

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

**Навчально-науковий інженерно-технічний інститут
імені акад. І.С. Гулого**

Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

(підпис)

Сергій БЛАЖЕНКО

(ім'я та прізвище)

«___» _____ 20__р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)

Олександр ГАВВА

(ім'я та прізвище)

«___» _____ 20__р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування
освітньо-професійної програми «Інжиніринг фармацевтичних та
біотехнологічних виробництв»

на тему:

Удосконалення конструкції центрифуги BVG C 10-A

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЗОФ-2-3м

Щеголев Андрій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

Керівник

Житнецький Ігор Володимирович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

Консультанти

(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) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____

(підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут імені акад. І. С. Гулога
Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв
Освітній ступінь «Магістр»
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
Освітньо-професійна програма: Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МАХФВ

_____ **Олександр ГАВВА**
“ _____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Щеголева Андрія Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Удосконалення конструкції центрифуги BVG C 10-A**

керівник роботи **Житнецький І.В., доцент, кандидат технічних наук,**

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від 01.10.2024 р. № 860-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 08.12.2024

3. Вихідні дані до роботи _Продуктивність за субстанцією 260 кг; частота обертання барабана 920 об/хв.; густина продукту 900 кг/м³, динамічна в'язкість $2,07 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Анотація (українською та англійською мовами); Огляд процесів центрифугування і обладнання для його реалізації; об'єкти і методи досліджень; результати моделювання; розрахункова частина; валідація. проведення кваліфікації центрифуги; висновки; список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу:

Креслення: Загальний вид центрифуги; механізм гальмування; вузли центрифуги; технологія машинобудування

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 09.10.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Розділи пояснювальної записки:		
1	Вступ	09.10.2024	виконано
2	Огляд процесів центрифугування і обладнання для його реалізації	15.10.2024	виконано
3	Матеріали і методи досліджень	26.10.2024	виконано
4	Результати досліджень	10.11.2024	виконано
5	Розрахункова частина	17.11.2024	виконано
6	Валідація. Проведення кваліфікації центрифуги	26.11.2024	виконано
7	Висновки	02.12.2024	виконано
8	Список використаних джерел	03.12.2024	виконано
9	Презентація та креслення	08.12.2024	виконано

Здобувач

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Андрій ЩЕГОЛЕВ

(ім'я, прізвище)

Ігор ЖИТНЕЦЬКИЙ

(ім'я, прізвище)

Анотація

Тема роботи . Удосконалення конструкції центрифуги BVG C 10-A

Вступ. Мета досліджень – пошук і оцінка рішень по покращенню конструкції центрифуги. Провести удосконалення конструкції центрифуги , яке вплине на покращення її продуктивності , або автоматизацію в процесах, які відбуваються під час експлуатації центрифуги .

Матеріали і методи. Досліджується робота триколонної фільтрувальної центрифуги періодичної дії BVG C 10-A, зокрема, її гальмівний пристрій. Імітаційне моделювання процесу фільтрування в центрифугі виконано у програмному пакеті SolidWorks, додаток Flow Simulation.

Результати і обговорення. Елементи центрифуги мають достатній запас міцності, що показало при моделюванні їх роботи. Максимальний тиск (0,718 МПа) спостерігається біля стінок барабана і враховуючи навіть ослаблення обичайки наявністю отворів не створиться небезпечних умов функціонування центрифуги. Конструкція гальмівного пристрою витримує прикладені навантаження (гальмівний момент) з коефіцієнтом запасу міцності-1,6., згідно проведеного аналізу напружено-деформованого стану гальмівної стрічки. Проведено розрахунки фільтрувальної центрифуги. Для автоматизації частин допоміжних операцій та зменшення кількості ручних операцій пропонується встановлення гідравлічного приводу.

Висновки . Результати досліджень дають можливість зменшити кількість ручних операцій та автоматизувати частину допоміжних операцій. Центрифуга має достатній запас міцності – 1.6, тому гарантується забезпечення безпечних умов її роботи.

Ключові слова: центрифуга, удосконалення, барабан, фільтрування.

Abstract

Theme of the work. Improvement of the design of the centrifuge BVG C 10-A
Introduction. The purpose of the research is to find and evaluate solutions to improve the design of the centrifuge. To improve the design of the centrifuge, which will improve its performance, or automation in the processes that occur during the operation of the centrifuge.

Materials and methods. The operation of the three-column batch filter centrifuge BVG C 10-A, in particular, its braking device, is studied. The simulation of the filtering process in the centrifuge was performed in the SolidWorks software package, Flow Simulation application.

Results and discussion. The centrifuge elements have a sufficient margin of safety, which was shown during their modeling in operation. The maximum pressure (0.718 MPa) is observed near the walls of the drum, and even taking into account the weakening of the shell by the presence of holes, there will be no dangerous conditions for the operation of the centrifuge. The design of the brake device can withstand the applied loads (braking torque) with a safety factor of 1.6, according to the analysis of the stress-strain state of the brake belt. Calculations of the filter centrifuge were performed. To automate some of the auxiliary operations and reduce the number of manual operations, it is planned to install a hydraulic drive.

Conclusions. The research results make it possible to reduce the number of manual operations and automate some of the auxiliary operations. The centrifuge has a sufficient safety margin of 1.6, so it is guaranteed to provide safe operating conditions.

Keywords: centrifuge, improvement, drum, filtration.

Зміст

Вступ	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ПРОЦЕСІВ ЦЕНТРИФУГУВАННЯ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ	8
1.1. Суть процесу центрифугування	8
1.2. Математичний опис процесу центрифугування у фільтрувальних центрифугах	10
1.3. Конструктивне виконання фільтрувальних центрифуг	13
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	25
2.1. Об'єкт дослідження	25
2.2. Методика імітаційного моделювання	31
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ	34
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	38
4.1. Технологічні розрахунки	38
4.2. Розрахунок на міцність обичайки	41
4.3. Розрахунок потужності приводу	43
4.4. Технологія машинобудування	45
4.5. Правила монтажу, та технічного сервісу модернізованого обладнання	51
РОЗДІЛ 5. ВАЛІДАЦІЯ. ПРОВЕДЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ЦЕНТРИФУГИ	65
5.1. Загальні відомості	65
5.2. Проведення кваліфікації функціонування (OQ) центрифуги	68
5.3. Проведення кваліфікації експлуатації (PQ) центрифуги	75
5.4. Проведення рекваліфікації монтажу (IQ) центрифуги в зв'язку з вдосконаленням	77
Висновки	82
Список використаних джерел	83

ВСТУП

В даний час центрифуги широко використовуються в фармацевтичній промисловості. Зі стрімким розвитком фармацевтичної промисловості, а саме зі збільшенням обсягів виробництва зростають вимоги і до процесів, які протікають на центрифугах. Технологічні процеси, які проходять на фармацевтичному виробництві в свою чергу вимагають проводити технічне переоснащення, впроваджуючи нові сучасні види обладнання, або проводити модернізацію вже працюючого.

Для модернізації центрифуги необхідно проводити заходи, які збудовані на вивченні питання, надання пропозицій по удосконаленню її конструкції, проведення досліджень, моделювання процесу і в результаті отримати потрібне удосконалення машини.

Сучасне програмне забезпечення (CFD) дозволяє змоделювати процеси в технологічному обладнанні і на етапі проектування вибрати раціональні конструктивні та режимні параметри його роботи.

Тому такий метод імітаційного моделювання в процесів у центрифугі ми використаємо у кваліфікаційній роботі.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Житнецький І.В.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Разробник документа</i> Щеголев А.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> Вступ	23-1520.MP.02.000.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/1	

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ПРОЦЕСІВ ЦЕНТРИФУГУВАННЯ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

1.1. Суть процесу центрифугування

Найбільш поширеним способом розділення рідких неоднорідних систем під дією відцентрових сил є центрифугування, яке здійснюється в центрифугах. Основна частина центрифуги—барабан (корзина) з суцільними або дірчастими стінками, який обертається з великою швидкістю на вертикальному або горизонтальному валі.

Розрізняють наступні процеси розділення суспензій в центрифугах:

- відцентрове фільтрування;
- відцентрове відстоювання;
- відцентрове освітлення.

Відцентрове фільтрування представляє собою процес розділення суспензій в центрифугах з дірчастими барабанами. Внутрішня поверхня такого барабану покрита фільтрувальною тканиною. Суспензія відцентровою силою відкидається до стінок барабану, при цьому тверда фаза залишається на поверхні тканини, а рідина під дією відцентрової сили проходить через шар осаду і тканини і видаляється назовні через отвори у барабані.

Відцентрове фільтрування, в основному, складається з трьох послідовно протікаючих фізичних процесів:

- фільтрування з утворенням осаду;
- ущільнення осаду;
- видалення з осаду рідини, яка втримується молекулярними силами.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Житнєцький ІВ.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Щеголев А.С.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i>	23-1520.MP.02.001.P3			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва ОМ.</i>	<i>Огляд процесів</i> <i>центрифугування і обладнання</i> <i>для його реалізації</i>	<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/17

При допомозі відцентрового фільтрування може досягатися висока степінь зневоднення осаду. Відцентрове відстоювання представляє собою процес розділення суспензій в центрифугах, які мають барабан з суцільними стінками. Суспензія вводиться в нижню частину барабану і під дією відцентрової сили відкидається до стінок. Безпосередньо біля стінок утворюється шар осаду, а рідина утворює внутрішній шар і витісняється з барабану поступаючої на розділення суспензією. Піднімаючись вгору, рідина переливається через край барабану і видаляється назовні.

При відцентровому відстоюванні відбуваються два фізичні процеси:

- осадження твердої фази;
- ущільнення осаду.

Відцентрове освітлення також проводиться в суцільних барабанах і служить для очистки рідин, які містять незначну кількість твердої фази. Цей процес застосовується для розділення тонких суспензій і колоїдних розчинів. В барабанах з суцільними стінками проводиться також розділення емульсій. Під дією відцентрової сили компоненти емульсії у відповідності з густиною розміщуються у вигляді розмежованих шарів: зовнішнього шару рідини з більшою густиною і внутрішнього шару більш легкої рідини. Рідини виводяться з барабану нарізно. Відцентрові сили, які розвиваються при центрифугуванні, справляють на рідку систему, що розділяється, набагато більшу дію, ніж сили тяжіння і тиску. Тому центрифугування є набагато більш ефективним способом механічного розділення неоднорідних рідких систем, чим відстоювання і фільтрування.

Напруженість відцентрового поля, що створюється у центрифугі, характеризується фактором розділення (критерій Фруда), який демонструє відношення прискорення відцентрової сили до прискорення сили тяжіння, що чисельно дорівнює відношенню величини відцентрової сили до ваги конкретного матеріалу:

$$Fr = \frac{\omega^2 \cdot r}{g} = \frac{n^2 \cdot r}{900},$$

де $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$ – кутова швидкість обертання барабана центрифуги, c^{-1} ;

r – внутрішній радіус центрифуги, м;

g – прискорення сили тяжіння, m/c^2 ;

n – частота обертання барабана, $хв^{-1}$.

Існують номограми для визначення Fr . У залежності від його величини центрифуги підрозділяються на:

- нормальні ($\Phi < 3500$)
- надшвидкісні, або ультрацентрифуги ($\Phi > 3500$).

За своєю будовою фільтрувальні центрифуги подібні осаджувальним, але як фільтрувальні використовуються нормальні центрифуги, ротори яких мають достатньо великі розміри і виготовляються з перфорованих листів або сіток. Надцентрифуги мають суцільні ротори невеликих розмірів і використовуються як відстійні.

1.2. Математичний опис процесу центрифугування у фільтрувальних центрифугах

Центрифугування відноситься до гідромеханічних процесів.

Методика визначення необхідних параметрів процесу центрифугування наведена у [6].

Основне рівняння гідромеханічних процесів:

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{p}{R} \quad (1.1)$$

де V – об'єм фільтрату, p – тиск фільтрування; R – загальний опір фільтруванню; F – поверхня фільтра; τ – час фільтрування.

Тут загальний перепад тиску складається з перепаду тиску на осаді і на фільтрувальній перегородці: $p = p_1 + p_2$, а загальний опір – з опору шару осаду і опору фільтрувальної перегородки:

$$R = R_{\phi} + R_{\text{осаду}} \quad (1.2)$$

Опір шару осаду визначається як добуток питомого опору осаду r , який залежить від природи матеріалу осаду, на товщину шару осаду l :

$$R_{\text{осаду}} = l \cdot r \quad (1.3)$$

З урахуванням (1.2) і (1.3) рівняння (1.1) набуває вигляду:

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{p}{R_{\phi} + l \cdot r} \quad (1.4)$$

Якщо з 1 м^3 рідини, що пройшла крізь фільтр (фільтрату), відкладається $x \text{ м}^3$ осаду, то висота шару осаду

$$l = \frac{Vx}{F} \quad (1.5)$$

(1.5) підставляємо у (1.4):

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{p}{R_{\phi} + \frac{V \cdot r \cdot x}{F}} \text{ або } \frac{x \cdot r}{F} VdV + R_{\phi} dV = p \cdot Fd\tau \quad (1.6)$$

Фільтрування проводять:

- 1) при постійному перепаді тисків,
- 2) при постійній швидкості

Процес у фільтрувальних центрифугах відбувається при постійному перепаді тисків, тому подальша методика розрахунку наведена саме для цього випадку.

При постійному перепаді тисків $p = \text{const}$ (1.6) інтегруємо у межах $0-V$ і $0-\tau$.

Отримуємо:

$$V^2 xr + 2R_{\phi} VF = 2pF^2 \tau \quad (1.7)$$

де τ – час фільтрування, F – поверхня фільтру.

Вираз (1.7) записують у вигляді:

$$V^2 + 2VC = K\tau \quad (1.8)$$

де C – константа фільтрування, яка характеризує гідравлічний опір фільтрувальної перегородки ($\text{м}^3/\text{м}^2$),

K – константа фільтрування, яка враховує режим процесу і фізико-хімічні властивості осаду і рідини ($\text{м}^2/\text{с}$);

V – об'єм фільтру, отриманий з одного м^2 поверхні фільтру за час τ .

Швидкість фільтрування залежить від часу.

На кривій залежності швидкості фільтрування від часу можна виділити 3 періоди:

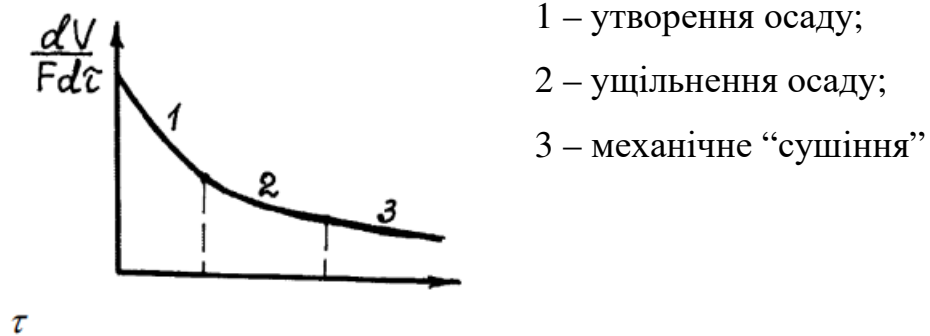


Рис. 1.1. Зміна швидкості фільтрування у часі τ

Опис періоду утворення осаду (кінетика фільтрування):

В шарі осаду виділяємо елементарне кільце, яке має об'єм $dV = 2\pi r H dr$

(1.9)

Відцентрова сила

$$dG_{\text{вц}} = \frac{dm v^2}{r} = dm \cdot \omega^2 \cdot r \quad (1.10)$$

$$dm = \rho dV = \rho F dr \quad (28)$$

Тиск на шарі, що прилягає до кільця:

$$dp_{\text{вц}} = \frac{dG_{\text{вц}}}{F} = \frac{F \rho dr \omega^2 \cdot r}{F} = \rho \omega^2 r dr \quad (1.11)$$

Після інтегрування (1.11) у межах $r_1 - r_2$ отримаємо:

$$p_{\text{вц}} = \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} (r_2^2 - r_1^2) \quad (1.12)$$

Знаючи $p_{\text{вц}}$, з (1.7), (1.8) знаходять τ .

Для 2 і 3 ділянок тривалість процесу наближено визначається за формулою:

$$\tau = a \ln \frac{X_{\text{поч}} - b}{X_{\text{кін}} - b}, \quad (1.13)$$

де X – вологість осаду;

a, b – константи, визначені експериментально.

1.3. Конструктивне виконання фільтрувальних центрифуг

Фільтрувальні центрифуги поділяються (рис.1.2.) за режимом дії та способом вивантаження осаду:

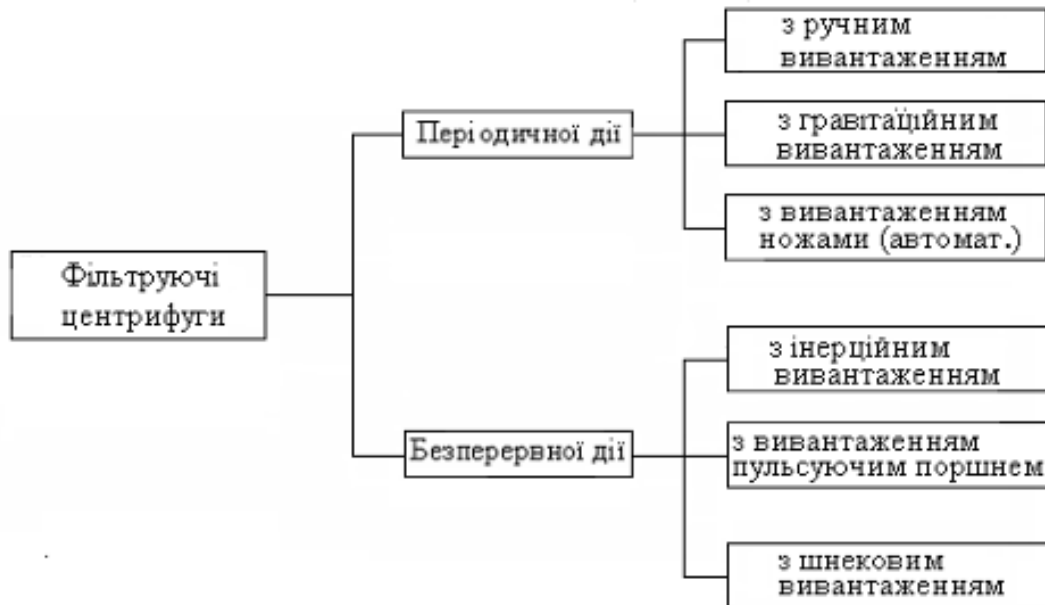


Рис. 1.2. Різновиди фільтруючих центрифуг.

У центрифуг періодичної дії вивантаження здійснюють після зупинки ротора вручну через верхній борт або через отвір в днищі, коли осад зрізається скребком або ножем спеціального механізму при обертанні ротора.

В безперервно діючих центрифугах осад видаляється з допомогою шнека, встановленого всередині ротора, поршня або під дією відцентрових сил.

За конструктивними ознаками центрифуги поділяють на центрифуги з горизонтальним і вертикальним розташуванням валу. Серед центрифуг з вертикальним розташуванням валу найбільш поширені підвісні і маятникові [7].

Маятникові центрифуги являють собою апарати періодичної дії з вертикальним підвісним ротором, який само встановлюється. Особливістю їх конструкції є нижнє розташування приводу і наявність трьох колонної кульової підвіски, яка забезпечує само встановлення маси, що відхиляється від вертикальної осі. Завдяки цьому такі центрифуги нечутливі до нерівномірного розподілу матеріалу в роторі. До переваг цих центрифуг потрібно віднести також простоту конструкції, компактність, малу масу і низьку вартість. Застосовують їх для розділення суспензій зі середньо- і високодисперсною твердою фазою, широким інтервалом концентрацій і схильних до нерівномірного розподілу дисперсної фази при завантаженні. Найбільш ефективно використання цих машин в малотоннажних виробництвах для отримання осадів з мінімальною вологістю.

Маятникові фільтруючі центрифуги виготовляють з ручним вивантаженням через борт ФМБ і через дно ФМД, а також з механізованим (ножовим) вивантаженням через дно ФМН (рис. 1.2). Ротор 3 прикріплюють до верхнього кінця вертикального валу, який обертається в підшипниках котіння, розташованих в корпусі 1 приводу. Привід центрифуги здійснюють від електродвигуна або гідроприводу через клинопасову передачу.

Фільтруючі центрифуги мають перфорований ротор, викладений зсередини дренажною й фільтруючою сітками або тканиною. Суспензії середніх концентрацій зазвичай подають в ротор через отвір в кришці кожуха на ходу машини. Суспензії високої концентрації з абразивною твердою фазою завантажують в нерухомий ротор до пуску центрифуги. Фільтрат і промивну воду відводять з кожуха через зливний штуцер 2. Зупинку ротора проводять гальмом після зупинки двигуна. На цей час створені маятникові центрифуги з механізованим (нижнім і верхнім) вивантаженням осаду.

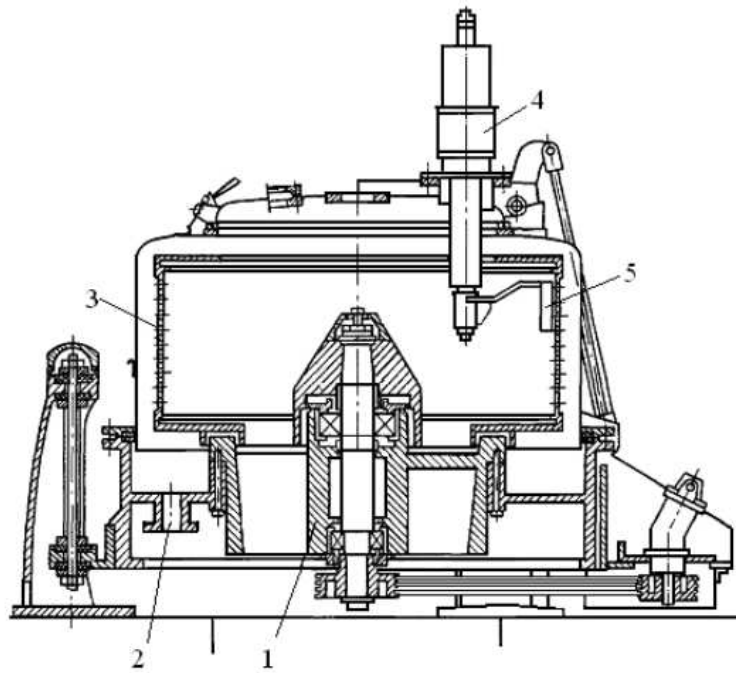


Рис. 1.3. Центрифуга типу ФМН: 1 — корпус приводу; 2 — штуцер; 3 — ротор; 4 — механізм зрізання осаду; 5 — ніж

Центрифуга типу ФМН (див. рис. 1.3) має механізм зрізання осаду 4 зі зворотно-поступальним рухом ножа (шкребачки 5). Шкребачка, що знаходиться у верхньому положенні, при зрізуванні осаду спочатку повертається й вривається в осад на всю його глибину, потім рухається вниз до днища ротора. Осад, що зрізається, вивантажується через днище ротора. При такому способі вивантаження запобігається затирання (закупорка пор) осаду, що залишається на ситах після закінчення його вивантаження, і ніж сприймає менші зусилля. Використання механізму зрізання з широким поворотним ножом спрощує конструкцію центрифуги, оскільки ніж здійснює тільки один рух: поворот навколо осі, при якому осад зрізається по всій висоті ротора. Затирання осаду в цьому випадку можна зменшити за рахунок зрізання його при малих обертах ротора. Застосування гідроприводів дозволяє виконувати основні технологічні операції (завантаження, віджимання, промивку, вивантаження) при різних оптимальних частотах обертання ротора. Проведення розвантаження при малих частотах обертання ротора особливо важливе, коли недопустиме руйнування кристалів.

Для вивантаження пастоподібних осадів може бути використано шнековий пристрій, показаний на рис. 1.4. Шнековий вивантажувач обладнаний скребком, що має таку форму, завдяки якій зрізаний осад відкидається в приймальний пристрій шнеку. Обертальний рух нахиленому шнеку передається від вертикального через конічну шестерінчасту пару.

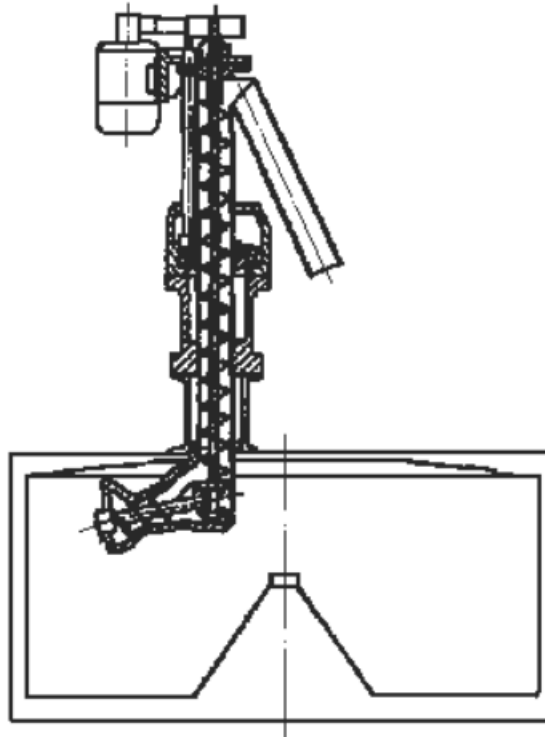


Рис. 1.4. Шнековий пристрій для розвантаження центрифуги типу ФМ

Підвісні центрифуги. Особливістю їх конструкції є наявність шарнірної підвіски вертикального вала з ротором на нижньому кінці, яка забезпечує само-центрування маси, що обертається. Завдяки цьому підвісні центрифуги нечутливі до нерівномірного завантаження ротора. Їх широко застосовують для обробки багатьох продуктів.

Основними вузлами центрифуги ФПН 1001У-1 (рис. 1.5) є ротор 13, привід 10, кожух з кришкою 12, гальмо 8 і металоконструкція 1. Електродвигун 6 з'єднаний з валом 11 центрифуги за допомогою еластичної гумової муфти 7. Вал в приводі закріплений на шарнірній опорі (поверхня корпусу підшипників 4 в місці стикання з корпусом приводу 5 має кульову форму). Між корпусом приводу і корпусом підшипників встановлений

гумовий амортизатор 9, завдяки пружній деформації якого вал може відхилитися від вертикального положення і тим самим забезпечувати самоврівноваження маси, що обертається. Ротор центрифуги циліндричний з перфорованою обичайкою, всередині викладений дренажним і фільтрувальним ситами. Завантаження центрифуги проводять при знижених обертах ротора за допомогою спеціального лотка 2, який закріплений на кожусі та входить всередину ротора. Вивантаження здійснюють при малих обертах за допомогою механізму зрізування осаду 3, устрій і принцип дії якого такий же, як і в центрифугах типу ФМН. Рідина відводиться через розташований внизу кожуха штуцер.

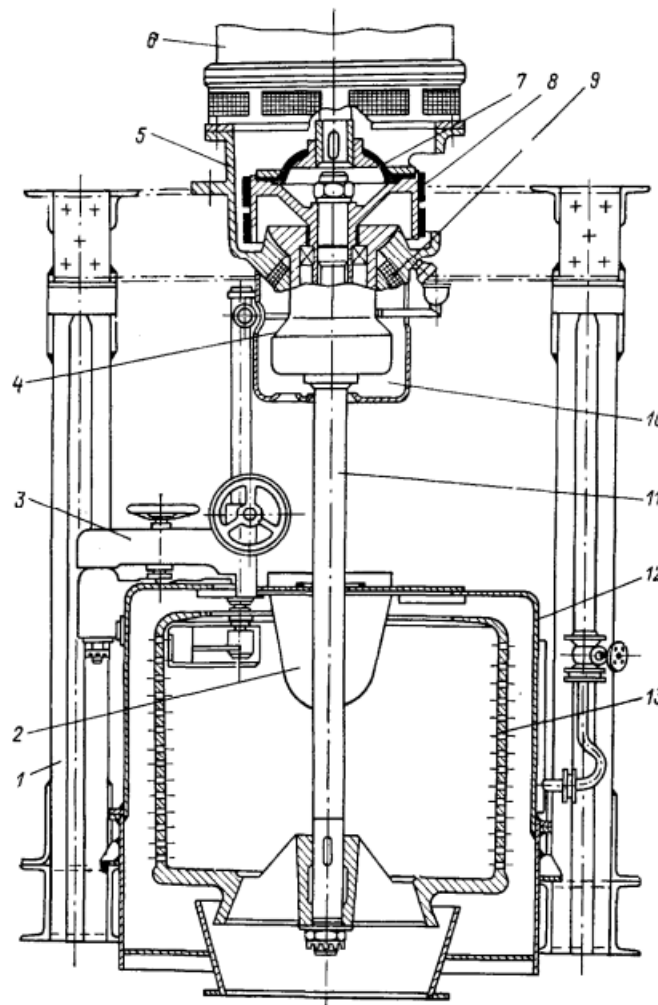


Рис. 1.5. Підвісна центрифуга ФПН 1001У-1: 1 — металоконструкція; 2 — лоток; 3 — механізм зрізування осаду; 4 — корпус підшипників; 5 — корпус приводу; 6 — електродвигун; 7 — муфта; 8 — гальмо; 9 — амортизатор; 10 — привід; 11 — вал; 12 — кожух з кришкою; 13 — ротор

Управління центрифугою напівавтоматичне, здійснюване від станції управління через кнопочний пост.

На рис. 1.6 наведена схема фільтруючої центрифуги з пульсуючим вивантаженням осаду, у якій суспензія подається через трубу 5, і під дією відцентрових сил відкидається до стінок перфорованого барабана 1. Барабан приводиться в рух від приводу 7 через пустотілий вал 4. На внутрішній поверхні барабана накопичується осад. Рідина проходить через осад, фільтрується і через отвори барабана поступає у відповідний канал. В середині барабана знаходиться диск 2, який з'єднаний з поршнем 3. Поршень обертається разом з барабаном, і періодично здійснює зворотно-поступальний рух, приводячи в рух диск (хід поршня – до 50 мм). При русі диска осад поступово виводиться з барабана. При необхідності додаткового промивання осаду через трубу 6 подають відповідну рідину для промивання.

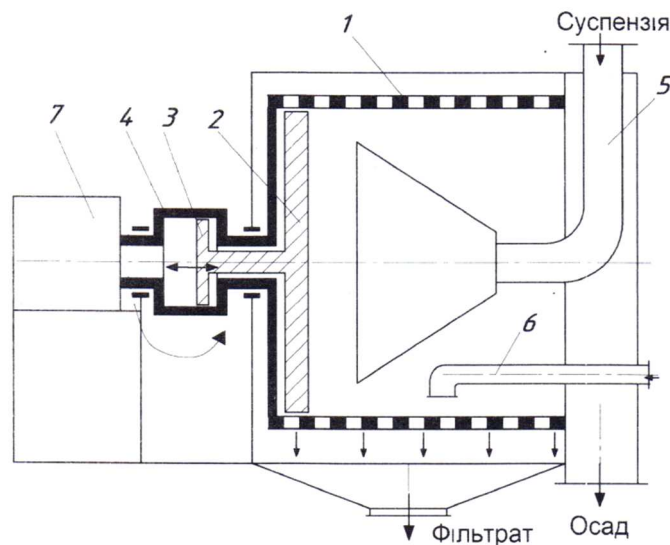


Рис. 1.6. Фільтруюча центрифуга з пульсуючим вивантаженням осаду:

1 – барабан; 2 – диск; 3 – поршень; 4 – пустотілий вал; 5 – труба для підведення суспензії; 6 – труба подачі води для промивання осаду.

Фільтруюча центрифуга з відцентровим вивантаженням осаду (рис. 1.7) має конусний перфорований барабан 1. Суспензія подається по трубі 2, відкидається відцентровою силою до конічної стінки і піднімається по ній

вгору. На стінці осідає осад, через який фільтрується рідина. Осад виводиться в жолоб 4.

Продуктивність центрифуги регулюють підняттям або опусканням кришки 3. При підніманні кришки маса виведеного осаду збільшується, але при цьому збільшується його вологість. Концентрація сухих речовин в осаді збільшується при його русі вгору, і тому ступінь очищення фільтрату буде різною по висоті центрифуги. Тому по висоті барабана встановлюється декілька патрубків для відведення фільтрату.

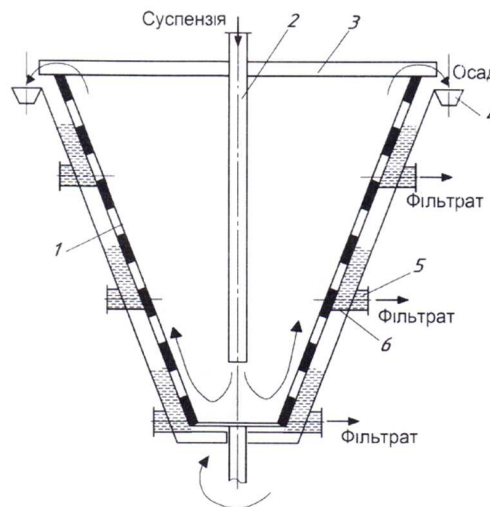


Рис. 1.7. Фільтруюча центрифуга з відцентровим вивантаженням осаду:
1 – барабан; 2 – труба подачі суспензії; 3 – кришка; 4 – жолоб для осаду;
5 – трубки відведення фільтрату; 6 – перегородки.

Центрифуги мають певні проблеми і недоліки в роботі, тому досить багато інженерів розробляти пропозиції щодо їх вдосконалення. Так, колектив авторів [8] розробили проект фільтрувальної центрифуги безперервної дії. Для подальшого використання осаду, отриманого на виході центрифуги, велике значення має його вологість. У більшості випадках потрібен осад з мінімально можливою вологістю. Але бувають винятки, коли для подальшого використання осад може мати значну вологість. З метою регулювання вологості осаду в процесі центрифугування - необхідно регулювати геометричну продуктивність центрифуги. Величина цієї продуктивності визначає швидкість вивантаження осаду із центрифуги, від якої залежить час

перебування осаду у роторі . Чим нижче швидкість вивантаження осаду, тим більше час перебування даного осаду у центрифугі і, відповідно, тим меншої вологості осад можна отримати на виході. Наявність внутрішнього валу, на якому змонтований дисковий упор, та обладнання його реверсивним пристроєм, забезпечують регулювання геометричної продуктивності центрифуги, тобто швидкості вивантаження осаду.

Центрифуга фільтруюча безперервної дії (рис.1.8) включає привід 1, станину 2, на якій установлений у підшипниках 3 порожнистий вал 4 . На цьому валу змонтований перфорований ротор 5. Усередині порожнистого валу 4 коаксіально йому встановлений внутрішній вал 6 на підшипниках 7 . На внутрішньому валу 6, усередині ротору 5 з можливістю обертання і з нахилом до порожнистого валу 4 установлений дисковий упор 8 на підшипниках 9 . Кут α між геометричною віссю обертання 10 дискового упору 8 і віссю 11 порожнистого валу складає $0,5 - 5^\circ$. Внутрішній вал 6 обладнаний реверсивним пристроєм 12, за допомогою якого внутрішній вал 6 обертається у різних напрямках. Центрифуга також містить кожух 13, усередині якого установлений перфорований розподільний конус 14.

Центрифуга включає трубу живлення 15, конус збору фугату 16, а також патрубки відводу фугату 17 та 18 і шахту вивантаження осаду 19 . У окремому випадку виконання внутрішній вал 6, на якому встановлений дисковий упор, обладнаний автономним приводом 20.

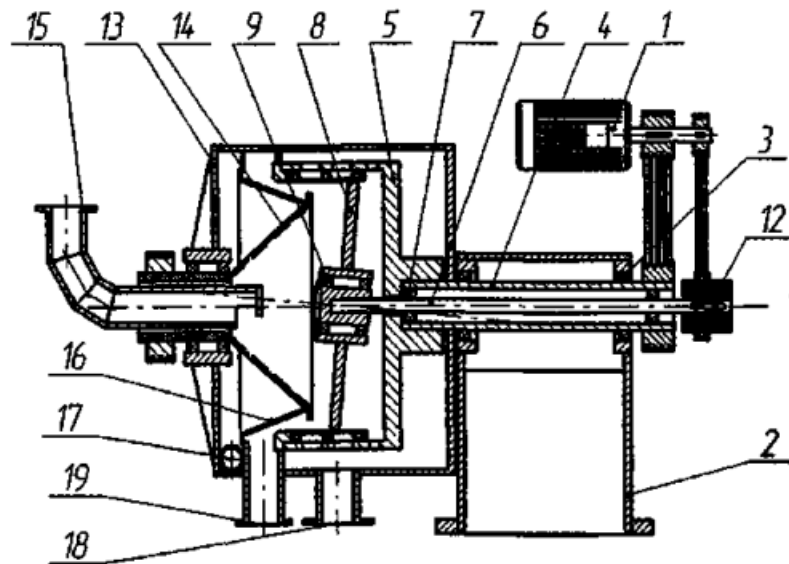


Рис. 1.8. Фільтруюча центрифуга безперервної дії

Центрифуга працює наступним чином. Суспензія, що підлягає розділенню, подається по трубі живлення 15 у перфорований розподільний конус 14, де вона розкручується до визначеної швидкості і позбувається частини рідкої фази, яка відводиться по конусу збору фугату 16 крізь патрубков відводу фугату 17 із центрифуги. Потім суспензія поступає у перфорований ротор 5, де під дією відцентрованих сил відбувається її остаточне розділення. Фільтрат проходить крізь отвори перфорованого ротору 5, попадає у кожух 13, звідки вивантажується із центрифуги крізь патрубков відводу фугату 18. Під час процесу зневоднення суспензії у роторі 5 відбувається формування шару осаду на внутрішній поверхні ротору 5. Осад притискується відцентрованою силою до ротору, а за рахунок сил, які розклинюють скелет осаду, притискується до дискового упору 8. Частки осаду переміщуються разом з ротором 5 по колу. Одночасно частки осаду, які примикають до дискового упору, насуваються на нього, і тим самим, зміщуються в напрямку осі ротора 5. Шар осаду безперервно видавлюється часточками осаду, які насуваються на дисковий упор 8. За рахунок сил тертя між осадом та дисковим упором 8, останній розкручується, що суттєво знижує абразивний зношення дискового упору і попереджує подрібнення часточок осаду. Осад вивантажується із центрифуги крізь шахту вивантаження осаду 19. Кількість осаду, який видаляється із

ротору за один оберт ротора 5, визначається кутом α , утвореним віссю обертання 10 дискового упору і віссю 11 порожнистого валу 4.

Недоліками центрифуги фільтруючої горизонтальної з пульсуючим вивантаженням осаду Кичак Р.В. [9] називає забруднення фугату осадом, що частково проходить через отвори сита, значна витрата енергії на переміщення осаду, порівняно швидкий знос 10 фільтрувальної перегородки. Автор пропонує у центрифугі фільтруючій безперервної дії, що містить перфорований барабан з фільтруючою перегородкою та рухомим поршнем-штовхачем, корпус, що має камери та штуцери для виходу фугату та осаду, розділити корпус перегородкою на дві камери, які містять штуцери для виходу фугату та осаду, та закривається кришкою, а барабан складається з двох частин - зовнішньої та рухомої внутрішньої (рис.1.). Згідно з корисною моделлю, в корпусі разом з перегородкою розташовані направляючі доріжки та проміжки між ними в шаховому порядку, які продовжені направляючими доріжками кришки, що виконані у вигляді ребер та розташовані послідовно, а барабан в зовнішній його частині містить зовнішні ребра та отвори для вивантаження фугату та осаду, а у внутрішній - внутрішні ребра, перфоровані кільцеві проточки та отвори для вивантаження осаду. Обертаний барабан виконується з двох частин, зовнішньої 12 та внутрішньої 13, з'єднаних шліцевим з'єднанням, через внутрішній шліцевий вал 4. Зовнішня частина 12 містить отвори для виходу фугату, а отвори для вивантаження осаду 16 містить як зовнішня 12, так і внутрішня 13 частини, які через значну кількість отворів, які необхідно укріплювати, виконано оребрення, ребра яких утворюють декілька секцій, які є як направляючими, так і розподільними. Між 30 ребрами внутрішньої частини 13, міститься по одній фільтруючій перегородці 14, які укладено в кільцеві проточки 19, які виконано перфорованими, поблизу отворів для вивантаження осаду 16. Корпус 1 є камерою для збору фугату та осаду, які розділяються перегородкою 11. В корпусі 1 по обидві сторони перегородки 11 розташовано направляючі доріжки 8 та проміжки між ними в

35 шаховому порядку. Кришка 2 також містить направляючі доріжки 8, які розташовано послідовно у вигляді ребер.

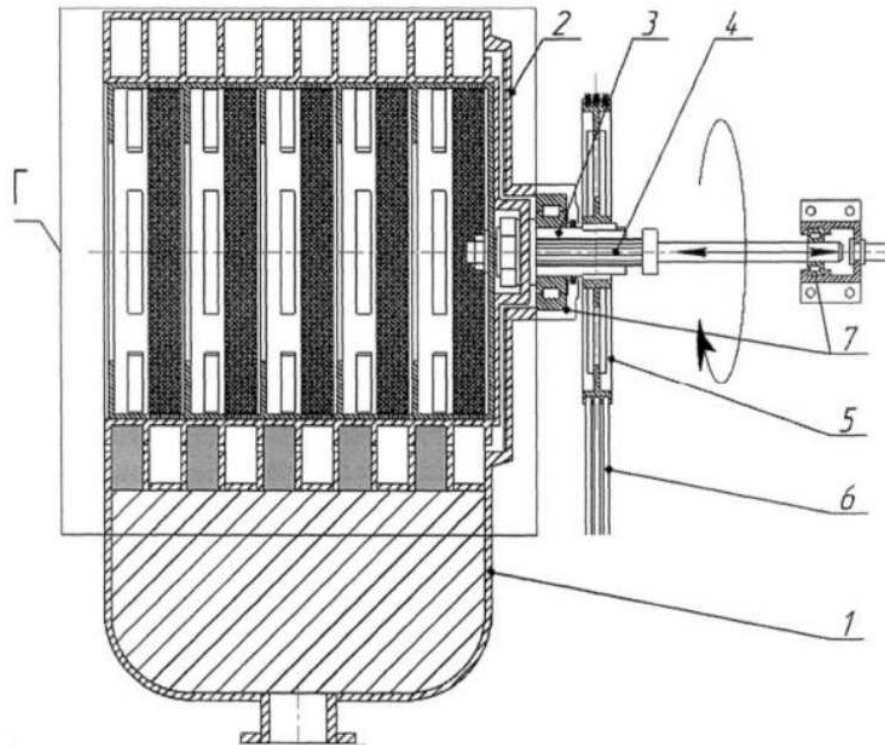


Рис. 1.9. Центрифуга фільтруюча безперервної дії

Сучасні центрифуги. Серед сучасних виробників придатних для використання у фармацевтичній промисловості, є компанія Rousselet Robatel, розташована в місті Аннон (Франція). Вертикальна центрифуга з автоматичним нижнім вивантаженням типу DEC (рис.1.10) характеризуються високою продуктивністю, простотою керування. В якості основних переваг даної центрифуги є можливість роботи в якості закритої системи (інертній атмосфері) для запобігання впливу під час роботи на оператора, забруднення продуктів і навколишнього середовища, а також простоту обслуговування – зручність доступу до процесної зони центрифуги .

Під час роботи відбувається повне видалення відфільтрованого осаду (також залишкового шару) . Вивантаження осаду відбувається автоматично в нижню частину центрифуги.



Рис. 1.10. Вертикальна центрифуга з автоматичним нижнім вивантаженням типу DEC

Виробник має широкий асортимент вертикальних центрифуг з автоматичним розвантаженням, типу DEC:

Модель RC/SC	Ø (mm)	Висота (mm)	Зона фільтрації м²	Корисний об'єм дм³	Завантаження kg	Швидкість rpm	Відцентрова сила
RC 63 Vx DEC	630	370	0.73	50	62	1500	792
RC 85 Vx DEC	850	425	1.13	130	162	1300	803
RC/SC 100 Vx DEC	1000	500	1.57	170	215	1000	559
RC/SC 120 Vx DEC	1200	600	2.26	310	390	1050	543
RC/SC 125 Vx DEC	1250	630	2.47	395	495	1200	1006
		800	3.14	500	625		
RC/SC 150 Vx DEC	1500	750	3.53	580	725	900	679
RC/SC 160 Vx DEC	1600	1000	5.03	1000	1250	900	724

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Об'єкт дослідження

Об'єктом досліджень є використання триколонної центрифуги типу BVG C 10-A на стадії одержання фіто-екстракту рідкого, в процесі виготовлення лікарської субстанції “сухий екстракт з суміші рослин” . Виготовлена субстанція в подальшому буде використовуватися для виробництва лікарського препарату рослинного походження у вигляді таблеток.

Предметом дослідження є режими роботи елементів фільтруючої центрифуги та їх конструкція.

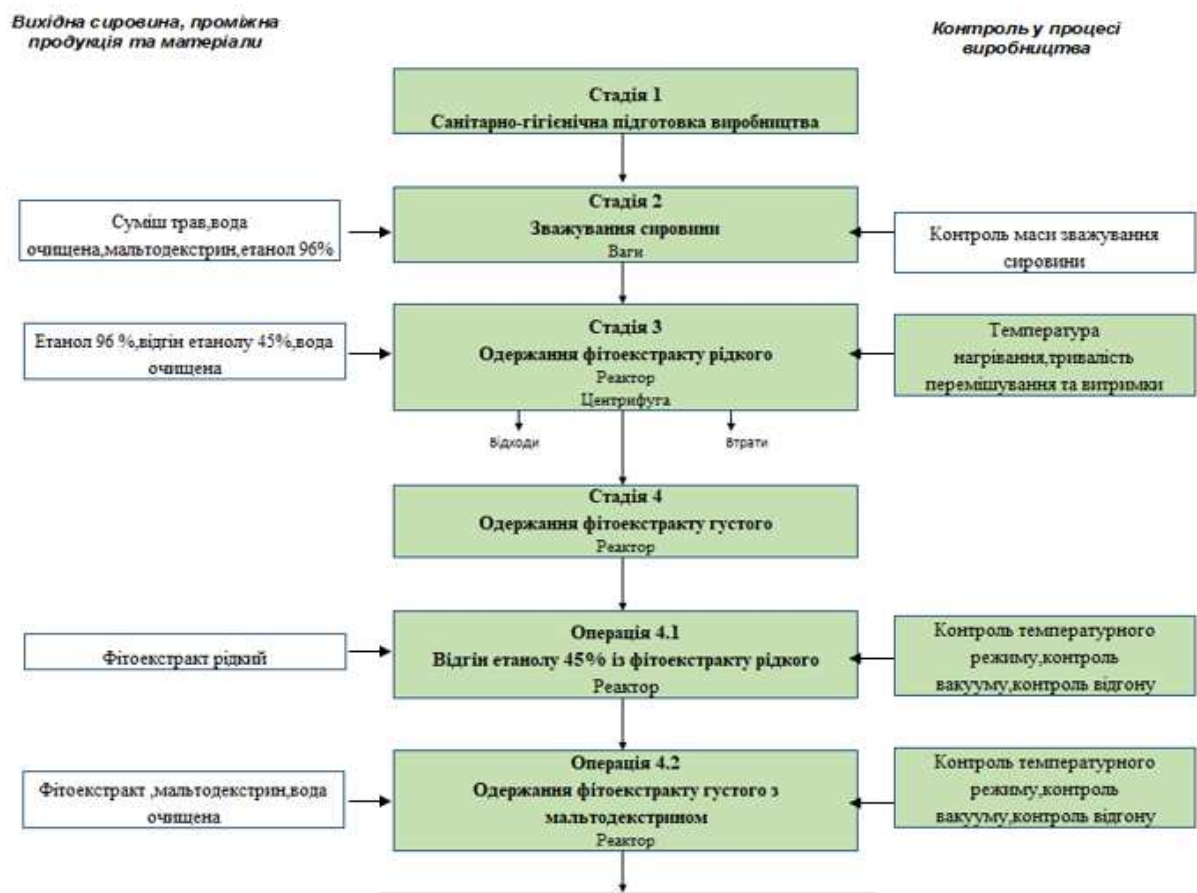
Лікарські препарати рослинного походження дуже часто є особливими і замінити їх синтетичними препаратами майже неможливо ,з огляду того що вони мають складну структуру і через те, що в лікарській рослинній сировині міститься складний комплекс біологічно активних речовин (БАР), які сукупно дають біологічну активність певного спрямування . В більшості випадків, надають перевагу лікарським засобам на рослинній сировині перед препаратами синтетичного походження для лікарських засобів ,які використовуються для профілактики та лікування ранніх етапів захворювань, при хронічних протіканнях хвороби та у педіатричній та геріатричній практиці. Застосування фармацевтичних препаратів, що містять у своєму складі спирт етиловий обмежений через його фармакологічну неіндиферентність і неможливість застосування при лікуванні окремих груп населення. При отриманні маси для таблетування з рідким активним фармацевтичним інгредієнтом одну з важливих ролей відіграють допоміжні речовини. Застосування допоміжних речовин істотно впливає на структурно-механічні показники маси та умов проведення технологічного процесу.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Житнєцький ІВ.</i>	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Щегалев А.С.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> Матеріали і методи досліджень	23-1520.MP.02.002.P3				
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавда ОМ.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/9	

Рідинна екстракція є дифузійним процесом, при якому одна або декілька розчинених речовин витягуються з однієї рідини за допомогою іншої нерозчинної або обмежено розчинною в першій. При рідинній екстракції є завжди дві фази : перехід з однієї фази в іншу підкорюється законам масо-передачі, розчинності і між-фазної рівноваги. Рідинна екстракція може проходити ступінчасто і безперервно.

Зміна розчинника полягає в екстрагуванні мало-полярними(органічними) або неполярними розчинниками гідрофобних речовин разом з діючими. З витягу видаляють відгоном екстрагент і додають до невеликого залишку воду. Потім видаляють відгоном залишки органічного розчинника. При цьому гідрофобні речовини, нерозчинні у воді випадають в осад і їх видаляють фільтруванням або центрифугуванням.

Для отримання якісного фіто-екстракту рідкого зазвичай проводять фільтрацію за допомогою центрифуги(рис.2.1).



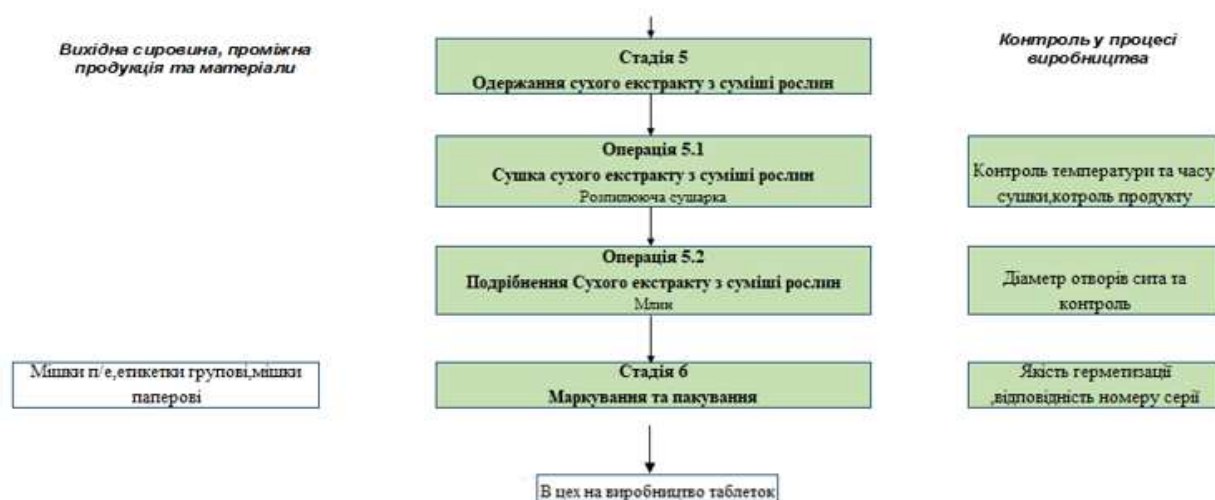


Рис.2.1. Технологічна схема одержання сухого екстракту з суміші рослин.

Опис технологічного процесу стадії одержання фітоекстракту рідкого

В реактор-екстрактор з корозійностійкої сталі об'ємом 1200 л, оснащений якірною мішалкою, термометром, рубашкою завантажити за допомогою вакууму 372 л етанолу 96% та 141 кг води очищеної або 370 л відгону етанолу 45 % та 197 л етанолу 96%.

Завантажений розчин в реакторі перемішати протягом 10-15 хвилин. Після перемішування завантажити в реактор суміш трав 120 кг і перемішати 15 хв. Масу в реакторі-екстракторі при перемішуванні підігріти за допомогою пуску пари в рубашку реактора до температури 45 °С та витримати при заданій температурі в герметично закритому реакторі протягом 2 годин. Масу в реакторі охолодити при перемішуванні температури 20 °С . В реактор завантажити 282 л води очищеної. Масу в реакторі при перемішуванні підігріти до температури 60 °С та провести витримку в герметично закритому реакторі протягом 8 годин. Підготувати центрифугу до фільтрації екстракту. Центрифугу заправити фільтром діагоналевим у вигляді мішка. Отриману масу відфільтрувати за допомогою центрифуги, віджати 1 годину при 920 об/хв.

Забезпечення ефективної роботи фільтрувальної центрифуги є актуальним завданням при проведенні технологічного процесу одержання субстанції сухого екстракту з суміші трав. Після центрифугування отримується приблизно кг 260 напівпродукту із залишковим вмістом вологи 2 – 3%. Після сушіння отримують 254 кг продукту. Містить часточки твердої маси з переважним розміром 100 – 120 мкм; Насипна густина продукту 0,8 – 0,85 кг/л вихід фармакопейного продукту 82%.

Діагональний фільтр у вигляді мішка: діаметром 180 мм і висотою 810 мм. Площа фільтрації $S=0,48 \text{ м}^2$, діаметр пор 0,2 мкм.

Область застосування і конструкція центрифуги

Триколонна центрифуга типу BVG C 10-A – машина з обертальним рухом, призначена для розподілу гідросумішей (суспензій, пульп) на рідку і тверду фази, шляхом відцентрового фільтрування. Хімічна та фармацевтична промисловість є основною галуззю застосування даної моделі центрифуги.

Під час центрифугування, тверда маса може бути кристалічного або аморфного стану. Розміри частинок зазвичай не менше 20 мкм і не більше 3–4 мм., але є і особливі випадки коли розміри різняться.

У центрифугі є можливість завантаження під час обертання, тож для центрифугування слід використовувати суспензію, яка під час обертання легко і рівномірно розподіляється. Суспензії, які схильні до утворення грудок і в яких наявні будь-які сторонні матеріали (дерево, метал та ін.) не допускаються до роботи в машині.

Конструкція. Центрифуга BVG C 10-A має можливість застосування для фільтрування матеріалів, під час обробки яких утворюється вибухонебезпечні пари або газу. Робочий простір центрифуги герметичний і можливий для забезпечення інертним газом, якщо того потребує технологічний процес, або вимоги по техніці безпеки.

Поверхні центрифуги, які контактують з агресивним середовищем виготовлені з кислототривкої сталі марки КО 35 (MSZ 4360), яка відповідає

практично таким маркам сталі, як DIN 1.4571 (X10Cr.Ni.Mo.Ti 18 10), зазначені в ГОСТ 5632-72 Сталі високолеговані і сплави корозійностійкі X17H13M2T.

Технічні характеристика та опис

Технічні характеристики триколонної центрифуги

Таблиця 2.1.

Максимальна кількість матеріалу, що обробляється	1960 Н у вологому стані
Кількість обертів барабана	макс. 940 об/хв
Діаметр барабана	1000 мм
Висота барабана	450 мм
Фактор розділення	385
Корисний об'єм барабана (об'єм циліндричної висоти, що займає матеріал у барабані)	200 дм ³
Матеріал деталей та покриття, що стикаються з оброблюваним середовищем	X17H13M2T
Електродвигун	RZRP 180 M/4 15 кВт 1475 об/хв
Клас захищеності центрифуги	Rb-n III; G4
Герметичне виконання	Інертизація можлива
Вага центрифуги	25990 Н

Центрифуга BVG C 10-A (рис.2.2.) має верхнє розвантаження і знімний мішок. В чавунній рамі основи центрифуги закріплені чавунні колони, на яких підвішені трьома вертикальними тягами нерухома і частина рухомої частини центрифуги.

Конструкція барабану центрифуги має чавунне днище обшите кислотостійким листом сталі, розташування барабану вертикальне. Обичайка барабану зі сталі марки X17H13M2T має перфорацію з діаметром отворів 5 мм. Підшипникова підвіска і робочий простір центрифуги можуть працювати в атмосфері інертного газу.

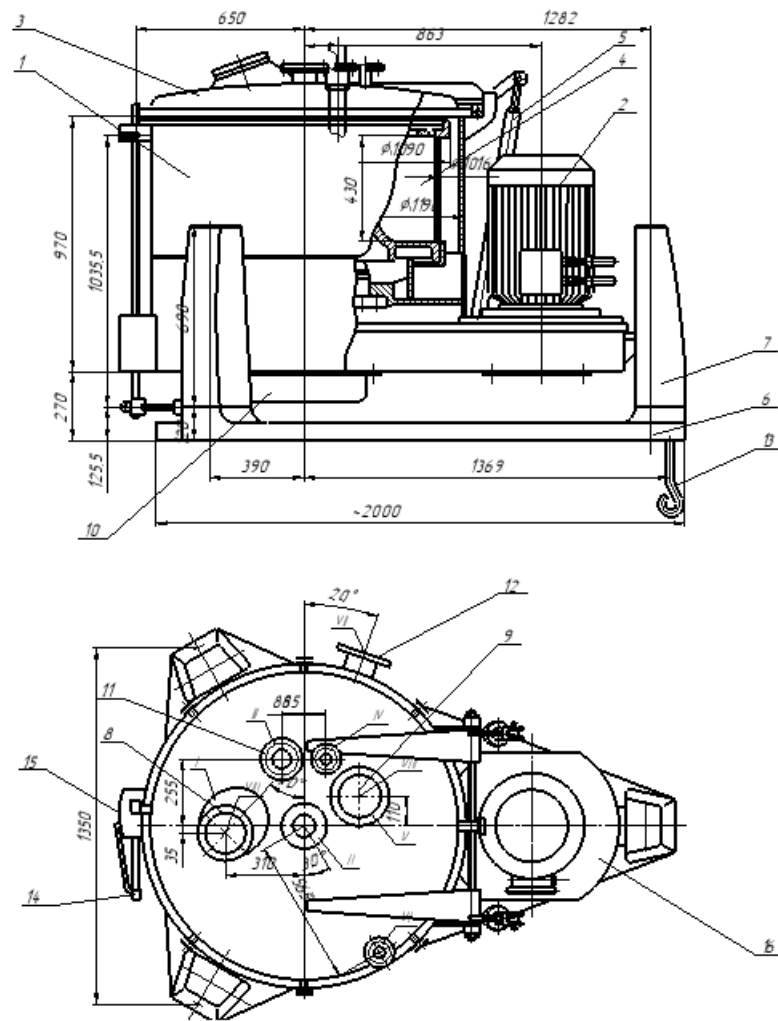


Рис. 2.2. Центрифуга типу BVG C 10-A

Для скорочення тривалості часу під час виконання операції по розвантаженню центрифуги наявні два знімні коміри. Комір барабана, який закріплений швидко-роз'ємним затвором до бортового кільця, вилучається разом з мішком з центрифуги.

Збірник рідини і захисні кожухи центрифуги між собою нероз'ємні, зварного виконання, а частини ,що контактують з рідиною в процесі роботи покриті кислотостійким листом сталі.

Кришка центрифуги оснащена пружинним телескопом для полегшення відкриття та закриття.

Кришка кожуха має оглядові і освітлювальні вікна та патрубки: завантажувальний, відсмоктувальний, промивний, підведення інертного газу.

Електродвигун розташований з бічної сторони машини від якого через клинопасову передачу здійснюється привод центрифуги. Механізм гальмування та клинопасова передача розташовані в непроникному коробі.

Необхідно, щоб центрифуга була забезпечена пристроями, які максимально знижують шум та вібрацію в ході роботи. Механізм гальмування повинен бути справний та швидкодіючим. Система керування центрифугою забезпечена блокувальним пристроєм, що запобігає одночасне включення двигуна і гальма.

2.2. Методика імітаційного моделювання

Виконано імітаційне моделювання процесу фільтрування у центрифугі за допомогою програмного пакету SolidWorks, із використанням додатку Flow Simulation.

Програмний пакет SolidWorks – це система проектування механічних вузлів на основі кінцевих елементів. Вона використовує інструменти об'ємного параметричного моделювання, і застосовує зручний графічний інтерфейс [16].

SOLIDWORKS Flow Simulation – додаток до застосунку для обчислювання гідродинаміки (CFD), який дозволяє моделювати потоки рідин і газів, процеси теплообміну та гідродинамічні сили в різноманітних пристроях і конструкціях обладнання.

Щоб дослідити процеси, які виникають під час центрифугування, були створені твердотілі моделі, у яких саме і відбувається процес розподілу.

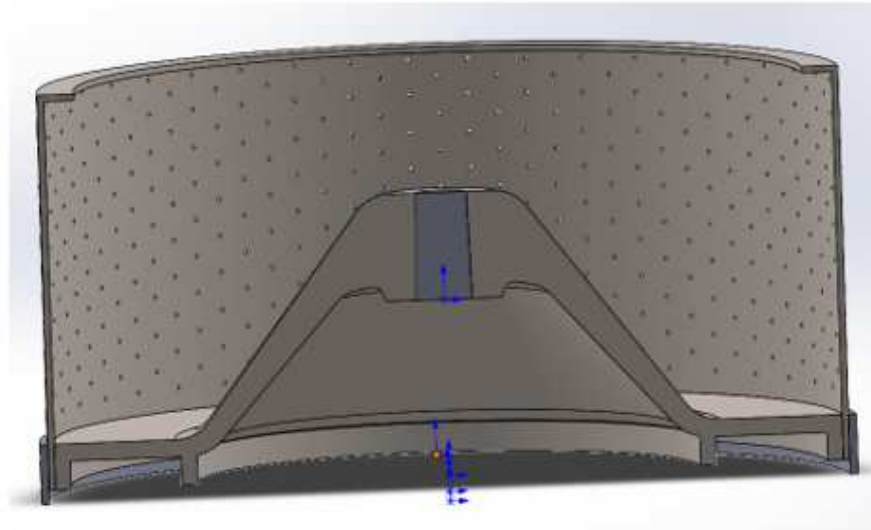


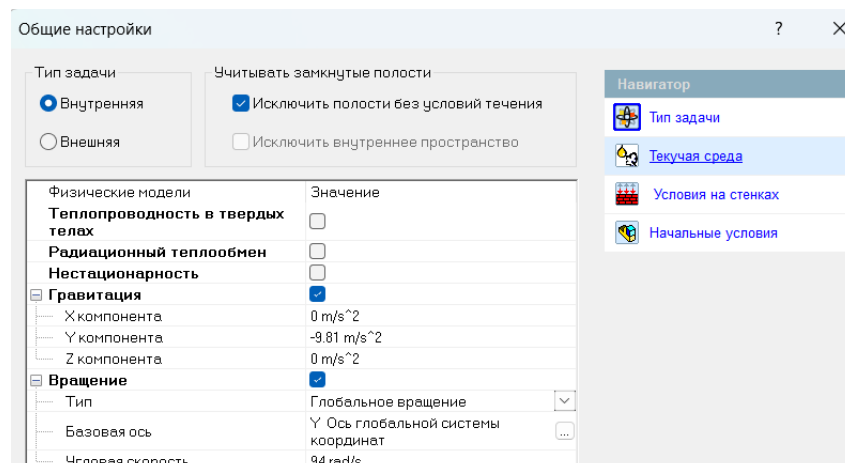
Рис. 2.3. 3D модель барабана центрифуги

Встановлення завдання для дослідження процесу центрифугування

На перших етапах моделювання вводиться нова рідка речовина – суспензія:

Элементы	Свойства элемента	Таблицы и графики
Свойство		Значение
Имя		суспензия
Комментарии		
Плотность		900 kg/m ³
Динамическая вязкость		0.00207 Pa*s
Удельная теплоемкость (Cp)		4250 J/(kg*K)
Коэффициент теплопроводности		0.13 W/(m*K)
Эффект кавитации		<input type="checkbox"/>
Радиационные свойства		<input type="checkbox"/>

Здійснюємо огляд « внутрішнього завдання », а саме стану рідини в об'ємі барабана центрифуги (рис.2.3).



Встановлюємо значення матеріалу виготовлення конструкції: AISI 316(корозійностійка сталь).

Встановлено значення області течії (рис.2.4), значення навколишнього тиску : атмосферний.

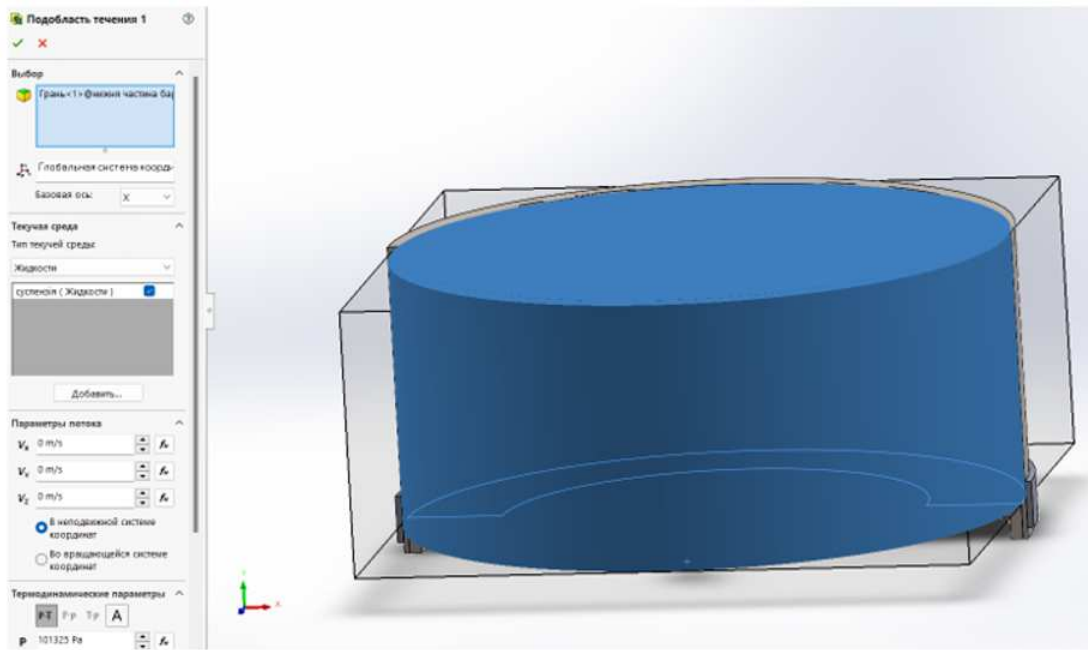


Рис.2.4.Завдання області течії

Для гальмівної стрічки задаємо граничні умови (рис. 2.5).

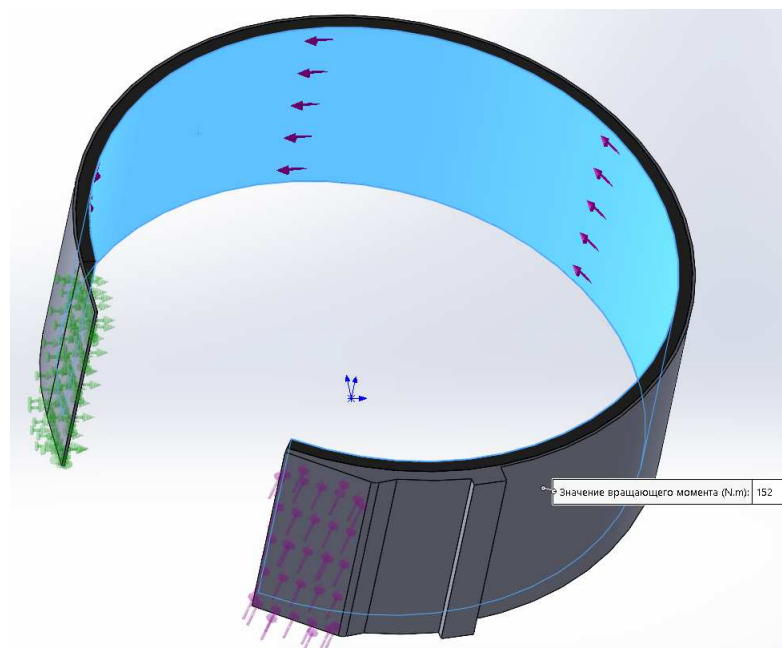


Рис. 2.5. Граничні умови

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Під час виконання роботи з моделювання було проведено аналіз розподілу тисків у поперечному перерізі центрифуги. Для визначення необхідної товщини стінок барабана, проаналізовано вплив тиску суспензії на них.

Спостерігаємо, що під час обертання центрифуги максимальний тиск, який діє на стінки барабана - 735059 Па. (рис.3.1.; рис.3.2.)

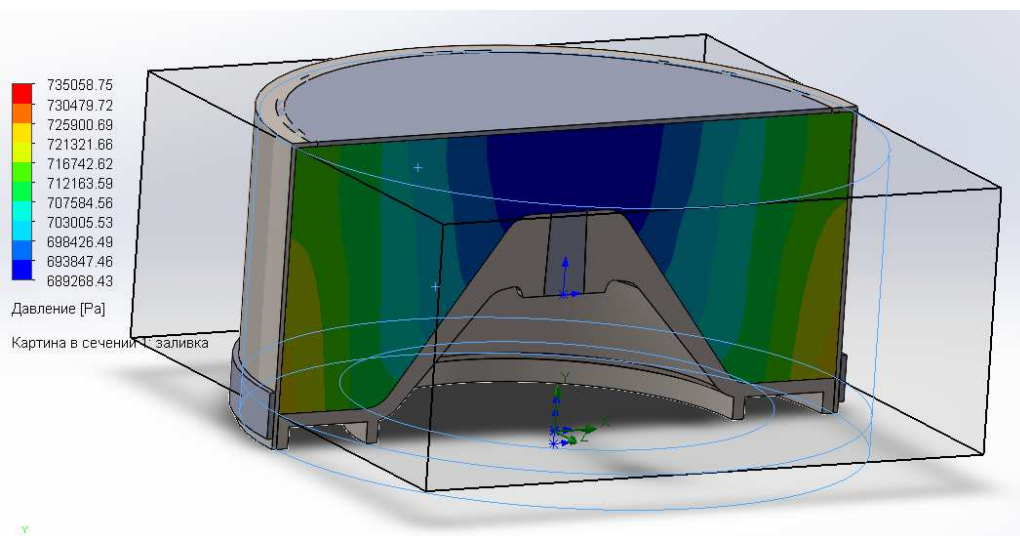


Рис. 3.1. Розподіл тиску в перерізі барабана центрифуги

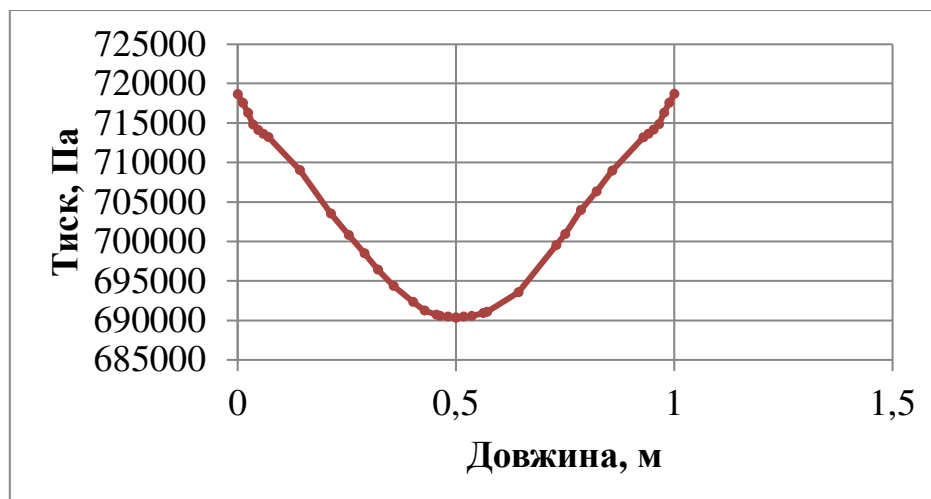


Рис. 3.2. Графічна залежність розподілу тиску в перерізі барабана центрифуги

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький ІВ.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Щеголев А.С.	Назва, додаткова назва	23-1520.MP.02.003.ПЗ			
	Документ затверджено Гавда ОМ.	Результати моделювання	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/4

Елементи центрифуги мають достатній запас міцності, що показало при моделюванні їх роботи. Максимальний тиск (0,718 МПа) спостерігається біля стінок барабана і враховуючи навіть ослаблення обичайки наявністю отворів не створиться небезпечних умов функціонування центрифуги.

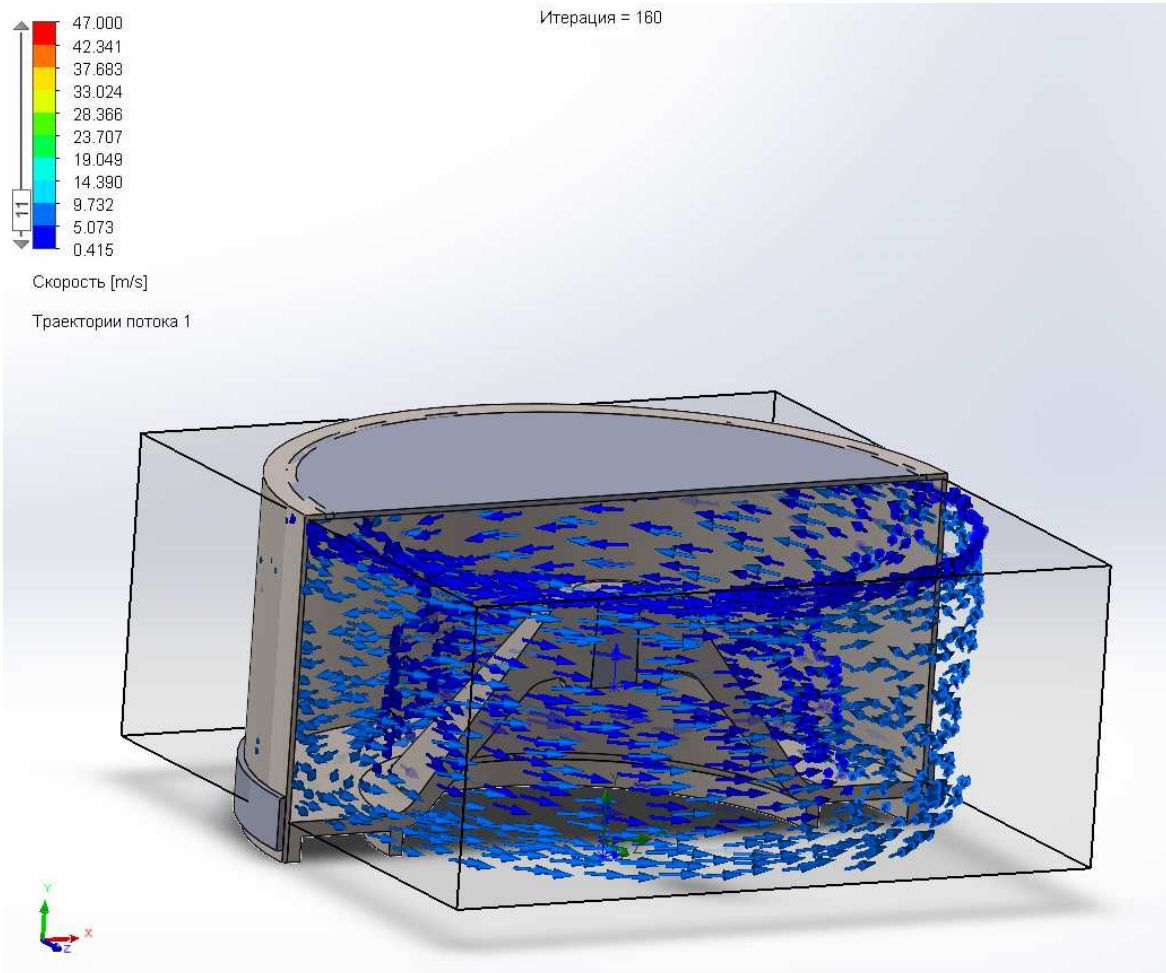


Рис. 3.3. Вектори швидкості в барабані центрифуги

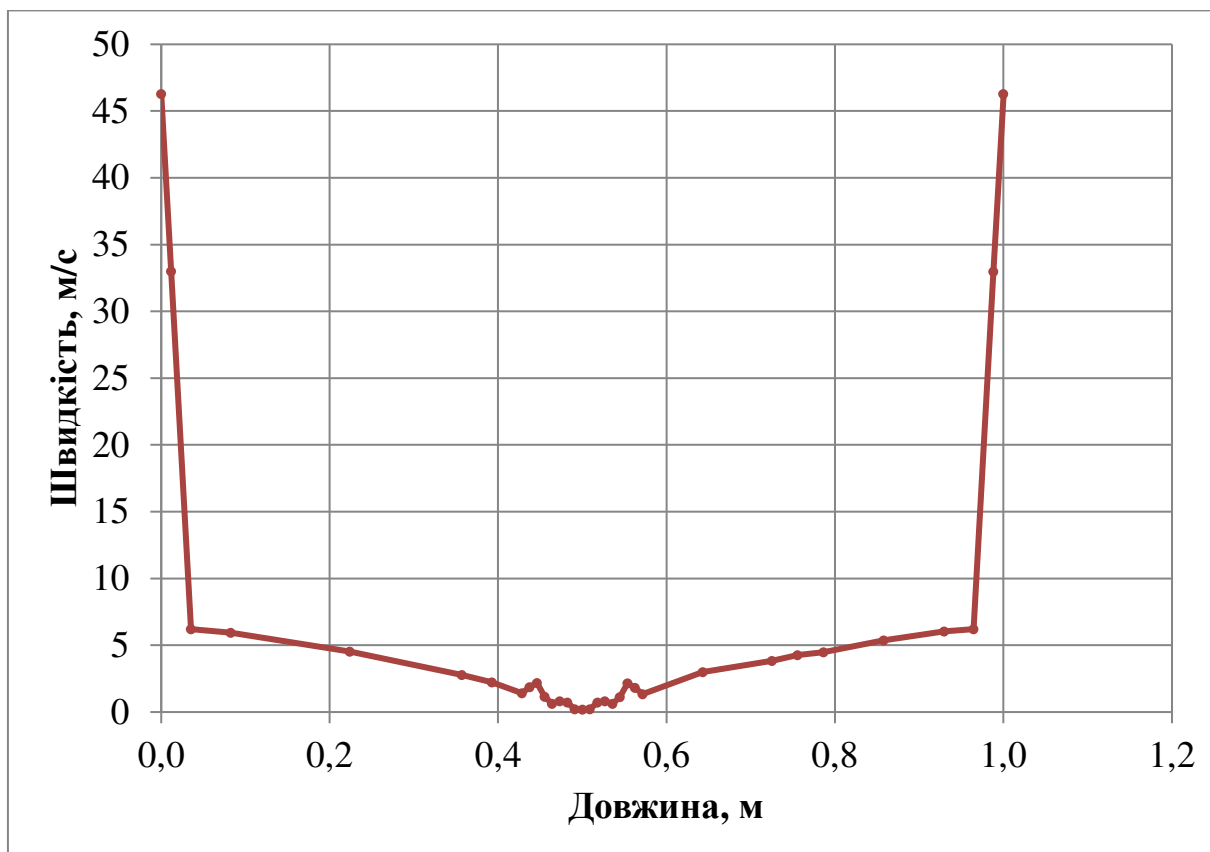


Рис. 3.4. Графічна залежність розподілу швидкості в перерізі барабана центрифуги

Максимальне значення (47 м/с) спостерігається в розподілі швидкості біля стінок барабану, а на осі обертання барабану-0.

При розподілах тиску і швидкості в поперечному перерізі центрифуги, отримано ,що максимальні значення тиску (0,718 МПа) і швидкості (47 м/с) поблизу стінок барабана розподілені симетрично осі барабана.

Конструкція витримує прикладені навантаження (гальмівний момент) з коефіцієнтом запасу міцності-1,6., згідно проведеного аналізу напружено-деформованого стану гальмівної стрічки

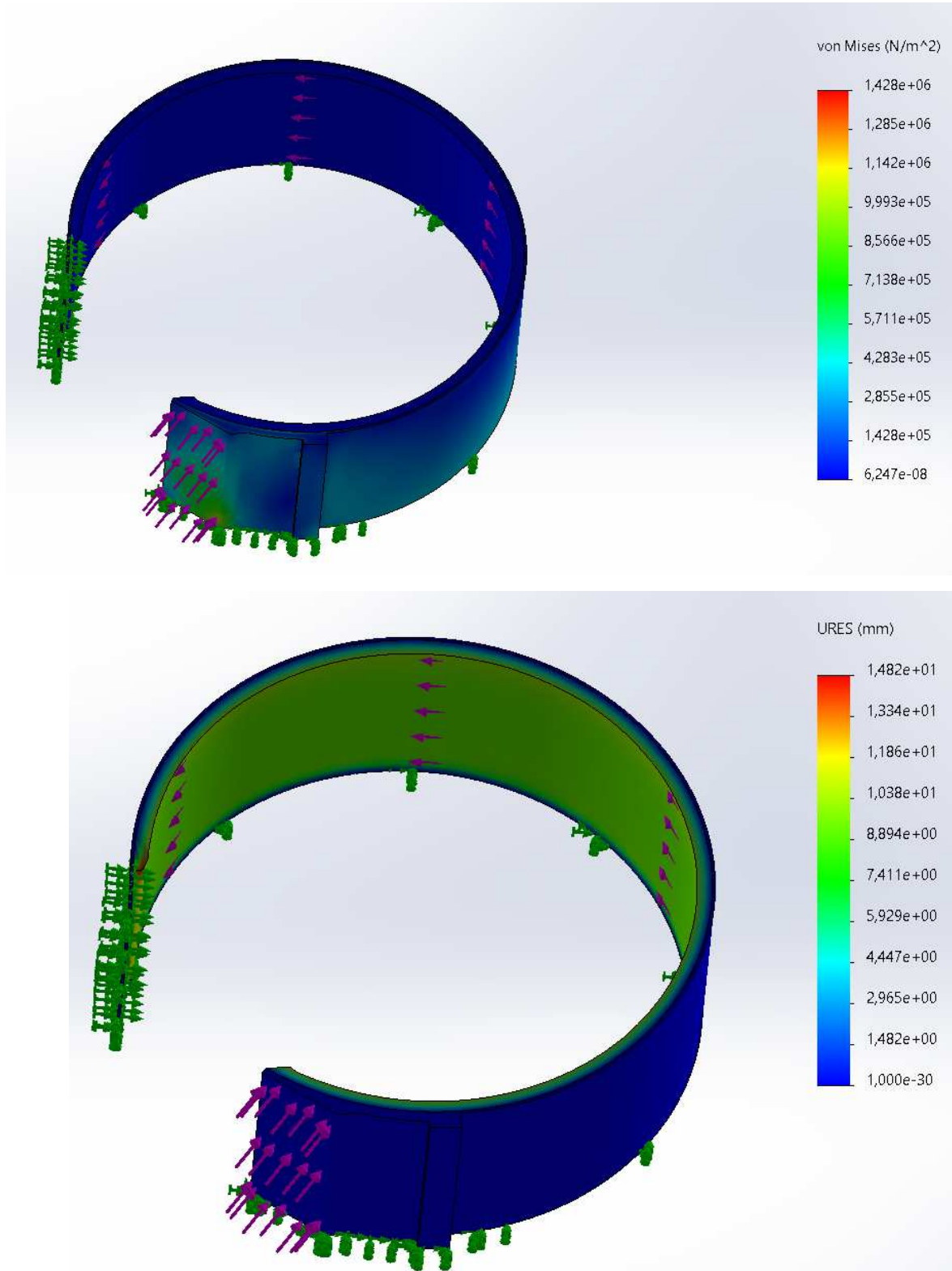


Рис. 3.5. Поле переміщень у гальмівній стрічці

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

4.1. Технологічні розрахунки

Внутрішній радіус шару суспензії в барабані при завантаженні, рівному 50%, становить:

$$r = 0,71 \cdot R, \text{ м.}$$

При обчисленні фактора розділення Fr приймається середній радіус шару суспензії в барабані:

$$r_{cp} = \frac{R + r}{2} = \frac{R + 0,71 \cdot R}{2} \approx 0,85 \cdot R, \text{ м.}$$

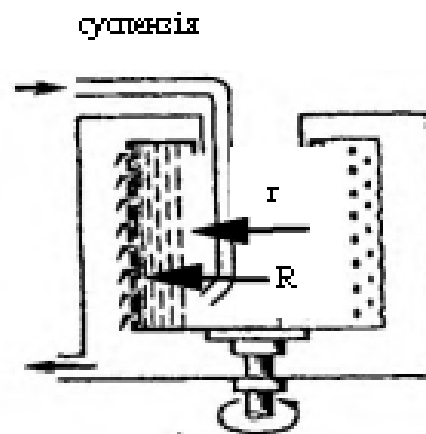


Рис. 4.1. Розрахункова схема центрифуги періодичної дії.

$$r_{cp} = \frac{R + r}{2} = \frac{0,5 + 0,71 \cdot 0,5}{2} \approx 0,43 \text{ м}$$

$$Fr = \frac{n^2 \cdot R}{900} = \frac{920^2 \cdot 0,43}{900} = 385$$

Отже, за фактором розділення центрифуга належить до нормальних ($Fr < 3500$)

Суспензія містить часточки твердої фази з переважним розміром 100 – 120 мкм. Густина твердої фази $\rho_m = 1470 \text{ кг/м}^3$; густина рідкої фази $\rho_p = 995 \text{ кг/м}^3$; в'язкість рідкої фази $\mu = 0,76 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Житнецький ІВ.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Щегалев А.С.	Назва, додаткова назва	23-1520.МР.02.004.ПЗ			
	Документ затверджено Гавда О.М.	Розрахункова частина				

В результаті досліджень на лабораторній центрифугі при факторі розділення, який дорівнює фактору розділення промислової центрифуги, отримані такі вихідні дані для розрахунку:

відношення об'єму осаду до об'єму завантаженої суспензії $x_1=0,28$;
 питомий об'ємний опір осаду $r_o=1,1 \cdot 10^{11} \text{ 1/м}^2$;
 опір фільтрувальної перегородки $r_{ф.м.}=8,2 \cdot 10^9 \text{ 1/м}^2$; питома вага промивної рідини $\nu_{пр.р.}=1,2 \text{ м}^3/\text{кг}$; густина промивної рідини $\rho_{пр.р.}=998 \text{ кг/м}^3$; в'язкість промивної рідини $\mu_{пр.р.}=0,96 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$; порозність осаду $\varepsilon_{oc}=0,46$; тривалість сушіння осаду на лабораторній центрифугі $\tau_{с.м.}=210 \text{ с}$; час, який витрачається на допоміжні операції в промисловій центрифугі, $\tau_{дон.}=240 \text{ с}$.

Розраховуємо середню продуктивність центрифуги.

Кутова швидкість обертання барабана:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n = 2 \cdot 3,14 \cdot 15 = 94,2 \text{ 1/с}$$

Продуктивність центрифуги по фільтрату в режимі постійної швидкості фільтрування знаходимо за формулою:

$$V_{\phi} = \frac{\rho_p \cdot \omega^2 \cdot D_e \cdot \nu_p \cdot \phi \cdot F_{\phi}}{2 \cdot \mu \cdot (r_o \cdot \nu_p \cdot \phi + r_{ф.м.} \cdot F_{\phi})},$$

де D_e – внутрішній діаметр барабана, $D_e=1000 \text{ мм}=1 \text{ м}$;

ν_p – робочий об'єм барабана: $\nu_p = \frac{\pi}{4} \cdot (D_e^2 - D_b^2) \cdot L$ (тут D_b – діаметр борта

барабана, $D_b=908 \text{ мм}=0,908 \text{ м}$; L – довжина барабана)

$$\nu_p = \frac{\pi}{4} \cdot (1^2 - 0,908^2) \cdot 0,43 = 0,059 \text{ м}^3;$$

ϕ – коефіцієнт заповнення барабана осадом, приймаємо $\phi=0,8$.

F_{ϕ} – площа поверхні фільтрування, $F_{\phi}=0,48 \text{ м}^2$.

$$V_{\phi} = \frac{995 \cdot 94,2^2 \cdot 0,5 \cdot 0,059 \cdot 0,8 \cdot 0,48}{2 \cdot 0,76 \cdot 10^{-3} \cdot (1,11 \cdot 10^{11} \cdot 0,059 \cdot 0,8 + 8,2 \cdot 10^9 \cdot 0,48)} = 0,00717 = 7,17 \cdot 10^{-3}$$

$\text{м}^3/\text{с}$

Продуктивність по суспензії в період завантаження:

$$V_c = \frac{\rho_p \cdot \omega^2 \cdot D_e \cdot v_p \cdot \varphi \cdot F_\phi}{2 \cdot \mu \cdot (r_o \cdot v_p \cdot \varphi \cdot (1 - x_1) + r_{\phi.m.} \cdot F_\phi \cdot (1 - x_1))}$$

$$V_\phi = \frac{995 \cdot 94,2^2 \cdot 0,5 \cdot 0,059 \cdot 0,8 \cdot 0,48}{2 \cdot 0,76 \cdot 10^{-3} \cdot (1,11 \cdot 10^{11} \cdot 0,059 \cdot 0,8 \cdot (1 - 0,28)) + 8,2 \cdot 10^9 \cdot 0,48 \cdot (1 - 0,28)}$$

$$= 0,00996 = 9,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

Тривалість фільтрування:

$$\tau_\phi = \frac{2 \cdot r_{\phi.m.} \cdot \mu}{\rho_p \cdot \omega^2 \cdot D_e} + \frac{\rho_p \cdot \omega^2 \cdot D_e \cdot v_p \cdot \varphi \cdot F_\phi - 2 \cdot \mu \cdot r_{\phi.m.} \cdot F_\phi \cdot V_c}{2 \cdot \mu \cdot r_o \cdot x_1 \cdot V_\phi V_c},$$

$$\tau_\phi = \frac{2 \cdot 8,2 \cdot 10^9 \cdot 0,76 \cdot 10^{-3}}{995 \cdot 94,2^2 \cdot 0,5} + \frac{995 \cdot 94,2^2 \cdot 0,5 \cdot 0,059 \cdot 0,8 \cdot 0,48 - 2 \cdot 0,76 \cdot 10^{-3} \cdot 8,2 \cdot 10^9 \cdot 0,48 \cdot 9,96 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,76 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,28 \cdot 7,17 \cdot 10^{-3} \cdot 9,96 \cdot 10^{-3}} = 227 \text{ с}$$

Тривалість промивання осаду:

$$\tau_{np} = \frac{2 \cdot v_{np.p.} \cdot v_p \cdot \varphi \cdot \rho_m \cdot (1 - \varepsilon_{oc}) \cdot \mu_{np} \cdot r_o}{\rho_p \cdot \omega^2 \cdot D_e \cdot F_\phi}$$

$$\tau_{np} = \frac{2 \cdot 1,2 \cdot 0,059 \cdot 0,8 \cdot 1470 \cdot (1 - 0,46) \cdot 0,96 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1 \cdot 10^{11}}{998 \cdot 94,2^2 \cdot 0,5 \cdot 0,48} = 4508 \text{ с}$$

Тривалість сушіння осаду на промисловій центрифугі, враховуючи збільшення його товщини порівняно з лабораторними дослідями приймаємо рівним

$$\tau_{c.n.} = \tau_{c.m.} \cdot 1,4 = 210 \cdot 1,4 = 294 \text{ с}$$

Тривалість повного циклу оброблення суспензії на центрифугі:

$$\tau_u = \tau_\phi + \tau_{np} + \tau_c + \tau_{дон},$$

де τ_ϕ – тривалість фільтрування, яка в загальному випадку складається із тривалості завантаження τ_3 і тривалості фільтрування шару рідини, який залишився над осадом після припинення подачі суспензії, с;

τ_{np} – тривалість промивання осаду, с;

τ_c – тривалість сушіння осаду, с;

τ_{don} – час, що витрачається на виконання допоміжних операцій (розгон, гальмування, вивантаження осаду, регенерація фільтруючої поверхні).

$$\tau_y = 227 + 4508 + 294 + 240 = 5269 \text{ с} = 1,46 \text{ год.}$$

Тоді середня продуктивність по суспензії становитиме:

$$V_{c.сер.} = \frac{V_c \cdot \tau_\phi}{\tau_y} = \frac{9,96 \cdot 10^{-3} \cdot 227}{5269} = 0,00043 \text{ м}^3/\text{с} = 1,54 \text{ м}^3/\text{год}$$

4.2. Розрахунок на міцність обичайки

Шви барабана виконані електрозварюванням. Поздовжні шви обичайки перевірені по всій довжині рентгенівським просвічуванням. Міцність шва дорівнює 0,8.

Зварні шви та їх перехідні зони не просвердлені. Обичайка барабана, комір і бортове кільце виготовлені з матеріалу КО 35

Задані величини

Внутрішній радіус обичайки барабана $R_\delta = 500 \text{ мм} = 0,5 \text{ м}$

Циліндрична висота, яку займає матеріал в барабані $H = 430 \text{ мм} = 0,43 \text{ м}$

Товщина стінки обичайки барабана $s = 8 \text{ мм} = 0,008 \text{ м}$

Крок отворів обичайки барабана в осьовому напрямку $t_l = 46 \text{ мм} = 0,046 \text{ м}$

Крок отворів обичайки барабана в поперечному напрямку $t_q = 37,11 \text{ мм} = 0,03711 \text{ м}$

Діаметр отворів $d = 5 \text{ мм} = 0,005 \text{ м}$

Коефіцієнт послаблення поздовжнього шва обичайки барабана $\nu_l = 0,8$

Питома вага матеріалу обичайки барабана $\gamma_{об.б} = 77472,5 \text{ Н/м}^3$

Вага максимальної кількості матеріалу, який завантажується в барабан $G_{np} = 1960 \text{ Н}$

Максимальна частота обертання барабана $n = 940 \text{ об/хв}$

Умовна межа текучості матеріала обичайки барабана $\sigma_F = 2,3 \cdot 10^8$.

Власна вага обичайки барабана:

$$G_{\bar{o}.b} = (2 \cdot R_{\bar{o}.b} + s) \cdot \pi \cdot H \cdot s \cdot \gamma_k$$

$$G_{\bar{o}.b} = (2 \cdot 0,5 + 0,008) \cdot 3,14 \cdot 0,43 \cdot 0,008 \cdot 77472,5 = 843,5 \text{ Н}$$

Поперечний переріз обичайки барабана в осьовому напрямку

$$F = H \cdot s$$

$$F = 0,43 \cdot 0,008 = 0,00344 \text{ м}^2$$

Коефіцієнт послаблення поздовжнього шва обичайки барабана $v_1=0,8$

Коефіцієнт послаблення, викликаний наявністю отворів обичайки барабана

$$v_2 = \frac{t_s - d}{\varphi \cdot t_s},$$

де t_s – похилий крок отворів

$$t_s = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{t_q^2 + t_l^2}$$

$$t_s = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{0,03711^2 + 0,046^2} = 0,02955 \text{ м}$$

$$m = \frac{t_q}{t_l}$$

$$m = \frac{0,03711}{0,046} = 0,806$$

$\varphi=0,958$ з таблиці

$$v_2 = \frac{0,02955 - 0,005}{0,958 \cdot 0,02955} = 0,866.$$

Оскільки $v_1 < v_2$, то при розрахунку враховується v_1 . Зварний шов залишається непросвердленим.

Результуюче навантаження, яке викликане власною вагою обичайки барабана G_k і вагою матеріалу, який в ньому перебуває G_{np}

$$\sigma = \frac{R_{\bar{o}.b} \cdot n^2}{1400} \cdot \frac{G_{\bar{o}.b} + G_{np}}{2} \cdot \frac{10^{-3}}{2 \cdot F \cdot v_1}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \cdot 940^2}{1400} \cdot \frac{843,5 + 1960}{2} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,00344 \cdot 0,8} = 80369231 \text{ Н/м}^2$$

Коефіцієнт безпеки, віднесений до умовної межі текучості матеріалу
обичайки барабана

$$X_f = \frac{\sigma_F}{\sigma} = \frac{2,3 \cdot 10^8}{80369231} = 2,86$$

$X_f > 2$, відповідно вимоги задовольняються.

4.3. Розрахунок потужності приводу

Потужність електродвигуна визначається по пусковій потужності:

$$N_n = N_1 + N_2 + N_3 + N_4, \text{ кВт},$$

де N_1 – потужність, яка витрачається на подолання інерції маси барабана:

$$N_1 = \frac{G_{\bar{o}} \cdot \omega^2}{2 \cdot g \cdot 102 \cdot \tau_n}, \text{ кВт},$$

де $G_{\bar{o}}$ – маса барабана, кг; за результатами 3D моделювання $G_{\bar{o}} = 382,2$ кг

ω – колова швидкість обертання барабана, м/с.

$$\omega = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 1,016 \cdot 900}{60} = 47,1 \text{ м/с}$$

де D – діаметр барабана центрифуги м.

$$N_1 = \frac{382,2 \cdot 47,1^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 102 \cdot 90} = 4,71 \text{ кВт},$$

N_2 – потужність, яка витрачається на подолання інерції маси продукту:

$$N_2 = \frac{G_{np} \cdot \omega^2}{2 \cdot g \cdot 102 \cdot \tau_n}, \text{ кВт}$$

$$N_2 = \frac{196 \cdot 47,1^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 102 \cdot 90} = 2,4 \text{ кВт}$$

N_3 – потужність, яка витрачається на подолання тертя вала в підшипниках:

$$N_3 = \frac{f \cdot G_3 \cdot \omega_u}{102}, \text{ кВт},$$

де f – коефіцієнт тертя в підшипниках, $f = 0,07 \dots 0,1$;

G_3 – загальна маса обертових елементів центрифуги і суспензії, кг;

ω_u – колова швидкість обертання цапфи, м/с. $\omega_u = \frac{\pi \cdot d_g \cdot n}{60}$, тут d_g – діаметр вала, м.

$$G_3 = G_{\sigma} + G_c = 382,2 + 196 = 578,2 \text{ кг}.$$

ω_u – колова швидкість обертання цапфи, м/с. $\omega_u = \frac{\pi \cdot d_g \cdot n}{60}$, тут d_g – діаметр

вала, м. $d_g = 0,085 \text{ м}$

$$\omega_u = \frac{\pi \cdot 0,085 \cdot 900}{60} = 4 \text{ м/с},$$

$$N_3 = \frac{0,1 \cdot 578,2 \cdot 4}{102} = 2,27 \text{ кВт},$$

N_4 – потужність, яка витрачається на подолання тертя барабана об повітряне середовище:

$$N_4 = \frac{R^5 \cdot n^3}{10^8}, \text{ кВт},$$

де R – радіус барабана, м;

n – частота обертання барабана.

$$N_4 = \frac{0,508^5 \cdot 900^3}{10^8} = 0,24, \text{ кВт},$$

$$N_n = 4,71 + 2,4 + 2,27 + 0,24 = 9,62 \text{ кВт},$$

$$N_{\text{дв}} = N_n / 0,9.$$

$$N_{\text{дв}} = 9,62 / 0,9 = 10,7 \text{ кВт}.$$

4.4. Технологія машинобудування

Складання технічних комплексів (обладнання, складальних одиниць) – технологічний процес формування з'єднань складових виробу.

В результаті складання досягається необхідне взаємне розташування деталей, які з'єднуються, відносна рухомість або нерухомість з'єднаних елементів і довговічність конструкції.

Усі машини складаються з окремих частин – деталей і складальних одиниць. Залежно від конструкції та кількості деталей, вузли можуть бути різної складності.

Основна частина складальної одиниці називається базою або базовою групою. Положення основи (корпус) визначає положення всіх інших монтажних вузлів. Для полегшення процесу складають схеми технології складання, які дозволяють класифікувати послідовність процесу.

У цьому розділі наведена технологія складання механізму гальмування центрифуги.

Гальмівний пристрій (рис. 4.2) призначений для форсованої зупинки ротора. Складання проводиться так, щоб при вимкненому гальмі стрічка не торкалася гальмівного ободка, це перевіряється провертанням ротора вручну. Вимикають двигун натисканням кнопки стоп. Для повної зупинки центрифуги повертають важіль гальмівного пристрою.

Гальмо складається зі сталеві стрічки з приклепаною до неї гальмівною накладкою і гальмівного ободка. Роль гальмівного ободка відіграє короткий циліндр на днищі ротора. Пружина електромагніту через трос привода гальма забезпечує зусилля гальмування. Електромагніт служить для одночасного ввімкнення гальма і вимкнення електродвигуна центрифуги з допомогою кінцевого вимикача.

Основні розміри гальма:

діаметр 350 мм;

розміри гальмівної накладки: 6×130×1015 мм.

Матеріал гальмівної накладки: феродо. Кут огинання гальмівної накладки: 300°.

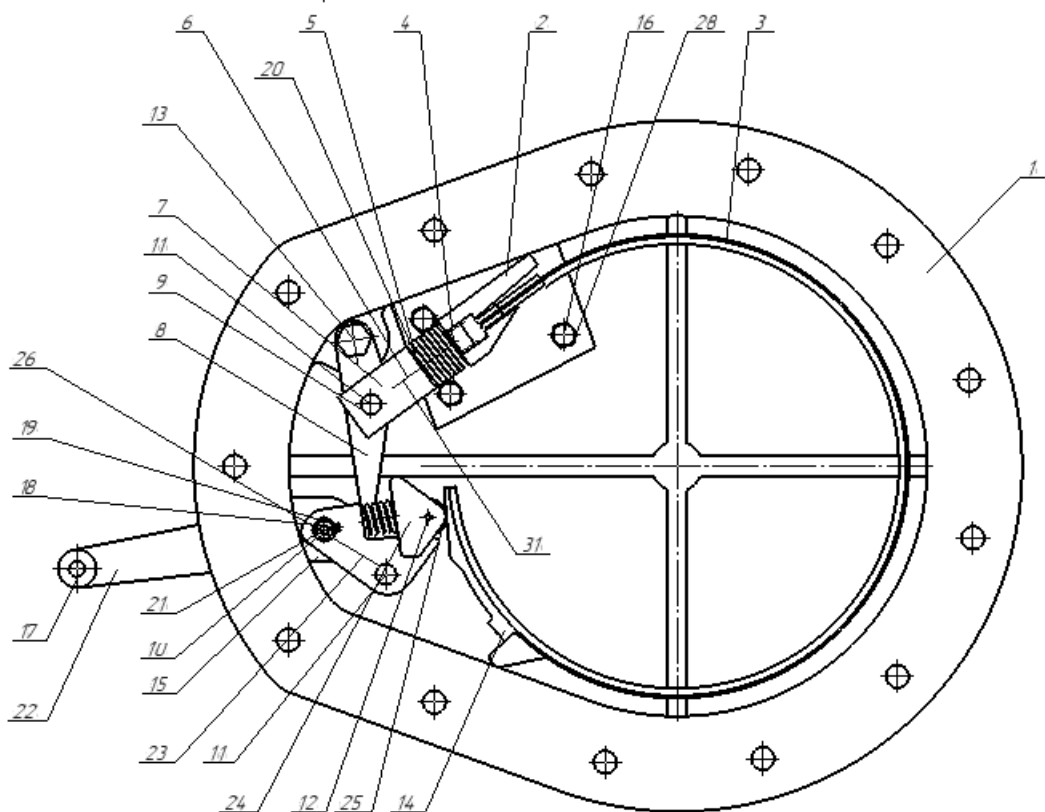


Рис. 4.2. Механізм гальмування

По детальний склад вузла

Таблиця 4.1.

Номер позиції деталі	Назва деталі	Кількість деталей
1.	Корпус	1
2.	Фіксатор гальмівної стрічки	1

3.	Гальмівна стрічка	1
4.	Шпилька М8×70	1
5.	Пружина Ø41,5	1
6.	Пружина Ø25	3
7.	Регулююча вилка	1
8.	Флажок	1
9.	Втулка Ø20,5	2
10.	Втулка бронзова Ø28	1
11.	Палець Ø12×70	2
12.	Стопорний гвинт М10×30	2
13.	Центруючий болт М10×45	1
14.	Болт М6×25	1
15.	Болт М8×15	1
16.	Болт М10×25	3
17.	Болт М12×35	1
18.	Шпонка	1
19.	Шпонка	1
20.	Центруюча шайба	1
21.	Вал	1
22.	Важіль неповоротного кулачка	1
23.	Нерухома деталь неповоротного кулачка	1
24.	Рухома деталь неповоротного кулака	1
25.	Ролик	2
26.	Шайба Ø8	1
27.	Шайба Ø10	3

28.	Шайба Ø12	3
29.	Шплінт	2
30.	Гровер	4
31.	Гайка М8	2
32.	Гайка М12	1

Технологічний маршрут складання вузла

Таблиця 4.2.

Номер переходу	Зміст переходу
10. Монтаж неповоротного кулачка СК1	
10.1.	Запресувати бронзову втулку в корпус
10.2.	Встановити шпонку на вал
10.3.	Змонтувати важіль на вал
10.4.	Зафіксувати болтом важіль
10.5.	Встановити вал в бронзову втулку
10.6.	Встановити два ролики на рухому деталь неповоротного кулачка
10.7.	Закрутити два стопорні гвинти
10.8.	Встановити дві пружини в центруючі напрямні
10.9.	З'єднати поворотну і неповоротну деталі пальцем
10.10.	Встановити шайбу і шплінт
10.11.	Встановити шпонку на вал
10.12.	Змонтувати неповоротний кулачок на вал
10.13.	Встановити шайбу
10.14.	Закрутити болт

20. Монтаж гальмівної стрічки СК2	
20.1.	Встановити в корпус направляючий фіксатор
20.2.	Встановити три шайби
20.3.	Закрутити три болти
20.4.	Закрутити в гальмівну стрічку шпильку
20.5.	Встановити гальмівну стрічку в напрямну фіксатора
30. Монтаж поворотного кулачка СК3	
30.1	Вставити пружину на шпильку
30.2	Вставити в пружину регулюючу вилку
30.3	Вставити в регулюючу вилку пружину
30.4.	Встановити центруючи шайбу на шпильку
30.5.	Закрутити дві гайки
30.6.	Встановити в регулюючу вилку дві втулки
30.7.	Встановити між втулками флажок
30.8.	З'єднати пальцем
30.9.	Встановити шайбу і шплінт
30.10.	З'єднати флажок з корпусом центруючим болтом

Вибір конструкційних матеріалів

Сплав 10X17H13M2T (старе позначення X17H13M2T, E1448) – корозійно-стійка високолегована сталь аустенітного класу.

З листів цієї сталі виготовляють зварні конструкції, що працюють у середовищах підвищеної агресивності (сірчаної, лимонної, фосфорної та оцтової кислот) і призначені для тривалої експлуатації при температурі до 600°C. Корозійна стійкість сталей пояснюється утворенням на поверхні металу дуже тонких плівок складних оксидів, які щільно прилягають до

поверхні металу та перешкоджають проникненню агресивних речовин у глибину металу.

Хімічний склад сталі 10X17H13M2T:

Вуглець – до 0,1%;

Кремній – до 0,8%;

Марганець – до 2%;

Нікель - 17-20%;

Сірка – до 0,02%;

Фосфор – до 0,035%;

Хром - 16-18%;

Титан – до 1%;

Молібден – 2-3%;

Мідь – до 0,3%;

Залізо – близько 61%.

Листи 10X17H13M2T виготовляються за ГОСТ 7350-77 «Сталь товстолистова корозійно-стійка, жаростійка та жароміцна. Технічні умови» та ГОСТ 5582-75 «Прокат тонколистовий корозійно-стійкий, жаростійкий та жароміцний. Технічні умови». Хімічний склад та його основні властивості регламентовані ГОСТ 5632-72 «Стали високолеговані та сплави корозійностійкі, жаростійкі та жароміцні. Марки».

Механічні властивості листів сталі 10X17H13M2T (AISI 316Ti) при $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

Межа плинності матеріалу – 235 МПа;

Межа короткочасної міцності – 530 МПа;

Відносне подовження при розриві – 37%;

Твердість за Брінелем НВ – 200 МПа;

Загартування проводиться при температурі 1030 - 1080 $^{\circ}\text{C}$.

Питома вага – 7950 кг/тн.

Цей метал зварюється без обмежень.

Найбільш поширені закордонні аналоги сталі 10X17H13M2T:

США - 316H, 316Ti, 318, S31635;

Німеччина – 1.4571, 1.4583, X10CrNiMoNb18-12, X10CrNiMoTi18-10, X6CrNiMoTi17-12-2;

Євросоюз (загальне маркування) - 1.4571, X6CrNiMoTi17-12-2;

Швеція - 2350, 2353;

Польща – H17N13M2T, H18N10MT;

Італія – X6CrNiMoTi17-12;

Австрія – X6CrNiMo17-17-122S;

Японія - SUS316Ti;

Китай – 0Cr18Ni12Mo2Ti.

Металеві деталі центрифуги, які дотикаються (так затвора кришки), виготовлені з кольорового металу з високою теплопровідністю.

Три вертикальні тяги виконані із високоміцної сталі А 60 Н на чавунних колонах, закріплених в чавунній рамі основи. Матеріал кульових шарнірів тяг: А 60; матеріал кульових гнізд: поліамід II.

Матеріал гальмівної накладки пристрою гальмування – Феродо – фрикційний термостійкий композитний матеріал на основі азбестових волокон і фенол формальдегідної смоли. До складу входить термостійкий наповнювач і термореактивна органічна зв'язувальна, додатково можуть вводитися армовані волокна (органічні, мінеральні, сталеві), абразивні добавки та речовини, що підвищують коефіцієнт тертя. Зберігає працездатність при температурі поверхні тертя до декількох сотень градусів Цельсія.

4.5. Правила монтажу, та технічного сервісу модернізованого обладнання Розміщення і встановлення центрифуги

Центрифугу типу BVG C 10-A можна встановлювати і експлуатувати в приміщенні, з умовами, які відповідають класу захисту Rb-n III; G4.

Центрифугу потрібно встановлювати на фундамент по фундаментному кресленню. Якщо цього потребує технологія, то центрифуга може встановлюватися на майданчику або на поверсі, але лише за умови достатньої

жорсткості конструкції до динамічних навантажень як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках. Враховуючи можливі сильні вібрації, не рекомендується встановлювати центрифугу на майданчику або поверсі у випадку центрифугування компонентів, які складно розділяються.

Оскільки наявний знімний мішок, приміщення слід обладнати пересувним підйомником. Вільна внутрішня висота приміщення поблизу центрифуги повинна становити не менше 4 м. Вантажопідйомність підйомника повинна бути не менша 4900 Н.

З'єднання трубопроводів повинні бути гнучкого виконання, враховуючи вібрацію центрифуги. Слід забезпечити можливість зміщення для приєднання кришки під час її відкривання.

За умови роботи в атмосфері інертних газів слід забезпечити живлення газом. Надлишковий тиск у робочому просторі і в підшипниковому корпусі центрифуги не повинен перевищувати 3922 Па. Потрібно застосовувати відповідні редуційні клапани і вентилі, які закривають.

При встановленні машини на місці слід забезпечити можливість регулювання подачі суспензії для запобігання переповнення або перевантаження. Розташування і номінальні розміри з'єднувальних патрубків центрифуги показані на рис.2.2.

Інструкція з пуску в експлуатацію і технічного обслуговування

Пуск в експлуатацію

Центрифугу встановити на горизонтальний фундамент по фундаментному кресленню, враховуючи умови розміщення машини (рис.4.3). Раму основи закріпити у колон фундаментними болтами М 24.

Після встановлення машини залити цементним розчином

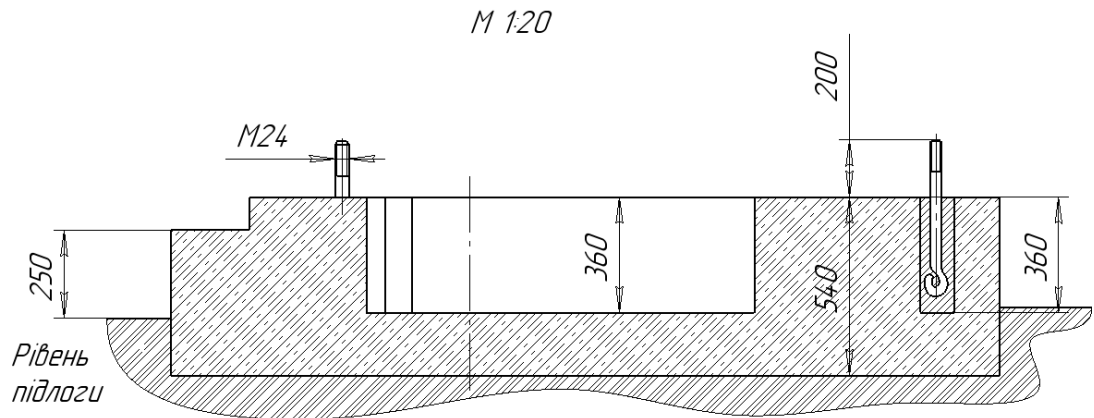


Рис.4.3. Фундаментне креслення

Перевірити прилягання рами основи без напружень. Затягнути фундаментні болти, підтягнути кріпильні болти колон. Затягнути фундаментні болти, підтягнути кріпильні болти колон. Для амортизації можна встановити під поверхнями рами основи, які прилягають, демпферні прокладки. Горизонтальне положення центрифуги перевірити по бортовому кільцю барабана. Перевірити стан вертикальних тяг і кульових шарнірів, а також за плінтовку корончатих гайок. Маслянки заправити без кислотним підшипниковим консистентним мастилом (марки Lithon "С"). До запуску машини рекомендується заправити консистентним мастилом корпус підшипника. Електромонтаж і підключення слід проводити відповідно до інструкції з монтажу і технічному догляду за електрообладнанням. Перевірити напрямок обертання барабана (за годинниковою стрілкою, якщо дивитися згори). Перевірити надійність блокувального і гальмівного пристроїв. Сформувати і в гнучкому виконанні приєднати трубопроводи, які підключаються до патрубків – завантажувального, промивного, який відводить рідину і підводить інертний газ.

Інструкція з технічного догляду

1) Очищення центрифуги:

Наприкінці зміни або в період технологічної паузи, очистити промиванням центрифугу, від хімічних речовин. Видалити і нейтралізувати корозійні або отруйні речовини. Завдяки своєчасному очищенню можна суттєво подовжити термін експлуатації центрифуги.

2) Інструкція зі змащування:

Підшипники змащувати безкислотним підшипниковим консистентним мастилом (Lithon "C") з допомогою маслянки, яка розміщена збоку кожуха машини. Маслянка повинна бути наповнена. Кришку маслянки щоденно підтягувати на один оберт. Кульові шарніри вертикальних тяг не потребують змащування, оскільки гнізда виготовлені з пластмаси.

Один раз на тиждень змащувати тавотом пальці затвора кришки вимикача блокування кришки, завіси кришки і штоки телескопа піднімання кришки. При технічному догляді деталі гальмівного механізму достатньо змащувати консистентним мастилом. Місця змащування показані на рис. 4.4.

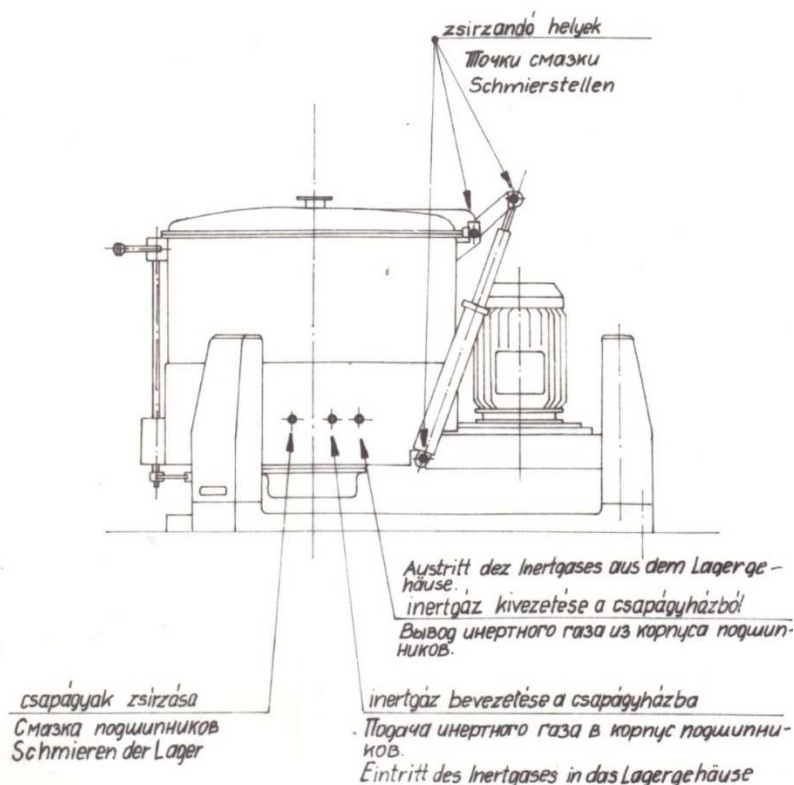


Рис. 4.4. Місця змащування

Ремонт, налагодження

Підшипникову підвіску центрифуги демонтувати не рідше одного разу на рік і всі деталі промити гасом. Трубки маслянки також слід очистити. Перевірити стан підшипників, підшипникового корпусу та його деталей. У випадку виявлення дефекту або зношування замінити їх. Замінити прокладки і сальники з повсти.

При збиранні підшипникової підвіски перевірити відповідно до рис.4.5 наявність люфту бронзової вкладки посадкового місця підшипника.

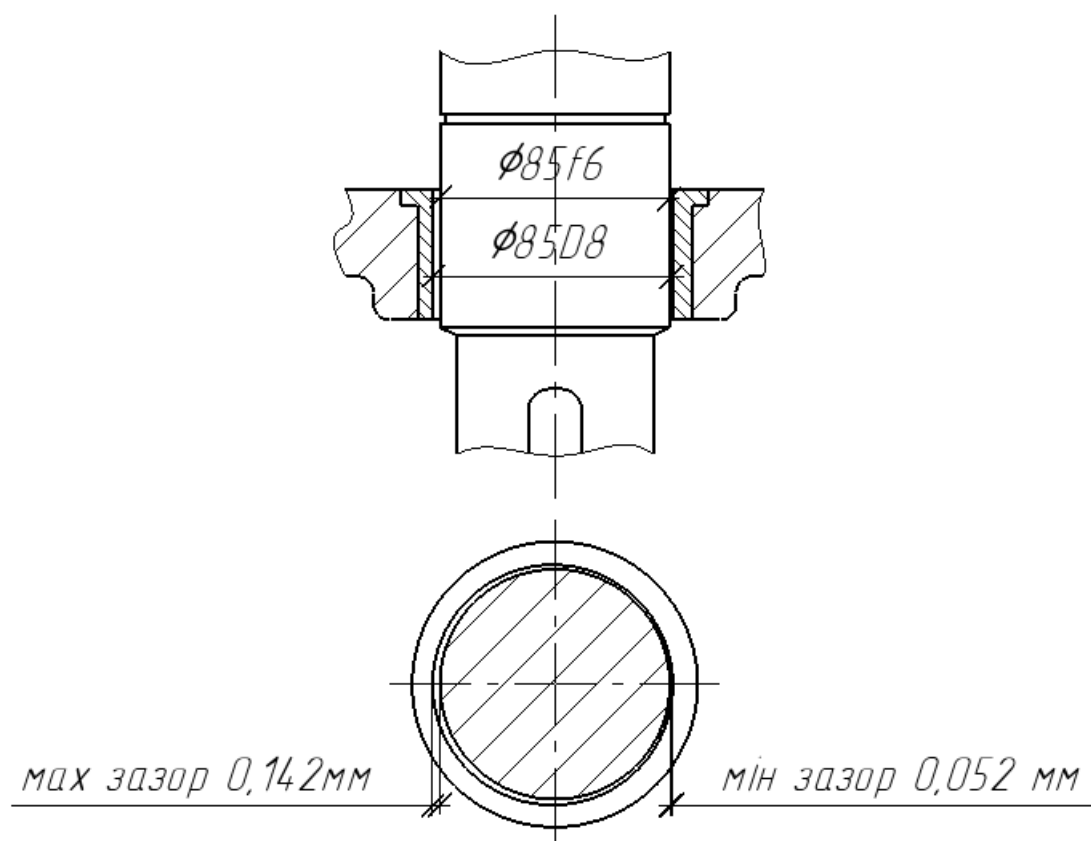


Рис.4.5. Люфт бронзової вкладки посадкового місця підшипника

Максимальний люфт по діаметру: 0,232 мм;

Мінімальний зазор в будь-якій точці кола: 0,052 мм;

Максимальний зазор в будь-якій точці кола: 0,142 мм.

Зазор перевіряти щупом.

Перевірити герметичність підшипникового вузла азотом. Якщо герметичність незадовільна, то слід підтягнути кришку підшипника і відповідно перевірити прокладки.

Піднімати підшипниковий корпус слід з допомогою кілець для знімання (рис.4.6)

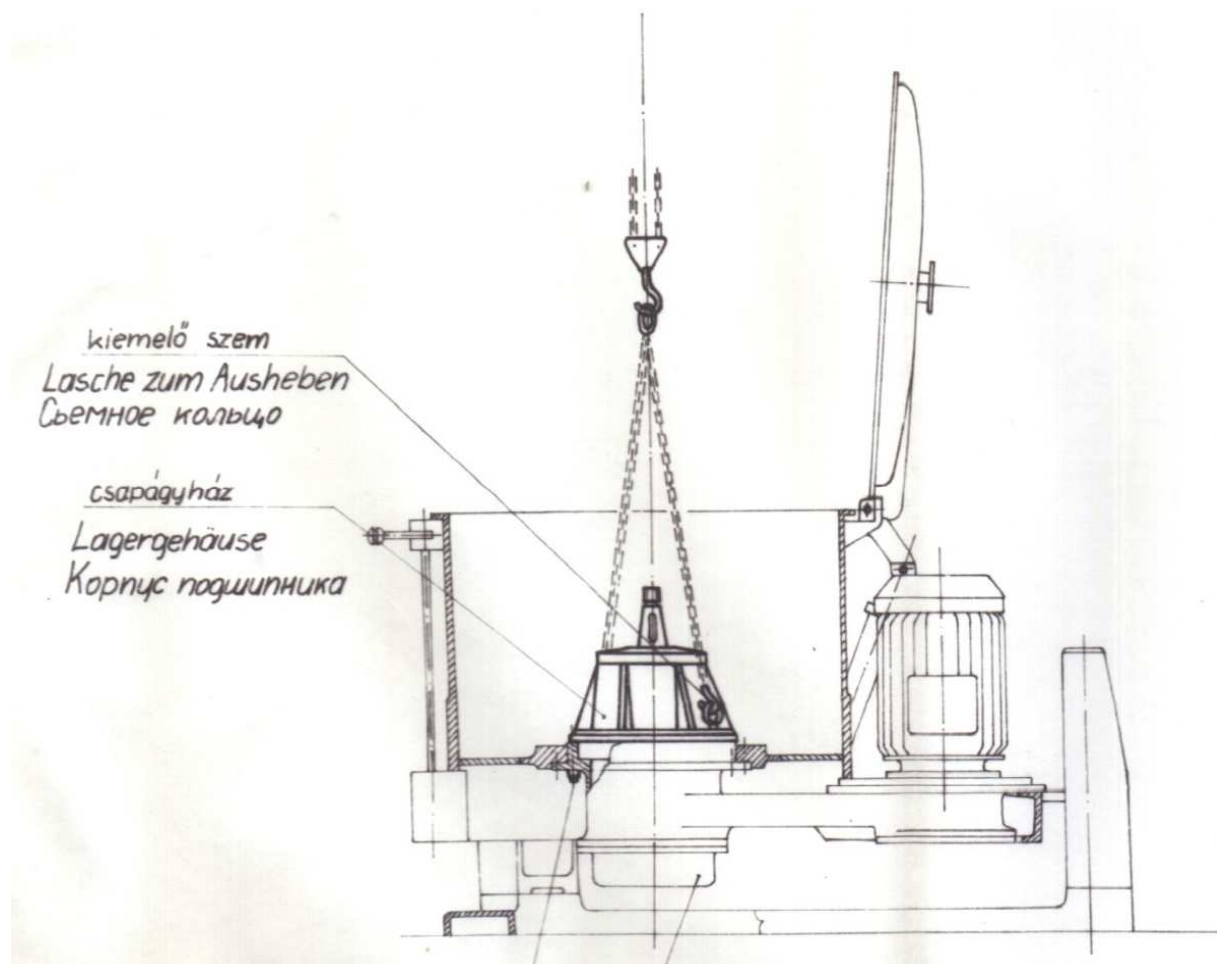


Рис.4.6. Піднімання підшипникового корпусу

Знімання барабана з конічної цапфи здійснюється з допомогою знімача, який вгвинчується у два різьбові отвори. Пружину телескопа піднімання кришки можна регулювати установочною гайкою, яка розміщена в телескопі. Якщо регулювання правильне, кришка у закритому положенні врівноважена і відкривання потребує лише невеликого зусилля; необхідно лише слідкувати за тим, щоб два телескопи були відрегульовані на однакове зусилля пружини.

Слід також перевірити і герметичність робочого простору центрифуги. При виявленні несправності перевірити ущільнюючі поверхні і замінити ущільнювальні деталі.

У накидних замків кришки у випадку слабкого натягу підтягнути гвинти хомута.

Вимикач блокування кришки відрегулювати так, щоб при зміщенні важеля гальма приблизно на 10 – 15 мм з робочого положення, вимикач потрапив у вимкнене положення. Регулювання здійснюється підніманням або опусканням кулачка на гальмівному валу.

Кульові шарніри вертикальних тяг сидять у конічних пластмасових гніздах. Щодня слід перевіряти стан кульових гнізд, вертикальні тяги, застопорювання гвинтів і гайок, гвинти кріплення колони. При виявленні дефекту негайно замінити їх.

У випадку піднімання кришки на 10 – 15 мм блокувальний механізм повинен перевести у вимкнене положення вимикач блокування кришки. Регулювання здійснюється натягуванням боуден-тросу.

Монтаж кожухів:

Кожухи центрифуги виконані відповідно приписів стандарту MSZ 4814/2. Деталі, які покривають, закріплені болтами з тригранною головкою і пружинними шайбами. Ці болти, так само як і вибухобезпечну електроапаратуру, замінювати іншими типами, видаляти пружинні шайби заборонено. Заборонена експлуатація із ослабленими гвинтами.

Навіть при відсутності одного гвинта втрачається вибухо-безпечність. Також заборонено видаляти захисні кільця болтів з тригранною головкою. Монтувати вибухобезпечні машини може лише обізнаний фахівець з допомогою спеціальних ключів, які входять до комплекту поставки центрифуги.

При монтажі кожухів слід звертати особливу увагу на збереженість поверхонь посадки кожухів. На посадковій поверхні не повинен потрапляти бруд. Ці поверхні можна змащувати без кислотним консистентним мастилом.

Між ущільнюючими поверхнями заборонено ставити ущільнювальну речовину.

При монтажі гальма, розбиранні підшипникової підвіски, натягуванні ременів кришку корпуса приводу зняти способом, показаним на рис. 4.7.

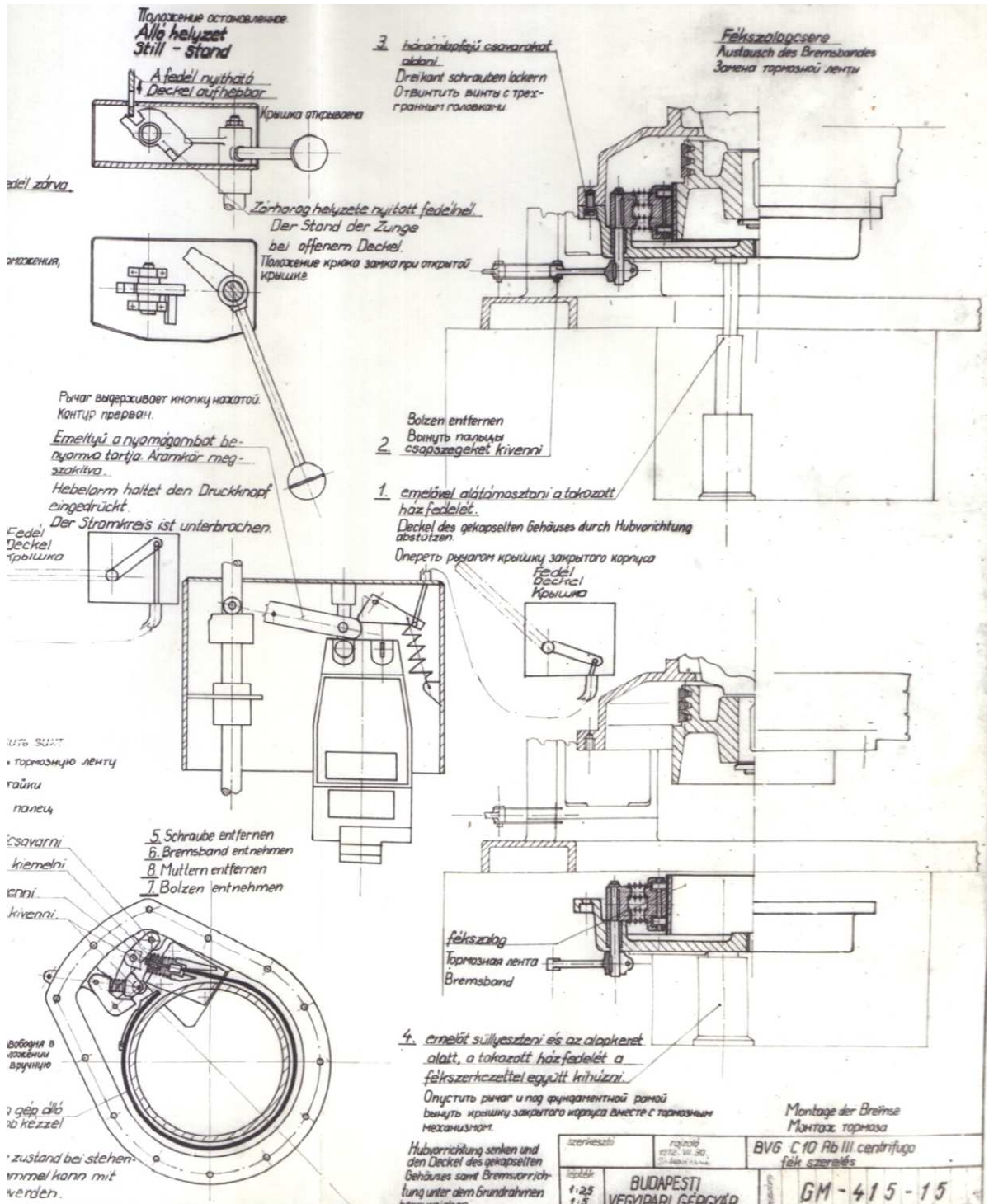


Рис. 4.7.Спосіб демонтажу

Під час демонування гвинтів кришку потрібно підперти.

Разом з кришкою можна витягнути комплектне гальмо з-під центрифуги.

У випадку заміни клинових пасів слід, крім зазначеної вище кришки, видалити також і кришку кожуха, яка розміщена під електродвигуном.

Після ослаблення гвинтів плити ковзання, двигун перемістити в напрямку центрифуги. Потім замінити клиновий пас. За необхідності зняти великий клинопасовий шків з валу з допомогою знімача.

Після закінчення цієї операції кожухи слід встановити на місце. Натяг клинових пасів здійснюється зміщенням двигуна в напрямку колони центрифуги.

Після закінчення операцій підтягнути і перевірити болти із тригранною головкою. Описані вище операції з монтажу (монтаж гальма, клинових пасів і кожуха) виконувати відповідно стандартам MSZ 4814/1 і MSZ 4814/2.

Періодичну перевірку і пуск центрифуги в експлуатацію слід відповідно стандарту MSZ 10450/ і відповідним галузевим нормам.

Інертизація

Центрифуга може працювати в атмосфері інертних газів. Під час роботи підшипниковий корпус може постійно перебувати в атмосфері інертного газу. Створити атмосферу інертного газу в робочому просторі дозволяється тільки після закриття кришки.

До відкриття кришки слід по манометру перевірити, чи немає надлишкового тиску в робочому просторі центрифуги. Тільки після цього можна відкрити швидко знімні затвори.

При центрифугуванні матеріалів, шкідливих для здоров'я, слід здійснювати інтенсивне промивання, вентилявання до відкриття кришки.

При пуску в холодному стані (після простою) як у робочому просторі центрифуги, так і в просторі посадкового місця підшипника тиск не повинен перевищувати 80 – 100 мм. вод. ст. Надлишковий тиск можна підвищувати лише в стані, розігрітому до робочої температури. Максимальний надлишковий тиск 400 мм. вод. ст. (3922 Па). Приєднання виконати гнучкими.

Інструкція до знімного коміру барабана

Вкладання коміру барабана у барабан

Бортове кільце і бортову канавку барабана центрифуги перед вкладанням коміру барабана ретельно очистити від матеріалу, який центрифугується, і бруду.

Після цього вставити комір барабана у бортову канавку барабана. Слідкувати за тим, щоб фільтрувальний мішок рівномірно розміщувався по внутрішньому контуру барабана. Для цього треба натягнути середнє кільце мішка на гайку барабана. Після цього вивільнити з крюків канати крана.

Всі чотири важелі замикання пристрою замикання натиснути до упору (рис.4.8).

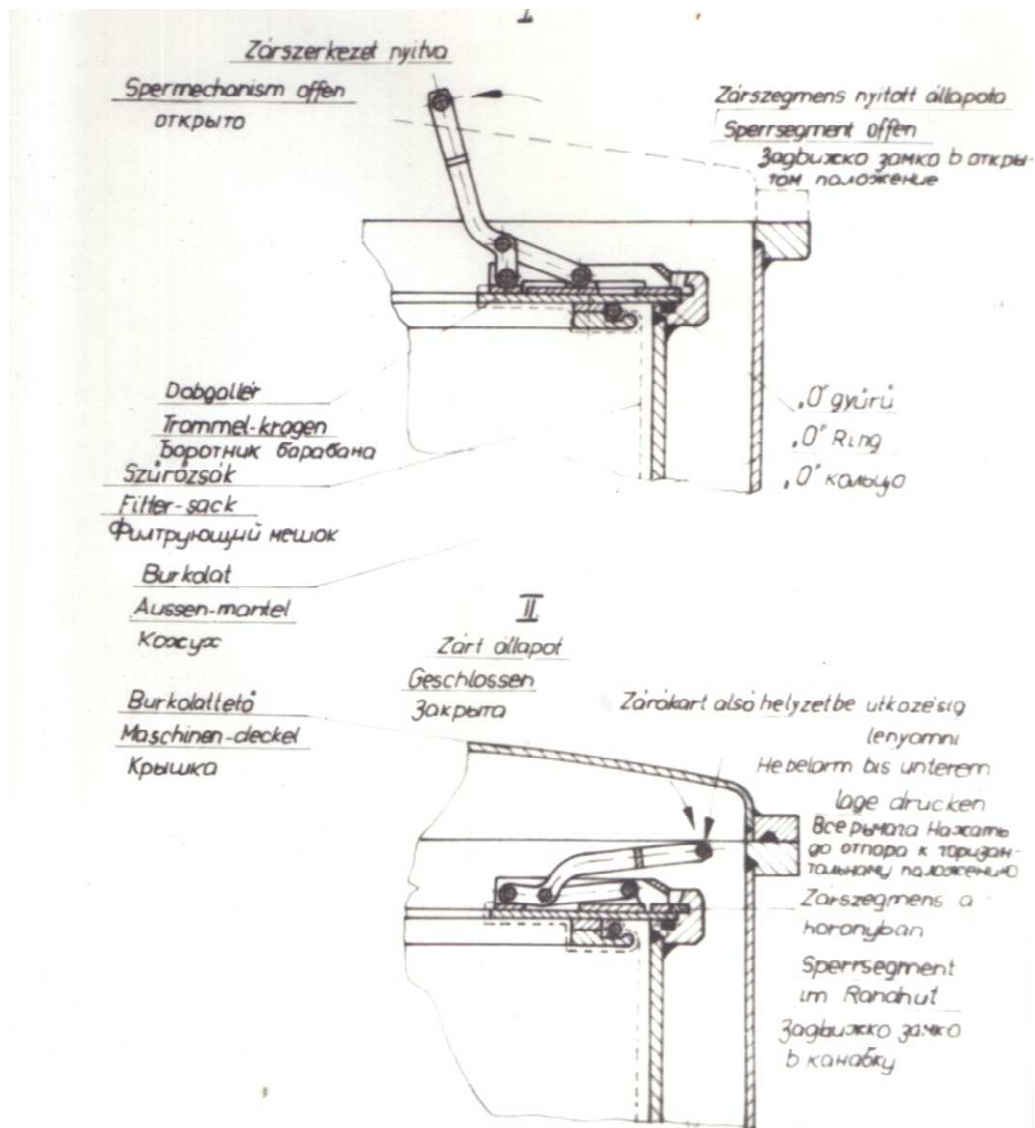


Рис.4.8. Вкладання коміру барабана у барабан

В цьому випадку важіль замикання буде близьким до горизонтального положення.

Барабан повернути вручну і проконтролювати, чи достатньо глибоко всі сегменти замикання сидять у бортовій канавці (мінімально 4 мм).

Забороняється важелі замикання замикаючого пристрою залишати у напівзакритому стані. Якщо закрити за приписами не вдається, тоді треба дослідити причину цього. Забороняється також силою закривати замикаючий пристрій, бо це може призвести до деформування його деталей.

Після завершення процесу центрифугування вийняти коміра барабана з фільтруючим мішком можливо тільки після відкриття чотирьох важелів замикання. Вийняти комір барабана із фільтруючим мішком можна після зачеплення канатів крана.

Обслуговування центрифуги

Обслуговувати центрифугу може тільки особа, яка пройшла інструктаж з обслуговування центрифуги, знає її, та приписи, які її стосуються, і склала про це іспит. Допустиме максимальне навантаження барабана вказується в посібнику під назвою «Максимальна кількість матеріалу, що завантажується в барабан». Навантаження барабана в жодному разі не повинно перевищувати допустиму кількість матеріалу, що завантажується. Крім максимального допустимого вагового навантаження, навантажуваність обмежується також і корисною місткістю, в 200 л. Барабан повинен обертатися за годинниковою стрілкою дивлячись зверху, інакше системи блокування і гальмування не працюють.

Кожної зміни до початку роботи перевірити натягнення гайки барабана шляхом підтягування. Підлягає перевірці також стан вертикальних тяг і шплінтування корончатих гайок. Далі перевіряють, чи працюють відповідно до приписів гальмо, замок кришки, блокувальний вимикач кришки.

При барабані, що обертається, кришка не відкривається. При затягуванні гальмівного важеля блокувальний механізм повинен відключати двигун від мережі. У разі виявлення невідповідності в роботі - експлуатувати центрифугу

забороняється. При відкритті кришки кожуха запобіжний пристрій фіксує блокувальний вимикач у вимкненому положенні.

Експлуатувати центрифугу із відкритою кришкою забороняється. Переробляти або демонтувати блокувальний запобіжний пристрій забороняється.

При непрацюючому барабані встановити мішок, що фільтрує, в барабан, одночасно посадити комір на місце, виконане для нього в бортовому кільці і за допомогою швидкороз'ємного затвора закріпити комір на барабані. Підйомні канати відчепити від гаків та видалити їх. Перевірити правильність розташування мішка і коміра на барабані. Обертаючи барабан вручну, ретельно перевірити точність посадки кріпильних засувок в пазі. Закрити кришку центрифуги. Притискними затворами забезпечити закривання кришки.

До пуску перевірити, чи перебувають в закритому положенні затвори, що притискають кришку (6 штук), що знаходиться на захисному кожусі. Запускати і експлуатувати центрифугу забороняється, якщо кришка не закрита затворами, що притискають.

Гальмівний важіль перевести у робоче положення. Якщо потрібно технологією, то в робочому просторі центрифуги можна створити атмосферу інертного газу. Двигун центрифуги запускається кнопкою пуску. Машина досягає робочого числа обертів приблизно через 2 – 2,5 хвилин. Подачу суспензії можна починати після 1,5 – 2 хвилин. Якщо барабан під час завантаження або на робочому числі обертів обертається невідповідно, то центрифугу слід негайно зупинити і рівномірно розподілити матеріал в барабані. Сильна вібрація передчасно виводить центрифугу з ладу, призводить до поломки та нещасного випадку. Амплітуда бічних коливань завантаженого барабана при робочому числі обертів не повинна перевищувати 0,5 мм. Експлуатація центрифуги при більших коливаннях забороняється. Двигун центрифуги дозволяється запускати 4 рази на годину через 15 хвилин. У разі невдалого пуску новий пуск дозволяється повторювати лише після закінчення

20 хвилин, для попередження шкідливого нагрівання двигуна. В іншому випадку необхідний подбати про штучне охолодження двигуна.

Центрифугування

Після завантаження заданої кількості матеріалу проводити центрифугування суспензією тривалістю, передбаченою технологією. Залежно від прийнятої технології, можливо проводити також промивання.

Завантаження при працюючій центрифугі проводити тільки під час центрифугування рідких суспензій, які легко розподіляються. Суспензії, які складно розподіляються і містять мало рідкої фази, доцільно завантажувати в непрацюючий барабан, рівномірно розподіливши їх, щоб уникнути нерівномірності навантаження.

Лампу, змонтовану на кришці кожуха, можна вмикати тільки під час завантаження і промивання.

Гальмування

Зупинка центрифуги здійснюється гальмуванням. За допомогою належним чином відрегульованого гальма завантажену центрифугу можна зупинити за 25 – 60 секунд. Час гальмування коротший за 20 секунд може спричинити обрив гальмівної стрічки і навіть поломку колони центрифуги. Гальмівний важіль затягувати до відмови й утримувати його в цьому положенні до зупинки центрифуги. Прикладене до гальмівного важеля зусилля, що тягне, не впливає на ефективність гальмування і на час гальмування. Під час переміщення гальмівного важеля вимикач блокування кришки відключає від мережі двигун центрифуги. Якщо барабан уже зупинився, то важіль гальма можна переводити далі положення гальмування. Протягом 3–4 секунд рівномірно тягнути важіль гальма, завдяки чому гальмівний механізм переводиться останнє положення.

Припинити подачу інертного газу і стравити надлишковий тиск у робочому просторі. Відкрити також і накидні замки, що забезпечують щільність кришки. Кришку штовхати вгору із зусиллям 5 – 6 кг, потім вона сама відкривається повністю.

Розвантаження

Важелі швидко роз'ємного затвора коміра перевести в напрямку центру барабана, внаслідок чого затвор відкривається.

Гаки підйимального крана вставити у вушка підйому коміра барабана, а також у вушко центрального кільця фільтрувального мішка й підняти мішок разом із коміром барабана. Розвантажувати матеріал слід у візок або в бак. Розвантаження матеріалу з мішка проводиться опусканням центрального кільця мішка. Фільтрувальний мішок залежно від суспензії слід або промивати, або замінювати.

РОЗДІЛ 5. ВАЛІДАЦІЯ . ПРОВЕДЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ЦЕНТРИФУГИ

5.1 Загальні відомості

Настанова СТ-Н МОЗУ 42-4.0:2020 Лікарські засоби. Належна виробнича практика дає наступні визначення:

Кваліфікація (qualification) - дії, які засвідчують, про те що конкретне обладнання працює правильно і дійсно дає очікувані результати. Поняття «валідація» ширше включає в себе поняття «кваліфікація». Проведення робіт з кваліфікації обладнання потрібно приділяти достатньо часу на всіх етапах, починаючи з розробки вимог користувача, до остаточного використання обладнання.

Етапи кваліфікації обладнання:

- кваліфікація проекту (DQ) (design qualification – DQ);
- кваліфікація монтажу (IQ) (installation qualification – IQ);
- кваліфікація функціонування (OQ) (operational qualification – OQ);
- кваліфікація експлуатаційних властивостей (PQ) (performance qualification – PQ).

Кваліфікація проекту (DQ)

Документоване підтвердження придатності пропонованого проекту систем, приміщень та обладнання для їх передбачуваного використання. DQ формально складається із трьох частин:

- специфікації вимог користувача (URS);
- функціональн іспецифікації проекту (FDS)
(Functional Design Specification) ;
- специфікації проекту (DS) (Design Specification).

<i>Відповідальна організація НУХТ</i>	<i>Технічне узгодження Житнєцький ІВ.</i>	<i>Вид документа Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа НУХТ</i>	<i>Разробник документа Щеголев А.С.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i>		<i>23-1520.MP.02.005.ПЗ</i>			
	<i>Документ затверджено Гавва ОМ.</i>	<i>Валідація. Проведення кваліфікації центрифуги</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова UA</i>	<i>Аркуш 1/16</i>

В специфікації вимог користувача URS описуються вимоги, яким має відповідати обладнання. URS складається замовником з врахуванням вимог GMP. Специфікація вимог користувача (URS) є основою для кваліфікації характеристик з експлуатації. На основі URS складається FDS. В ньому визначаються технічні функції, за допомогою яких можуть бути виконані вимоги користувача. FDS верифікується за допомогою Кваліфікації функціонування. На основі FDS складається Специфікація проекту (Design Specification). В ній містяться детальні відомості про обладнання, включаючи всі модифікації, додаткове обладнання та необхідну документацію. Підтвердження виконання DS здійснюється за допомогою Кваліфікації монтажу.

Кваліфікація проекту є найважливішим елементом кваліфікації, так як у її рамках поряд зі специфікацією також складаються плани, протоколи та звіти кваліфікації для IQ, OQ та PQ. Замовлення обладнання завершує DQ.

Приймальні випробування на підприємстві-виробнику (Factory acceptance testing – FAT) / приймальні випробування на виробничій ділянці (Site acceptance testing – SAT). Рекомендовано перед доставкою провести оцінку обладнання у постачальника. Документальним підтвердженням того, що обладнання працює в рамках специфікації виробник проводить заводські приймально-здатні випробування. Після успішного проведення FAT клієнт приймає обладнання від виробника та дає дозвіл на постачання. Після поставки клієнтом, як правило, проводяться приймальні випробування на місці (SAT), для того щоб ще раз підтвердити, що обладнання працює відповідно до специфікації.

Кваліфікація монтажу (IQ)

Документоване підтвердження того, що монтаж виконався відповідно до технічних креслень і специфікацій. Технічні засоби, системи й обладнання відповідають затвердженому проекту та рекомендаціям. В рамках Кваліфікації монтажу проводиться перевірка комплектності поставки відповідно до специфікації; відсутності пошкоджень/дефектів; монтажу

обладнання та його складових частин, вимірювальних приладів, трубопроводів і допоміжних систем ; калібрування та перевірка вимірювальних датчиків; тощо.

Кваліфікація функціонування (OQ)

Документоване підтвердження того, що змонтовані чи модифіковані технічні засоби, системи й обладнання належним чином функціонують в межах заданих робочих діапазонів.

Успішне завершення кваліфікації функціонування має сприяти остаточному оформленню стандартних методик щодо проведення робіт та процедур очищення обладнання, створення інструкцій для стандартних робочих процедур (SOP) для користувача , навчання операторів, а також вимог до планового технічного обслуговування.

Визначається через які часові проміжки та за яких змін необхідно проводити повторну кваліфікацію обладнання(рекваліфікація).

Кваліфікація експлуатаційних властивостей (PQ)

Документоване підтвердження того, що технічні засоби, системи й обладнання при використанні разом можуть ефективно функціонувати та відтворювати результати на підставі затвердженого методу ведення процесу і специфікації на продукцію. Проводяться випробування з використанням застосовуваних у виробництві матеріалів, замінників або моделюючого препарату з аналогічними властивостями за нормальних робочих умов з виготовленням серій розмірами, що належать до умов «найгіршого випадку». Проводяться випробування, що включають весь діапазон робочих параметрів планованого процесу.

План кваліфікації підпорядковує усі заходи ,щодо кваліфікації обладнання. В плані кваліфікації визначені відповідальні особи, а також перелік випробувань з проведеною оцінкою ризиків і критерієм прийнятності, тобто параметри, що підлягають верифікації, критичні для якості виробництва лікарських засобів. В правилах GMP немає розпоряджень щодо обсягу кваліфікації. Перед початком робіт з кваліфікації кожен етап його початком

має отримати схвалення та завершитися оглядом результатів у відповідному звіті кваліфікації в письмовому вигляді.

5.2 Проведення кваліфікації функціонування(OQ) центрифуги

1.Вступ.

Даний звіт створений в межах кваліфікації функціонування (OQ) триколонної центрифуги типу BVG C 10-A на основі результатів, що були отримані в ході виконання робіт згідно протоколу. Протокол був розроблений на підставі валідаційного плану «Відділення отримання екстракту».

2. Об'єкт кваліфікації.

Триколонна центрифуга, виробництва Kiskunmeridian Zrt, модель BVG C 10-A, с/н 131109.

Місце розташування – Україна, м. Київ, цех з виробництва АФІ, «Приміщення отримання екстракту №1», клас чистоти «L».

3.Мета кваліфікації.

Отримати документоване підтвердження того, що технічні засоби, системи та обладнання, змонтовані чи модифіковані, функціонують належним чином в межах заданих робочих діапазонів.

4.Хід та об'єм робіт з кваліфікації.

Таблиця 5.1.

№	Етап	Об'єм робіт	Дата / період	Тривалість
1.	Формалізація процесу кваліфікації обладнання	Розробка протоколу кваліфікації з тест-формами кваліфікаційних випробувань	01.11.2024	2 години
2.	Проведення кваліфікаційних випробувань	OQ-01 Контроль встановлених параметрів	14.11.2024	10 хвилин
		OQ-02 Контроль функціонування елементів керування	14.11.2024 15.11.2024	30 хвилин
		OQ-03 Реакція елементів керування на аварійні ситуації	15.11.2024	1 годину

№	Етап	Об'єм робіт	Дата / період	Тривалість
		OQ-04 Контроль процедур та інструкцій	16.11.2024	30 хвилин
		OQ-05 Контроль інтерфейсу системи керування	15.11.2024	10 хвилин
		OQ-06 Контроль функції керування рецептами користувача	15.11.2024	20 хвилин
		OQ-07 Контроль прав авторизації	14.11.2024	15 хвилин
		OQ-08 Контроль процедури відновлення системи після збою	14.11.2024	10 хвилин
		OQ-09 Контроль напрямку та швидкості обертання робочих елементів	15.11.2024	30 хвилин
		OQ-10 Випробування навантаження рибофлавіном	16.11.2024	30 хвилин
		OQ-11 Контроль дренажу	16.11.2024	20 хвилин
		OQ-12 Контроль максимального рівня вібрації	16.11.2024	20 хвилин
		OQ-13 Контроль рівня шуму	16.11.2024	20 хвилин
		OQ-14 Контроль точності підрахунку часу	15.11.2024	20 хвилин
3.	Звітування з кваліфікації обладнання	Підготовка звіту з кваліфікації: обробка результатів, формування висновків, опис відхилень, комплектація заповненої документації	20.11.2024	3 години

5.Валідаційна група.

Таблиця 5.2.

Відповідальність	Посада	П.І.Б.
Керування валідаційною групою	Начальник відділу валідації	

Відповідальність	Посада	П.І.Б.
Розробка протоколу	Інженер з кваліфікації	
Проведення технологічного процесу, кваліфікаційних випробувань, заповнення кваліфікаційної документації	Начальник цеху Інженер цеху Інженер з кваліфікації	
Оформлення звіту	Інженер з кваліфікації	

6.Зведені результати робіт з кваліфікації.

Таблиця 5.3.

№	Випробування		Контрольний параметр	Критерій прийнятності	Отримані результати	Оцінка результату
	Код	Назва				
1	OQ-01	Контроль встановлених параметрів	Встановлені параметри	Встановлені параметри повинні бути задокументовані та встановлюватися у відповідності з вимогами до технологічного процесу	Встановлені параметри задокументовані	<input checked="" type="checkbox"/> відпов. <input type="checkbox"/> не відпов.
2	OQ-02	Контроль функціонування елементів керування	Функціонування елементів керування	Підтвердження працездатності елементів системи керування згідно документації виробника	Елементи системи керування працездатні	<input checked="" type="checkbox"/> відпов. <input type="checkbox"/> не відпов.
3	OQ-03	Реакція елементів керування на аварійні ситуації	Реакцію елементів керування на аварії	У випадку виникнення аварійних ситуацій керування вкаже на аварію, що виникла. Після усунення аварійної ситуації робота обладнання буде продовжуватися в нормальному режимі.	При виникненні аварійних ситуацій система керування вкаже на аварію, що виникла. Після усунення аварійної ситуації робота обладнання продовжується	<input checked="" type="checkbox"/> відпов. <input type="checkbox"/> не відпов.

№	Випробування		Контрольний параметр	Критерій прийнятності	Отримані результати	Оцінка результату
	Код	Назва				
					нормальному режимі.	
4	OQ-04	Контроль процедур та інструкцій	Процедури та інструкції	Наявність розроблених процедур та інструкцій з експлуатації та обслуговування систем. Процедури та інструкції повинні відповідати процесу	Інструкції з експлуатації та обслуговування наявності. Інструкції відповідають процесу.	<input checked="" type="checkbox"/> Відпов. <input type="checkbox"/> не відпов.
5	OQ-05	Контроль інтерфейсу системи керування	Інтерфейс системи керування	Інтерфейс системи керування повинен відповідати описаному у затвердженій документації від виробника.	Інтерфейс системи керування відповідає описаному у затвердженій документації від виробника.	<input checked="" type="checkbox"/> Відпов. <input type="checkbox"/> не відпов.
6	OQ-06	Контроль функції керування рецептами користувача	Функції керування рецептами	Підтвердження можливості належного створення, завантаження, модифікації, видалення та звіту про виконання (опціонально) рецепта користувача згідно документації від виробника.	Є можливість створювати, завантажувати, модифікувати та видалити рецепти згідно документації від виробника.	<input checked="" type="checkbox"/> Відпов. <input type="checkbox"/> не відпов.
7	OQ-07	Контроль прав авторизації	Функції права доступу	Підтвердження прав та обмеження доступу до використання системи для різних рівнів авторизації згідно документації від виробника. Наявність актуального реєстру авторизованих користувачів (ідентифікація + прихований пароль)	Різні рівні авторизації мають різні права та обмеження. Наявний актуальний реєстр користувачів.	<input checked="" type="checkbox"/> Відпов. <input type="checkbox"/> не відпов.

№	Випробування		Контрольний параметр	Критерій прийнятності	Отримані результати	Оцінка результату								
	Код	Назва												
8	OQ-08	Контроль процедури відновлення системи після збою	Відновлення системи після збою	Верифікація процедури відновлення системи. Верифікація сценарію безперервного виробництва на випадок збою та непрацездатності комп'ютерної системи.	Система після збою відновлюється та процес продовжується у нормальному режимі.	<input checked="" type="checkbox"/> Відпов. <input type="checkbox"/> не відпов.								
9	OQ-09	Контроль напрямку та швидкості обертання робочих елементів	Напрямок обертання, швидкість обертання	Напрямок та значення швидкості обертання – інформативні величини	Напрямок обертання за годинниковою стрілкою. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Встановлене значення об/х в.</th> <th>Середня швидкість, об/х в</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td>96,34</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>489,7</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>977,4</td> </tr> </tbody> </table>	Встановлене значення об/х в.	Середня швидкість, об/х в	100	96,34	500	489,7	1000	977,4	<input checked="" type="checkbox"/> інформативна величина
Встановлене значення об/х в.	Середня швидкість, об/х в													
100	96,34													
500	489,7													
1000	977,4													
10	OQ-10	Випробування навантаження рибофлавіном	Відмивання внутрішньої поверхні обладнання	Відсутність видимої UV-флуоресценції на важкодоступних поверхнях, що контактують з продуктом після миття 90 сек відмивки при мінімально допустимих значеннях тиску миючого середовища на форсунка	Після 90 с відмивки UV-флуоресценція відсутня на всій внутрішній поверхні обладнання	<input checked="" type="checkbox"/> Відпов. <input type="checkbox"/> не відпов.								
11	OQ-11	Контроль дренажу	Ефективність дренажу	Ефективний дренаж миючого середовища (візуальне випробування). Відсутність на поверхнях обладнання плям води	Дренаж ефективний	<input checked="" type="checkbox"/> Відпов. <input type="checkbox"/> не відпов.								

№	Випробування		Контрольний параметр	Критерій прийнятності	Отримані результати	Оцінка результату
	Код	Назва				
				розміром більше 10 мм після опорожнення.		
12	OQ-12	Контроль максимального рівня вібрації	Рівень вібрації	Рівень вібрації – інформативна величина.	Максимальний рівень вібрації 1,8 мм/с	<input checked="" type="checkbox"/> інформативна величина
13	OQ-13	Контроль рівня шуму	Рівень шуму	Максимальний рівень шуму в робочій зоні не повинен перевищувати 75 дБ.	Максимальний рівень шуму 72,4 дБ	<input checked="" type="checkbox"/> відпов. <input type="checkbox"/> не відпов.
14	OQ-14	Контроль точності підрахунку часу	Точність підрахунку часу	Відхилення часу функціонування не більше 5% від заданого значення.	Відхилення часу функціонування 0%.	<input checked="" type="checkbox"/> відпов. <input type="checkbox"/> не відпов.

Примітка. – деталізовані методи проведення кваліфікаційних випробувань наведені у відповідних тест-формах для заповнення результатів.

7.Перелік використаних вимірювальних приладів.

Таблиця 5.4.

Прилад	Тип	Виробник	Серійний номер	Сертифікат калібрування	
				Номер	Строк дії
Шумомір	Testo 815	Testo	787878	144	16.12.2025
Тахометр	Testo 470	Testo	878787	124	06.08.2025
Секундомір	HS-43	Tanashi-cho	987656	424	12.05.2025
Віброметр	GM63A	BENETECH	767566	178	21.11.2025

Сертифікати в наявності, що підтверджують метрологічний статус використаних приладів.

8. Відхилення під час проведення кваліфікації.

При виконанні робіт по кваліфікації відхилень зафіксовано не було.

9. Висновок.

Триколонна центрифуга, виробництва Kiskunmeridian Zrt, модель BVG C 10-A, с/н 131109 встановлений в цеху з виробництва АФІ, в приміщенні отримання екстракту №1 - відповідає критеріям прийнятності відповідно до результатів, отриманих при проведенні наступних випробувань в рамках проведеної кваліфікації функціонування:

OQ-01 Контроль встановлених параметрів

OQ-02 Контроль функціонування елементів керування

OQ-03 Реакція елементів керування на аварійні ситуації

OQ-04 Контроль процедур та інструкцій

OQ-05 Контроль інтерфейсу системи керування

OQ-06 Контроль функції керування рецептами користувача

OQ-07 Контроль прав авторизації

OQ-08 Контроль процедури відновлення системи після збою

OQ-09 Контроль напрямку та швидкості обертання робочих елементів

OQ-10 Випробування навантаження рибофлавіном

OQ-11 Контроль дренажу

OQ-12 Контроль максимального рівня вібрації

OQ-13 Контроль рівня шуму

OQ-14 Контроль точності підрахунку часу

Дозволено перехід на стадію кваліфікації експлуатації.

Кваліфікація функціонування триколонної центрифуги типу BVG C 10-A виконана в повному обсязі.

Для підтримки статусу «Кваліфіковано» технічного об'єкту необхідно передбачити проведення планової рекваліфікації та позапланової рекваліфікації згідно коригувальних заходів відповідно до відхилень.

5.3. Проведення кваліфікація експлуатації (PQ) центрифуги

1.Вступ.

Даний звіт створений в межах кваліфікації експлуатації (PQ) триколонної центрифуги типу BVG C 10-A на основі результатів, що були отримані в ході виконання робіт згідно протоколу. Протокол був розроблений на підставі валідаційного плану «Відділення отримання екстракту».

2. Об'єкт кваліфікації.

Триколонна центрифуга, виробництва Kiskunmeridian Zrt, модель BVG C 10-A, с/н 131109.

Місце розташування – Україна, м. Київ, цех з виробництва АФІ, «Приміщення отримання екстракту №1», клас чистоти «L».

3.Мета кваліфікації.

Отримати документоване підтвердження того, що технічні засоби, системи та обладнання при використанні разом можуть функціонувати ефективно та з відтворюваними результатами на підставі затвердженого методу ведення процесу та специфікації на продукцію.

4.Хід та об'єм робіт з кваліфікації.

Таблиця 5.5

№	Етап	Об'єм робіт	Дата/період	Тривалість
1.	Формалізація процесу кваліфікації обладнання	Розробка протоколу кваліфікації з тест-формами кваліфікаційних випробувань	28.08.2024	6 годин
2.	Проведення кваліфікаційних випробувань	PQ-01 Контроль якісних показників	13.10.2024	10 хвилин
3.	Звітування кваліфікації обладнання	Підготовка звіту з кваліфікації: обробка результатів, формування висновків, опис відхилень, комплектація заповненої документації	16.10.2024	1 година

5.Валідаційна група.

Таблиця 5.6

Відповідальність	Посада	П.І.Б.
Керування валідаційною групою	Начальник відділу валідації	
Розробка протоколу	Інженер з кваліфікації	
Проведення технологічного процесу, кваліфікаційних випробувань, заповнення кваліфікаційної документації	Начальник цеху Інженер цеху Інженер з кваліфікації	
Оформлення звіту	Інженер з кваліфікації	

6.Зведені результати робіт з кваліфікації.

Таблиця 5.7

№	Випробування		Контрольн ий параметр	Критерій прийнятності	Отримані результати	Оцінка результату
	Код	Назва				
1	PQ-01	Контроль якісних показників	Якісні показники згідно специфікації	Показники якості в межах, що встановлені специфікацією.	Показники якості відповідають специфікації.	<input checked="" type="checkbox"/> відпов. <input type="checkbox"/> не відпов.

7.Перелік використаних вимірювальних приладів.

Під час проведення випробувань в рамках кваліфікації експлуатації вимірювальне обладнання не використовувалось.

8.Відхилення під час проведення кваліфікації.

При виконанні робіт по кваліфікації відхилень зафіксовано не було.

9.Висновок.

Триколонна центрифуга, виробництва Kiskunmeridian Zrt, модель BVG C 10-A, с/н 131109 встановлений в цеху з виробництва АФІ, в приміщенні отримання екстракту №1 - відповідає критеріям прийнятності відповідно до

результатів, отриманих при проведенні наступних випробувань в рамках проведеної кваліфікації експлуатації:

RQ-01 Контроль якісних показників.

Кваліфікація функціонування триколонної центрифуги типу BVG C 10-A виконана в повному обсязі.

5.4.Проведення рекваліфікації монтажу (IQ) центрифуги в зв'язку з вдосконаленням

1.Вступ.

Даний звіт створений в межах позапланової рекваліфікації монтажу (IQ) триколонної центрифуги типу BVG C 10-A на основі результатів, що були отримані в ході виконання робіт згідно протоколу. Рекваліфікація проводиться на основі впровадження вдосконалення ,що несе за собою зміни конструкції і функціонування центрифуги (додавання гідравлічного приводу).

2. Об'єкт кваліфікації.

Триколонна центрифуга, виробництва Kiskunmeridian Zrt, модель BVG C 10-A, с/н 131109. Гідравлічний привод кришки центрифуги.

Місце розташування – Україна, м. Київ, цех з виробництва АФІ, «Приміщення отримання екстракту №1», клас чистоти «L».

3.Мета кваліфікації.

Документальне підтвердження того, що технічні засоби, системи та обладнання, змонтовані або модифіковані, відповідають затвердженому проекту та рекомендаціям виробника

4.Хід та об'єм робіт з кваліфікації.

Таблиця 5.8

№	Етап	Об'єм робіт	Термін
1.	Формалізація процесу кваліфікації обладнання	Розробка протоколу кваліфікації з тест-формами кваліфікаційних випробувань	2 дні

2.	Проведення кваліфікаційних випробувань	IQ-01 Ідентифікація обладнання	1 година
		IQ-02 Контроль документації	3 години
		IQ-03 Контроль матеріалів що контактують з продуктом	1 година
		IQ-04 Контроль комплектності поставки та правильності монтажу	1 година
		IQ-05 Контроль підключень	1 година
		IQ-07 Контроль калібрування / повірки критичних контрольно - вимірювальних приладів (КВП)	1 година
		IQ-08 Контроль можливості обслуговування при даній виробничій установці	1 година
3.	Звітування з кваліфікації обладнання	Підготовка звіту з кваліфікації: обробка результатів, формування висновків, опис відхилень, комплектація заповненої документації	2 дні

5.Валідаційна група.

Таблиця 5.9

Відповідальність	Посада	П.І.Б.
Керування валідаційною групою	Начальник відділу валідації	
Розробка протоколу	Інженер з кваліфікації	
Проведення технологічного процесу, кваліфікаційних випробувань, заповнення кваліфікаційної документації	Начальник цеху Інженер цеху Інженер з кваліфікації	
Оформлення звіту	Інженер з кваліфікації	

6.Зведені результати робіт з кваліфікації.

Таблиця 5.10

№	Випробування		Контрольний параметр	Критерій прийнятності
	Код	Назва		
1.	IQ-01	Ідентифікація обладнання	Ідентифікація	Відповідність ідентифікації у документації виробника з ідентифікацією на окремих частинах обладнання.

№	Випробування		Контрольний параметр	Критерій прийнятності
	Код	Назва		
2.	IQ-02	Контроль документації	Документація	Наявність необхідного комплексу документації для проведення пуско-налагоджувальних та кваліфікаційних робіт; експлуатації та обслуговування; відповідність вимогам до їх змісту.
3.	IQ-03	Контроль матеріалів що контактують з продуктом	Матеріали що контактують з продуктом	Наявність та актуальність сертифікатів на матеріали, що контактують з продуктом.
4.	IQ-04	Контроль комплектності поставки та правильності монтажу	Комплектність поставки та монтаж	Поставка укомплектована, монтаж без видимих дефектів та відповідно до проектної контрактної документації та вимог користувача.
5.	IQ-05	Контроль підключень	Енергоносії	Приєднання енергоносіїв відповідає вимогам / рекомендаціям виробника та проектної документації.
6.	IQ-07	Контроль калібрування / повірки критичних контрольно - вимірювальних приладів (КВП)	Метрологічна документація	Наявність актуальних свідоцтв, сертифікатів про калібрування / повірки критичних контрольно – вимірювальних приладів (КВП).
7.	IQ-08	Контроль можливості обслуговування при даній виробничій установці	Доступність для обслуговування	Доступність для експлуатаційного та сервісного персоналу, можливість проводити поточний ремонт обладнання.

Примітка. – деталізовані методи проведення кваліфікаційних випробувань наведені у відповідних тест-формах для заповнення результатів.

7.Перелік використаних вимірювальних приладів.

Під час проведення випробувань в рамках кваліфікації експлуатації вимірювальне обладнання не використовувалось.

8.Відхилення під час проведення кваліфікації.

При виконанні робіт по кваліфікації відхилень зафіксовано не було.

9.Висновок.

Триколонна центрифуга, виробництва Kiskunmeridian Zrt, модель BVG C 10-A та доданий гідравлічний привод відповідає критеріям прийнятності відповідно до результатів, отриманих при проведенні випробувань в рамках проведеної рекваліфікації монтажу.

Необхідно провести рекваліфікацію функціонування та експлуатації з внесенням змін . Також потрібне внесення змін в інструкцію по експлуатації та в інструкцію по технічному обслуговуванню триколонної центрифуги типу BVG C 10-A, з урахуванням доданих допоміжних елементів конструкторії. Внесення додаткових технічних операцій в графік планового попереджувального ремонту обладнання, періодичністю раз на рік.

ВИСНОВКИ

Триколонна центрифуга BVG C 10-A є досить надійним обладнанням, однак її конструкція не відповідає сучасним вимогам щодо зручності обслуговування. Полегшити роботу персоналу і скоротити тривалість допоміжних операцій під час розвантаження центрифуги дасть можливість встановлення гідравлічного приводу для піднімання кришки. Також передбачена можливість автоматизованого очищення центрифуги завдяки встановленню в кришку обертової миючої головки щілинного типу.

Моделювання роботи елементів центрифуги показало, що вони мають достатній запас міцності. Максимальні значення тиску (0,718 МПа) спостерігаються поблизу стінок барабана і навіть з урахуванням ослаблення обичайки наявністю отворів не створюють загрозових умов для функціонування центрифуги.

Аналіз напружено-деформованого стану гальмівної стрічки засвідчує, що її конструкція витримує прикладені навантаження (гальмівний момент) з коефіцієнтом запасу міцності 1,6.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Житнецький ІВ.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Разробник документа</i> Щеголев А.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> Висновки	23-1520.MP.02.000.P3			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/1

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Україні потрібна сильна фармацевтична галузь. *Урядовий Кур'єр*. URL: <https://ukurier.gov.ua/uk/articles/ukrayini-potribna-silna-farmaceutichna-galuz/> (дата звернення: 04.01.2024).
2. Екстракція рослинної сировини: Навчальний посібник / Ю. І. Сидоров, І. І. Губицька, Р. Т. Конечна, В. П. Новіков. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2008. 336 с.
3. Мирончук, В. Г. Оцінка середньої товщини шару міжкристального розчину на полідисперсних кристалах цукру в процесі центрифугування цукрових утфелів [Електронний ресурс] / В. Г. Мирончук, В. В. Підгорний, Б. В. Кузьменко // Харчова промисловість. – 2014. – Вип. 15. – С. 85–88.
4. Центрифугування цукрових утфелів. Теорія і практика : монографія / М. М. Пушанко, В. А. Лагода, Н. М. Пушанко, А. Ю. Гуменюк. – Київ : Вища освіта, 2010. – 439 с.
5. Вплив конструктивних особливостей центрифуг BW-1500S та ФПН1251Т-01 на процес центрифугування та якість цукру / О. О. Серьогін, В.М. Боровий, К. В. Пивоваров та ін. // Цукор України. – 2011. – № 4 (64). – С. 43–48.
6. Онищук О.О., Кормош Ж.О. Процеси та апарати хімічних виробництв: курс лекцій / Онищук Оксана Олександрівна, Жолт Олександрович Кормош. - Луцьк : Вежа-Друк, 2020 – 155 с.
7. Устаткування галузі та основи проектування: Підручник для студентів хіміко-технологічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Волошин М.Д., Шестозуб А.Б., Гуляєв В.М. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2004, – 371 с.

<i>Відповідальна організація НУХТ</i>	<i>Технічне узгодження Житнєцький ІВ.</i>	<i>Вид документа Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа НУХТ</i>	<i>Разробник документа Щеголев А.С.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i>		<i>23-1520.MP.02.000.P3</i>			
	<i>Документ затверджено Гавда ОМ.</i>	<i>Список використаних джерел</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова UA</i>	<i>Аркуш 1/3</i>

8. Центрифуга фільтруюча безперервної дії: пат. 1731 Україна : B04B 3/00. № 2002065201 ; заявл. 25.06.2002 ; опубл. 15.04.2003, Бюл. № 4. 8 с.

9. Центрифуга фільтруюча безперервної дії : пат. 128716 Україна : B04B 3/00. № u 2018 01736 ; заявл. 21.02.2018 ; опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19. 5 с.

10. Production - Rousselet Robatel (en). *Rousselet Centrifugation et robatel Inc - Fabricant de centrifugeuses industrielles et de laboratoires - Rousselet Robatel.* URL: <https://www.rousselet-robatel.com/en/sector-of-activities/solid-liquid-sepration/production.html> (date of access: 27.01.2024).

11. Хімічна технологія та обладнання підприємств. Навчальний посібник для студентів спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання / О.Д. Клименко, Е.Л.Селезньов. – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – 136 с.

12. Процеси та обладнання хімічної технології – 3. Гідромеханічні та механічні процеси: практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньої програми «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Я.М. Корнієнко, С.С. Гайдай – Електронні текстові данні (1 файл: 6,73 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2023. – 210 С.

13. Simulation of the stress-strain state and determination of the natural frequency of the laboratory centrifuge shaft vibration using ANSYS and KISSOFT / I. Lavrenko et al. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science.* 2023. Vol. 9, no. 3. P. 1–9. URL: <https://doi.org/10.23939/ujmems2023.03.001> (date of access: 12.01.2024).

14. Disconzi F. P., Borghi F. T. Modeling, simulation, and optimization of the centrifugal separation of a microalgae-culture medium mixture. *Biomass and Bioenergy.* 2020. Vol. 143. P. 105871. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105871> (date of access: 12.02.2024).

15. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник/ С.І. Пустюльга, В.Р. Самостян, Ю.В. Клак – Луцьк: Вежа, 2018.
16. Мостенська Т. Збалансування продовольчого ринку в контексті забезпечення продовольчої безпеки: монографія / Т. Мостенська. – Київ: Кондор-Видавництво, 2015. – 283 с.
17. Скопенко Н.С. Інтеграційні процеси в харчовій промисловості України: сучасна концепція розвитку: монографія / Н.С. Скопенко, Т.Л. Мостенська. – Київ: Кондор, 2015. – 392 с.
18. Сухенко Ю. Г. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв: підручник / Ю.Г. Сухенко, О.А. Литвиненко, В.Ю. Сухенко. – Київ: НУХТ, 2010. – 547 с.
19. 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.
20. 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.
21. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин [Текст] : Підруч. / В. Т. Павлище. — К. : Вища шк., 1993. — 556 с. — рекомендовано кафедрою. — ISBN 5-11-004099-1.
22. Чепелюк О.О. CALS в галузевому машинобудуванні [Електронний ресурс]: конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітньо-професійних програм «Інжиніринг харчових виробництв», «Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв», «Інжиніринг поліграфічних та пакувальних виробництв» денної та заочної форм навч. / уклад. О.О. Чепелюк. – К.: НУХТ, 2022.