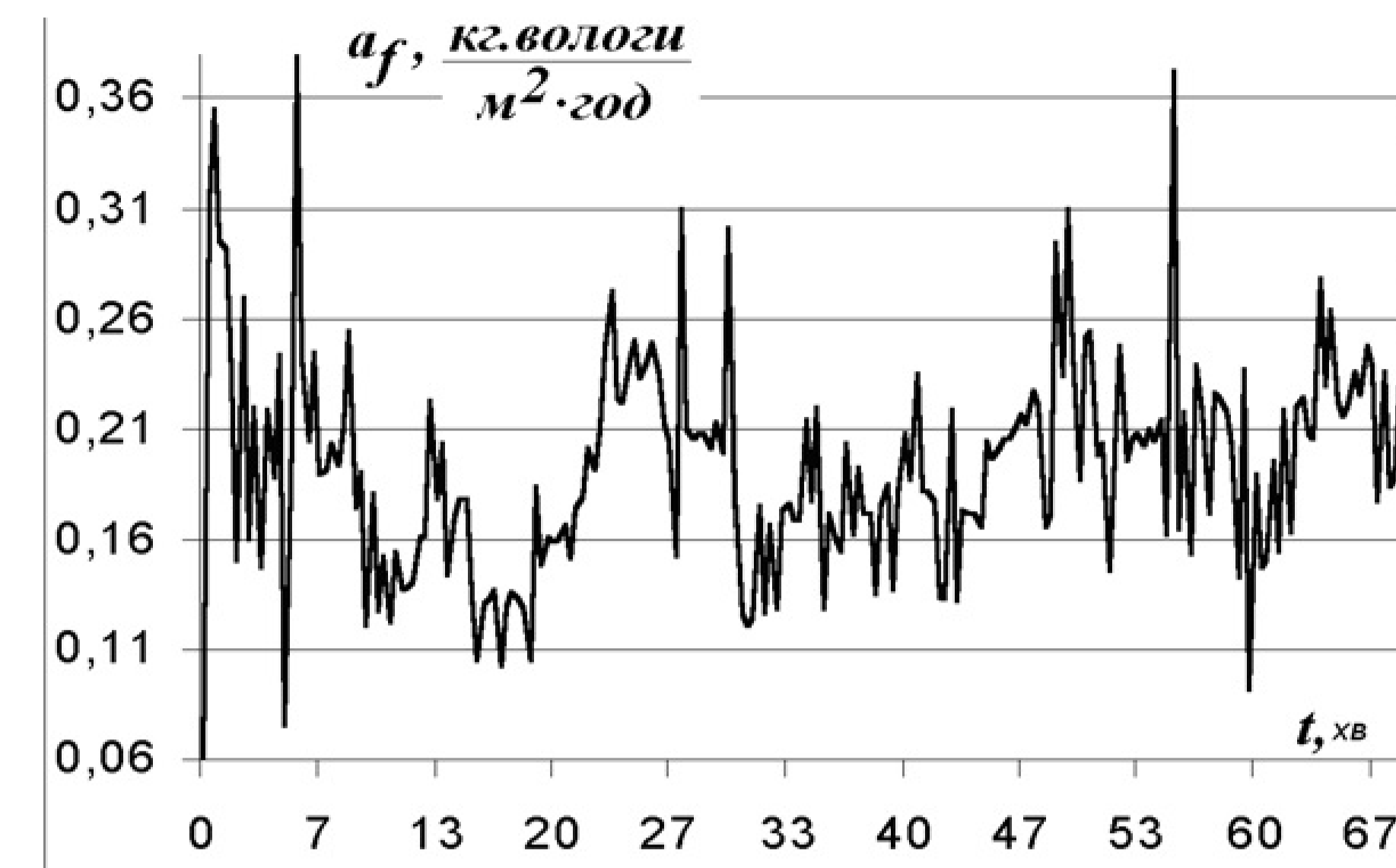
*Швидкість руху теплоносія*

|                                   |                                     |   |                                    |        |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---|------------------------------------|--------|
| Відповідальна організація<br>НУХТ | Технічне узгодження<br>Чудовів С.О. | Розробник документа<br>Лапка М.С.                 | Документ затверджено<br>Гавва О.М. | №/м    |
| Власник документа<br>НУХТ         |                                     | Вид документа<br>Наукова робота                   | Статус документа                   |        |
|                                   |                                     | Назва, додаткова назва<br>Наукова-дослідна робота | 200501 МР 00 008 НР                |        |
|                                   |                                     | Інші зміни  | Дата видання                       | Мова   |
|                                   |                                     |   |                                    | Аркуші |

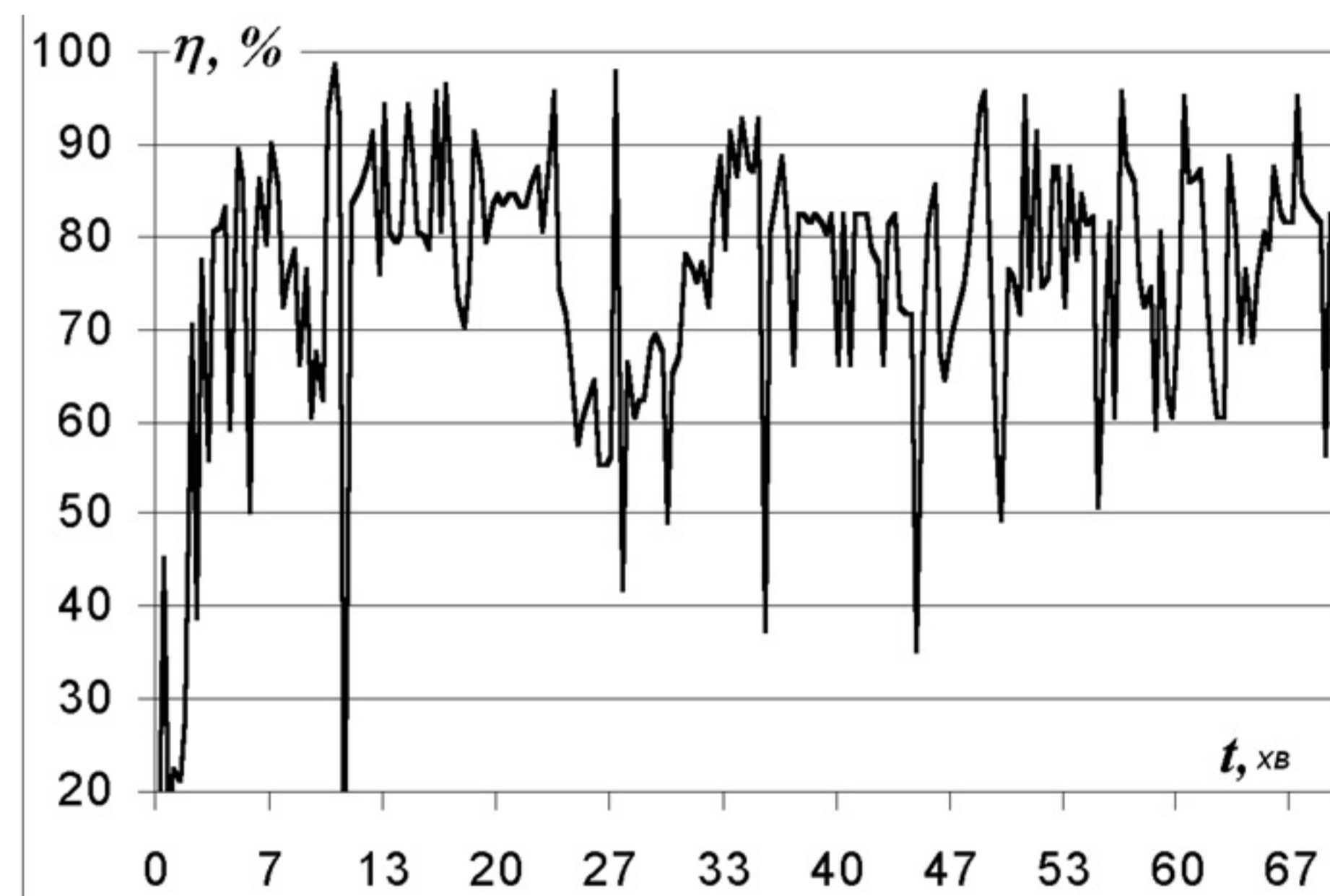




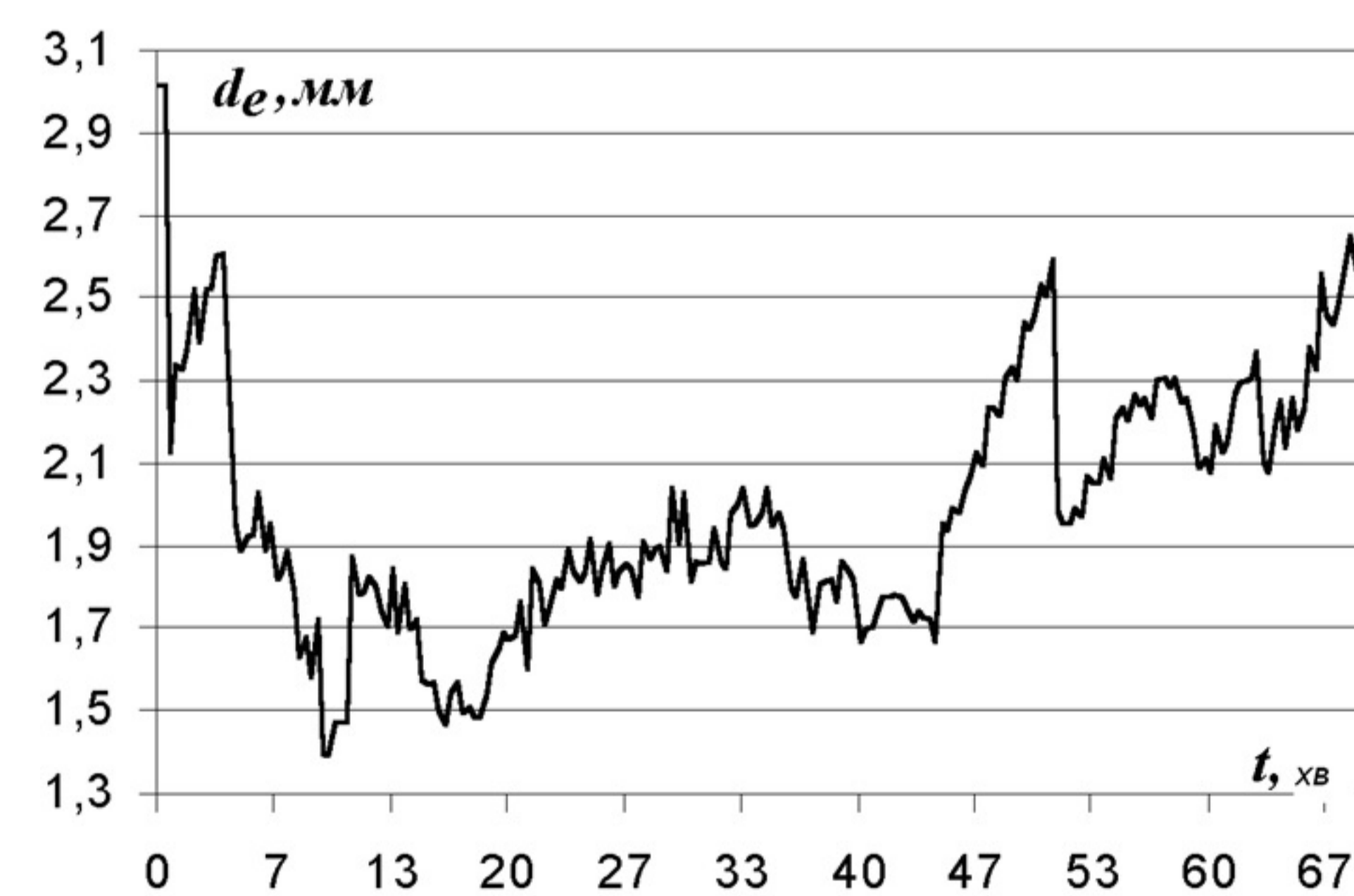
Динаміка залежності щільності зрошення поверхні частинок у псевдозрідженому шарі від часу



Динаміка залежності виходу гранульованого продукту від часу.



Динаміка залежності виходу гранульованого продукту від часу.



Динаміка залежності еквівалентного діаметру частинок в апараті від часу.

|                                   |                                     |   |                                    |        |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---|------------------------------------|--------|
| Відповідальна організація<br>НУХТ | Технічне узгодження<br>Чудовів С.О. | Розробник документа<br>Ляшко М.С.                 | Документ затверджено<br>Габва О.М. | №/м    |
| Власник документа<br>НУХТ         |                                     | Вид документа<br>Наукова робота                   | Статус документа                   |        |
|                                   |                                     | Назва, додаткова назва<br>Науково-дослідна робота | 200501МР.00.010.НР                 |        |
|                                   |                                     | Інші зміни  | Дата видання                       | Мова   |
|                                   |                                     |   |                                    | Аркуші |

| Формат | Зона | Позиція | Позначення          | Найменування                           | Кільк. | Примітка |
|--------|------|---------|---------------------|--|--------|----------|
|        |      |         |                     |  |        |          |
|        |      |         |                     | <u>Документація</u>                    |        |          |
|        |      |         |                     | Магістерська робота                    |        |          |
| A4     |      |         | 200501.MP.00.000.ПЗ | Пояснювальна записка                   |        |          |
|        |      |         |                     | <u>Складальні одиниці</u>              |        |          |
|        |      | 1       |                     | Гаця                                   | 1      |          |
|        |      | 2       |                     | Пневмоциліндр підйомний для резервуару | 1      |          |
|        |      | 3       |                     | Продуктовий резервуар                  | 1      |          |
|        |      | 4       |                     | Обчайка розпилювача                    | 1      |          |
|        |      | 5       |                     | Обчайка фільтрів                       | 1      |          |
|        |      | 6       |                     | Зтрушуючий пристрій                    | 1      |          |
|        |      | 7       |                     | <u>Запобіжний клапан</u>               | 1      |          |
|        |      | 8       |                     | Вентилятор                             | 1      |          |
|        |      | 9       |                     | Штдбер                                 | 1      |          |
|        |      | 10      |                     | Заслінка                               | 1      |          |
|        |      | 11      |                     | Корпус                                 | 1      |          |
|        |      | 12      |                     | Фільтр повітряний                      | 1      |          |
|        |      | 13      |                     | Насос дозуючий                         | 1      |          |
|        |      | 14      |                     | Ємність для гранульованої речовини     | 1      |          |
|        |      | 15      |                     | Паровий калорифер                      | 1      |          |
|        |      | 16      |                     | Манометр                               | 1      |          |
|        |      | 17      |                     | Муфта                                  | 1      |          |

|  |  |   |  |   |  |                            |              |
|--|--|---|--|---|--|----------------------------|--------------|
| Відповідальна організація<br><b>НУХТ</b> |  | Технічне узгодження<br><i>Удодов С.О.</i> |  | Вид документа<br><b>Специфікація</b>  |  | Статус документа           |              |
| Власник документа<br><b>НУХТ</b>         |  | Розробник документа<br><i>Лалко М.С.</i>  |  | Назва, додаткова назва<br><b>Апарат для<br/>висушування<br/>грануляту СГ-30</b> |  | <b>200501.MP.00.001.СП</b> |              |
|  |  | Документ затверджено<br><i>Гавда О.М.</i> |  |   |  | Інд. змін                  | Дата видання |
|  |  |   |  |   |  | Мова<br><b>UA</b>          | Аркуш        |