

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

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

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
Сергій БЛАЖЕНКО
(ім'я та прізвище)
«__» _____ 20__ р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри МАХФВ
Олександр ГАВВА
(ім'я та прізвище)
«__» _____ 20__ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми Інжиніринг фармацевтичних та
біотехнологічних виробництв
на тему: Удосконалення процесу та обладнання
для гранулювання компонентів твердих лікарських форм

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЗОФ-2-2М

Коротун Лілія Олегівна
(прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Керівник Гавва Олександр Миколайович
(прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Консультанти _____ (підпис)
_____ (прізвище та ініціали) _____ (підпис)
_____ (прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Рецензент Людмила КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА
(прізвище та ініціали) _____ (підпис)

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

Здобувач _____
(підпис)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім.акад. І.С. Гулого
Кафедра Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв
Освітній ступінь Магістр
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(код і назва)
Освітньо-професійна програма Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАХФВ
Олександр ГАВВА
«___» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Коротун Лілії Олегівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення процесу та обладнання для гранулювання компонентів твердих лікарських форм

керівник роботи Гавва Олександр Миколайович, д.т.н, проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 08 листопада 2023 р. №918-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 01.02.2024

3. Вихідні дані до роботи: Об'єкт розробки – змішувач-гранулятор. Науково-технічна література. ДСТУ. Матеріали переддипломної практики

4.Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Анотація. Вступ. Аналіз існуючого обладнання та технологій Технічне завдання на проектування Теоретичні і експериментальні дослідження Будова та принцип роботи обладнання Розрахункова частина. Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апарату. Життєвий цикл обладнання. Заходи з охорони праці та техніки безпеки. Техніко-економічне та соціальне обґрунтування Висновки.

Список використаної літератури

1. Загальний вигляд (1 арк);

2. Лист модернізації (1 арк);

3. Вузли (3 арк.)

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Анотація. Вступ.</i>	<i>10.11.2023</i>	<i>Виконано</i>
2.	<i>Аналіз існуючого обладнання та технологій</i>	<i>15.11.2023</i>	<i>Виконано</i>
3.	<i>Технічне завдання на проектування</i>	<i>30.11.2023</i>	<i>Виконано</i>
4.	<i>Теоретичні і експериментальні дослідження</i>	<i>05.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
5.	<i>Будова та принцип роботи обладнання</i>	<i>10.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
6.	<i>Розрахункова частина</i>	<i>15.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
7.	<i>Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апарату</i>	<i>18.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
8.	<i>Життєвий цикл обладнання</i>	<i>22.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
9.	<i>Заходи з охорони праці та техніки безпеки</i>	<i>26.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
10.	<i>Техніко-економічне та соціальне обґрунтування</i>	<i>05.01.2024</i>	<i>Виконано</i>
11.	<i>Висновки. Список використаної літератури</i>	<i>12.01.2024</i>	<i>Виконано</i>
12.	<i>Креслення</i>	<i>01.02.2024</i>	<i>Виконано</i>

Здобувач

_____ (підпис)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Лілія КОРОТУН

_____ (ім'я та прізвище)

Олександр ГАВВА

_____ (ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення процесу та обладнання для гранулювання компонентів твердих лікарських форм.

Для виявлення недоліків апаратів даного типу було проведено аналіз технічної інформації. В результаті дослідження стало зрозуміло, що проблеми, пов'язані з гранулоутворенням, в основному обумовлені конструктивними особливостями обладнання. Вирішено вдосконалити роботу змішувача-гранулятора за допомогою змін у конструкції робочих органів калібрувального вузла.

Новизна роботи полягає у впровадженні технічних рішень, а саме: заміна вузла, що включає привід, робочу ємність, знімне сито, систему ножів та вивантажувальне дно, на пристрій для отримання і калібрування грануляту. В якості робочих органів використовується система роликів з лопатками і плоским круглим знімним ситом для продавлювання грануляту та віброситом для класифікації отриманого грануляту.

Система роликів, які здійснюють обертальний рух по периметру сита, забезпечує краще використання поверхні сита, зменшуючи час калібрування та енерговитрати. Вібросито дозволяє розділяти гранулят на сформовані гранули і порошкоподібну таблетмасу, що сприятиме повторному використанню для отримання якісних гранул.

Ключові слова: гранулювання, гранулятор, змішувач, тверді лікарська форма, удосконалення.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Гавва О.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа		
Власник документа НУХТ	Розробник документа Коротун Л.О.	Назва, додаткова назва Анотація	22-2150.MP.103000.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/

ABSTRACT

The purpose of the qualification work is to improve the process and equipment for granulation of components of solid dosage forms.

An analysis of technical information was carried out to identify the shortcomings of devices of this type. As a result of the study, it became clear that the problems associated with granulation are mainly caused by the design features of the equipment. It was decided to improve the work of the mixer-granulator by means of changes in the design of the working bodies of the calibration unit.

The novelty of the work consists in the implementation of technical solutions, namely: replacement of the unit, which includes a drive, working capacity, removable sieve, knife system and unloading bottom, with a device for receiving and calibrating granulate. A system of rollers with paddles and a flat round removable sieve for pressing the granulate and a vibrating sieve for classifying the obtained granulate are used as working bodies.

A system of rollers that rotate around the perimeter of the sieve ensures better use of the sieve surface, reducing calibration time and energy costs. The vibrating sieve allows you to separate the granulate into formed granules and powdery tablet mass, which will facilitate reuse to obtain high-quality granules.

Key words: granulation, granulator, mixer, solid dosage form, improvement

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Аналіз існуючого обладнання та технологій.....	8
2. Технічне завдання на проектування	17
3. Теоретичні і експериментальні дослідження	19
4. Будова та принцип роботи обладнання	37
5. Розрахункова частина	45
9. Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апарату	71
10. Життєвий цикл обладнання	76
11. Заходи з охорони праці та техніки безпеки.....	80
12. Техніко-економічне та соціальне обґрунтування	89
Висновки.....	92
Список використаної літератури	93
Додатки.....	92

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Гавва О.М.	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Коротун Л.О.	Назва, додаткова назва Зміст	22-2150.МР.103000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/

ВСТУП

Основним напрямком в галузі технічної політики вітчизняних виробників є реконструкція та технічне переоснащення існуючих виробничих потужностей та створення нових, що відповідають вимогам міжнародних стандартів ISO і правилам належної виробничої практики лікарських засобів GMP. Підприємства вкладають значну частину прибутку у розвиток і модернізацію виробництва. Успішні фірми визначають якість та надійність як свої головні пріоритети у системі оцінки техніки та можливостей виробника, і ці аспекти відіграють ключову роль в ринкових відносинах.

Масове виробництво лікарських засобів вимагає застосування високопродуктивного обладнання, яке може бути використане в потокових автоматизованих лініях. Одним із таких пристроїв є змішувач-гранулятор. У фармацевтичній промисловості цей тип обладнання проводить різноманітні гідромеханічні та масообмінні процеси в різних середовищах, таких як розчини, емульсії та суспензії. Робочі середовища можуть бути агресивними, пожежонебезпечними чи токсичними. Процеси зазвичай відбуваються при підвищених температурах, під тиском або в вакуумі. Конструкція апарату повинна забезпечувати його стабільну роботу в заданому технологічному режимі протягом визначеного терміну служби.

У магістерській роботі були внесені зміни до конструкції вузла калібрування гранулятора, що призвело до поліпшення якості грануляту, зниження енергетичних витрат та покращення використання вихідної таблетсуміші.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Гавва О.М.	Вид документа <i>Пояснювальна записка</i>		Статус документа	
Власник документа НУХТ	Розробник документа Коротун Л.О.	Назва, додаткова назва Вступ		22-2150.MP.103000.ПЗ	
	Документ затверджено Гавва О.М.				

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

Способи гранулювання у таблетковому виробництві

При незадовільних технологічних властивостях порошкоподібних мас, а саме - поганій пресованості і сипкості, для забезпечення необхідної якості таблеток необхідно заздалегідь провести грануляцію. Гранулювання — цілеспрямоване укрупнення частинок, тобто - процес перетворення порошкоподібного матеріалу в зерна певної величини., що необхідно для: 1) покращення сипкості таблетованої суміші, 2) поліпшення пресованості, 3) запобігання розшаруванню, 4) забезпечення точності дозування, 5) зменшення запиленості робочих приміщень.

Сухе гранулювання застосовується в тих випадках, коли лікарські порошки в присутності води й у процесі сушіння змінюють свої властивості або розкладаються, або для зволоження потрібна значна кількість дорогого розчинника. Цей метод заснований на пресуванні порошку у формі пластин або брикетів з наступним їхнім здрібнюванням до гранул потрібного розміру. Такий метод використовують для гранулювання термолабільних речовин і речовин, що розкладаються в присутності води. Зчеплення часток речовин досягається шляхом додавання невеликих кількостей сполучних агентів (поліетиленгліколь, полівінілпірролідон і ін.) та дії високого тиску. Звичайно сухе гранулювання виробляється з використанням горизонтальних металевих валків, стислих пружинами або гідравлічним поршнем. Матеріал продавлюється між ними у вигляді безперервної смужки, що потім подрібнюється до одержання гранул потрібної величини.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Гавва О.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа		
Власник документа НУХТ	Розробник документа Коротун Л.О.	Назва, додаткова назва Аналіз існуючих обладнання та технологій	22-2150.MP.03.001.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/9

Для сухого гранулювання використовується також черв'ячний екструдер, у якому матеріал продавлюється через отвори й розламується на шматки, і валковий екструдер, у якому матеріал стискується між валками-роліками й з великою силою продавлюється через отвори.

Гранулювання необхідна для поліпшення сипкості таблетованої маси. Це досягається значним зменшенням сумарної поверхні частинок, яке відбувається під час їх злипання в гранули. Такий процес сприяє зменшенню тертя між частинками під час руху.

Розшарування порошкоподібної суміші відбувається через різницю у розмірах частинок та питомій густині лікарських і допоміжних компонентів. Це розшарування може відбуватися при різних вібраціях таблеткової машини або її лійки.

Розшарування таблетованої маси є небезпечним процесом, оскільки може спричинити виділення компонента з найбільшою питомою густиною з суміші та порушення дозування. Гранулювання є ефективним засобом запобігання цьому, оскільки в процесі грануляції відбувається злипання частинок різного розміру і питомої густини. Утворений гранулят, за умови однакових розмірів, набуває стабільної насипної маси.

Міцність гранул також важлива, оскільки міцні гранули менше схильні до стирання і мають кращу сипкість. Таким чином, гранулювання вирішує не лише проблему сипкості, але й покращує міцність та рівномірність розмірів гранул. Способи грануляції поділяють на типи: 1) суха гранулювання , або гранулювання розмеленням; 2) волога гранулювання , або гранулювання продавленням; 3) структурна гранулювання . 4). Гранулювання плавленням. 5). Сферонізація гранул.

Обладнання для гранулювання

Відцентровий змішувач-гранулятор . Принцип функціонування полягає в тому, що гранулююча рідина поступає через патрубок 4 і рівномірно розподіляється по поверхні ротора 2. Сипкий матеріал подається через патрубок 5, попадає на шар рідкого компоненту і під впливом відцентрових сил ефективно змішується з ним. Є можливість подачі кількох сипких та рідких компонентів, і в такому випадку патрубки для сипких матеріалів розташовані по колу для оптимального розподілу компонентів у суміші. Готова суміш подається до конуса 6, де під впливом відцентрових сил проходить через отвори, диспергується і захоплюється потоком повітря (газу), що надходить через патрубок 3. Утворені гранули відкладаються в конічній частині конуса 9, а повітря (газ) видаляється з апарату через сітку 7. Розмір отриманих гранул залежить від режиму роботи ротора, напору повітря та геометрії перфорації конуса.

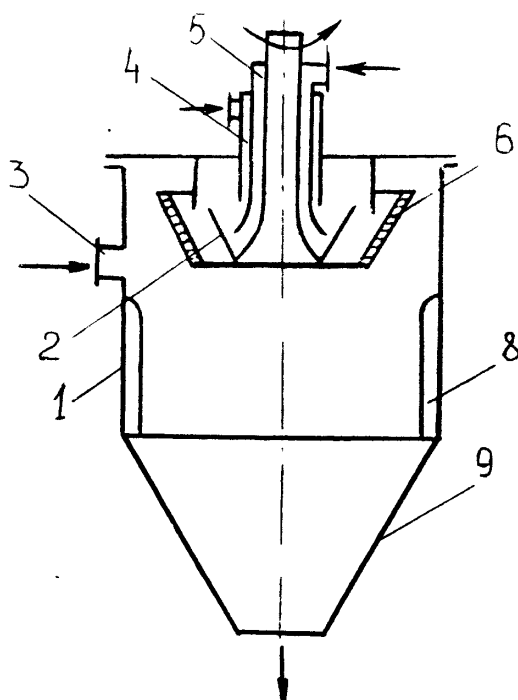


Рис 1.1. Відцентровий змішувач-гранулятор: 1-корпус; 2-ротор; 3-патрубок подачі повітря; 4,5-канали вводу компонентів; 6-перфорований усічений конус; 7-сітка; 8-екран; 9-накопичувач готового продукту

Високошвидкісний змішувач-гранулятор представляє собою герметичний контейнер 7 з полірованою поверхнею та закругленим днищем. У контейнері розташовані дві мішалки: центральний скребок 4, який активується через привідну втулку 2 та призначений для забезпечення регульованого руху продукту; і друга мішалка 8 для руйнування частинок неправильної форми. Обидві мішалки працюють із регульованою частотою обертання, причому частота обертання другої мішалки приблизно в 10 разів вища, ніж у першої. Апарат здійснює змішування та гранулювання. Змішування забезпечується енергійним примусовим коловим перемішуванням часток та їх взаємодією. Процес перемішування для отримання однорідної за складом суміші триває 3-5 хвилин.

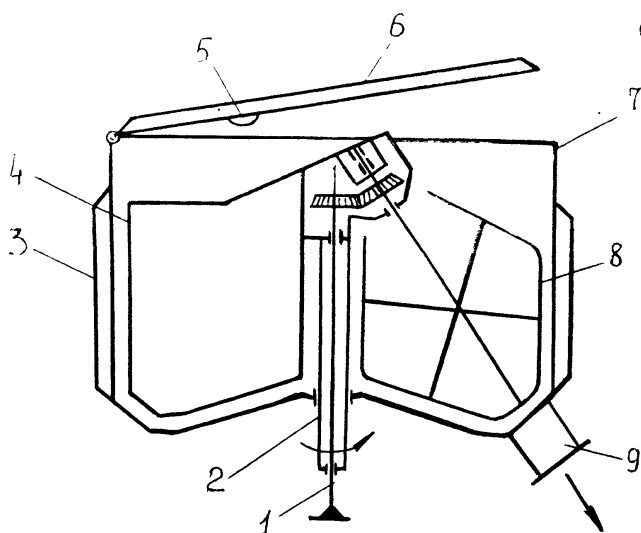


Рис. 1.2. Високошвидкісний змішувач-гранулятор: 1-центральна вісь; 2-приводна втулка; 3-водяна сорочка; 4-обертальний скребок; 5-система блокування кришки; 6-кришка; 7-корпус; 8-мішалка; 9-розвантажувальний клапан

При вологому гранулюванні гранулююча рідина подається в змішувач до попередньо змішаного порошку. Залежно від складу суміші відбувається перемішування протягом 3-10 хвилин. Швидкість обертання мішалок підбирається для отримання грануляту з необхідною дисперсією. Сорочка 3 відводить тепло, виникле під час перемішування.

Після завершення процесу гранулювання відкривається завантажувальний клапан 9, і готовий продукт виливається з контейнера протягом 30-90 секунд для подальшої сушки в киплячому (псевдозрідженому) шарі.

Універсальна перемішувальна та грануляційна установка DIOSNA. Принцип роботи полягає в тому, що на дні кадки 1 з відкидною кришкою 2 рухається технологічний різцевий змішувач зі швидкістю 4-8 м/с. У нижній частині кадки, з протилежного патрубку 8, розташований дезінтегратор (гвинт із ножами), який розмелює перемішаний матеріал в гранулят. Готовий продукт виводиться через бічний патрубок, що керується пневматикою. На кришці розміщені повітряний фільтр, контрольний отвір (захищений ґратами) та бак для гранулюючої рідини. Кришка обладнана запобіжником проти відкривання під час роботи установки.

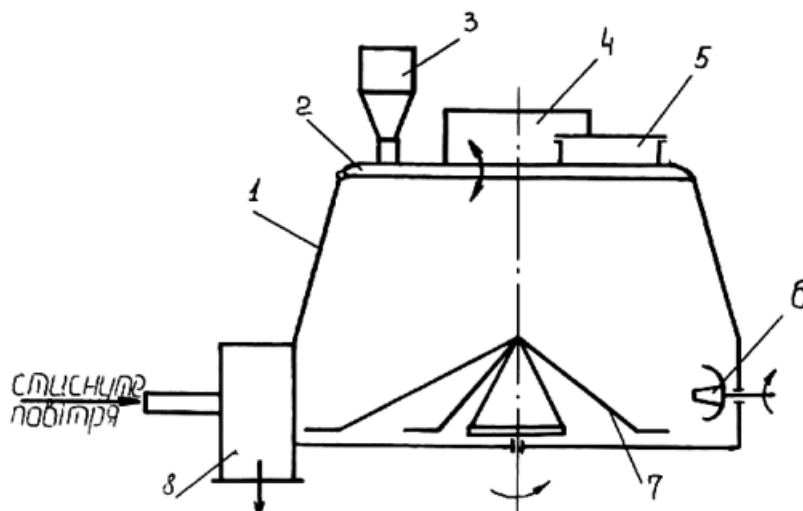


Рис.1.3. Універсальна перемішувальна та грануляційна установка DIOSNA:

1-універсальна циліндрична кадка; 2-відкидна кришка; 3-ємність грануляційної рідини; 4 -повітряний фільтр; 5-маніпуляційний отвір (для обслуговування); 6-дезінтегратор; 7-різцевий змішувач; 8-патрубок виходу грануляту.

Процес мокрої грануляції триває 6-10 хвилин, включаючи 2 хвилини на перемішування (гомогенізацію) і 4-8 хвилин на грануляцію.

Вирішальним етапом гранулювання є отримання гранул відповідної якості, структури та форми на калібруючому обладнанні. Змішувач-гранулятор EOTO G750 оснащений калібратором Dompl, який працює за принципом того, що після перемішування лопатками однорідна маса потрапляє в робочий простір калібратора. Тут, завдяки обертанню лопаток, відбувається проштовхування маси через фільтри похилої решітки.

Спостереження за роботою гранулятора та огляд необхідного обладнання для гранулювання дають нам зрозуміння, що вказаний гранулюючий елемент не забезпечує оптимальної продуктивності. Це пов'язано з тим, що гранулююча суміш, потрапляючи на решітку, нерівномірно розподіляється по робочій поверхні. Накопичуючись шарами на ножі через їхню конструкцію та відносне розміщення одного відносно одного до решітки, виникає необхідність механічного очищення фільтрів решітки від гранулюючої суміші. Це призводить до збільшення втрат часу на процес гранулювання і, відповідно, до зменшення коефіцієнта корисної дії всієї лінії.

Крім того, існує ймовірність того, що не вся гранулююча суміш зконтактує з волого насичуючим реагентом і залишиться не зволоженою. Це може призвести до утворення стовпців пилу під час таблеткування. Гранулюючий матеріал такого типу потрібно негайно відокремити від еталонного грануляту і направити на повторну грануляцію.

Змішувач-гранулятор представляє собою горизонтальний трубоподібний корпус з фіксованою конструкцією, в якому розташована осьова обертальна вала. Патрубки для завантаження початкової суміші та вивантаження готових гранул розташовані з протилежних сторін корпусу.

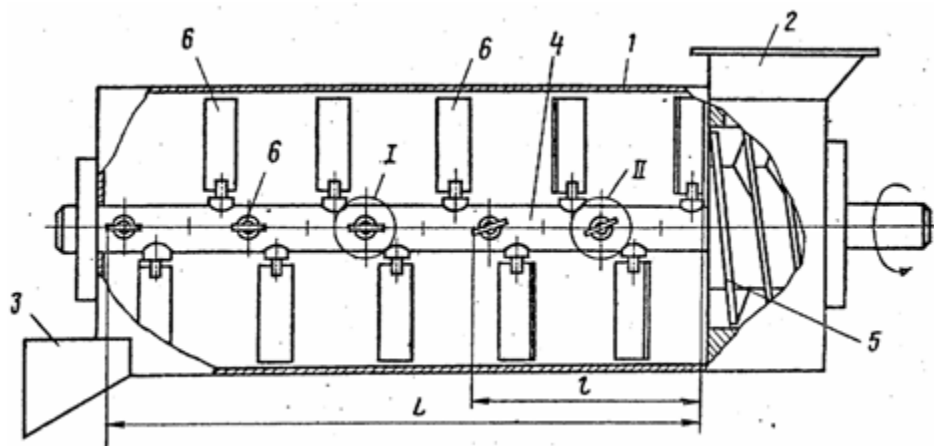


Рис. 2.6. Змішувач-гранулятор: 1 - корпус; 2,3 - патрубки завантаження і вивантаження; 4- вал; 5- шнек; 6- лопатки.

На осьовому валу закріплені плоскі лопаті прямокутної форми, розташовані радіально. Однак, відзначається тим, що для підвищення однорідності гранулометричного складу отриманих гранул, частина лопатей розташована на відстані 0,2-0,3 від довжини корпусу від завантажувального патрубку. Крім того, ця частина лопатей встановлена під кутом між площиною лопатки і площиною поперечного перетину корпусу, який рівний 100-110 градусам.

Роторно-лопатевий гранулятор складається з вертикального циліндричного корпусу, обладнаного завантажувальним патрубком. Усередині корпусу розташований вал із змішувачими лопатями та еластичною лопаттю, яка взаємодіє з сітчастим днищем. Однак відрізняється тим, що з метою підвищення продуктивності гранулювання, гранулятор в основному обладнаний додатковими лопатями, закріпленими в нижній частині вала у вигляді пластин. Ці пластини встановлені під кутом від 20 до 70 градусів до горизонту, із нахилом в бік обертання.

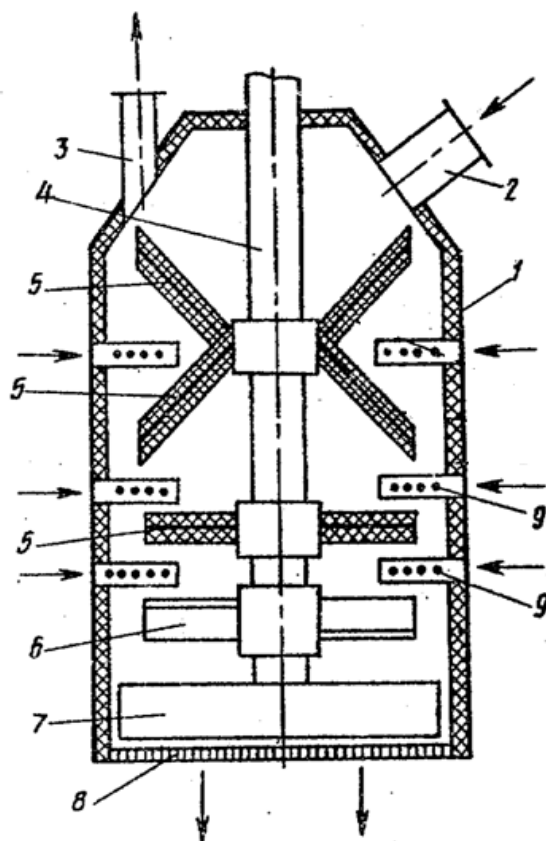


Рис. 2.7. Роторно лопатевий гранулятор: 1- корпус; 2-завантажувальний патрубок; 3- патрубок для відведення повітря; 4- вал; 5- лопаті; 5,6-лопаті; 7- лопатка; 8- сітчасте днище; 9- перфоровані патрубки для подачі повітря.

Додатково, гранулятор оснащений радіальними, перфорованими трубками для подачі повітря, які розташовані між лопатями і закріплені на внутрішній поверхні корпусу. Для виходу повітря встановлено патрубок у верхній частині корпусу.

Також важливо відзначити, що лопаті і внутрішня поверхня гранулятора футеровані корундовою керамікою, що сприяє підвищенню зносостійкості та тривалості роботи обладнання.

Принцип роботи тарілчастого гранулятора передбачає подачу попередньо змішаних компонентів в його систему. Зволожуючий агент розпилюється над матеріалом або вводиться під його шар у необхідній кількості для агломерації дрібних частинок. Ці дрібні частинки направляються скребком в зону зволоження, де відбувається агломерація.

Крупні агломеровані частинки переміщуються до поверхні глибокого шару в нижній частині тарілки і вивантажуються через борт, тоді як дрібні частинки залишаються в шарі для подальшої агломерації. Таким чином, гранулятор одночасно відбуває і класифікацію гранул.

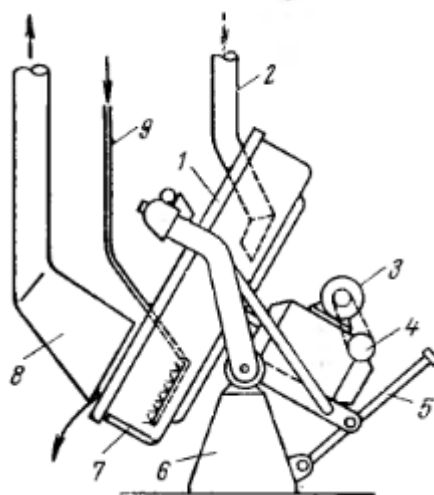


Рис. 2.11. Тарілчастий гранулятор: 1 — тарілка, що обертається; 2 — подача сипких компонентів; 3 — електродвигун; 4 — редуктор; 5 — регулятор кута нахилу тарілки; 6 — опорна стійка; 7 — ножі для очищення дна і бортів тарілки; 8 — труба для видалення пилу; 9 — розподільник рідких компонентів.

При належній пластичності тонкодрібненого зволоженого матеріалу його обливання в неглибокому шарі дрібних частинок призводить до утворення сферичних гранул. Цей процес аналогічний тому, що відбувається в обертальному горизонтальному барабані за подібних умов.

Конструкція та продуктивність тарілчастих грануляторів можуть різнитися, і їхній вибір залежить від заданої потужності технологічної лінії і типу отриманого продукту, такого як добриво чи інший матеріал.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ

Кінцевим етапом гранулювання є отримання гранул певного розміру на калібруючому обладнанні. Змішувач-гранулятор ROTO F600 оснащений калібратором Romil, який функціонує наступним чином: після перемішування однорідна маса потрапляє в ємність калібратора, де через рух ножів відбувається продавлювання суміші через отвори конічного сита.

Проведений аналіз роботи гранулятора та огляд існуючого гранулюючого обладнання вказують на те, що дана грануляційна система не забезпечує необхідну продуктивність. Це обумовлено тим, що гранулят, потрапляючи на сито, нерівномірно розподіляється по його поверхні та налипає на ножі через особливості їх конструкції та взаємне розміщення. Це призводить до проблеми очищення отворів сита матеріалом, що відбувається, що призводить до збільшення часових втрат на процес грануляції та, відповідно, до зменшення ефективності роботи і додаткових операцій.

Крім того, існує ймовірність того, що не вся суміш взаємодіє зі зволожувачем і залишається сухою порошкоподібною масою, що сприяє утворенню пилу під час таблетування. Таку суміш рекомендується відділити від якісного грануляту і піддати повторному гранулюванню.

Отже, основним завданням на проектування є покращення якості вихідного грануляту, а саме:

- одержання таблетуючої суміші однакового гранулометричного складу;
- зменшення кількості допоміжних операцій;
- запобігання запиленню;
- підвищення здатності до таблетування;
- зменшення кількості браку;
- зниження електроспоживання;

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Гавва О.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Коротун Л.О.	Назва, додаткова назва Технічне завдання на проектування	22-2150.MP.03.002.ПЗ				
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2	

- покращення степені використання вихідної таблетуючої суміші;
- зменшення ймовірності контамінації при виконанні допоміжних й транспортних операцій.

Для вирішення наведених завдань рекомендується провести модернізацію шляхом заміни робочих органів вузла калібрування та встановлення додаткового обладнання для ефективного розділення отриманого продукту на порошкоподібну суміш та якісний гранулят.

Модернізація може включати в себе вдосконалення конструкції ножів та сита для забезпечення рівномірного розподілу грануляту, запобігання налипанню матеріалу та полегшення процесу очищення. Також важливо розглянути можливість використання новітніх технологій або матеріалів, що покращують функціональність цього вузла.

Для розділення отриманого продукту рекомендується встановити спеціалізоване обладнання, яке здатне ефективно відділяти порошкоподібну суміш від якісного грануляту.

Такий підхід до модернізації сприятиме підвищенню продуктивності, поліпшенню якості грануляції та зменшенню втрат часу на процес очищення, сприяючи взагалі покращенню ефективності роботи обладнання для гранулювання.

РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНІ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Теоретичні дослідження

Гранулювання - це комплекс фізико-хімічних та фізико-механічних процесів, спрямованих на формування частинок з певними розмірами, формою, структурою і фізичними властивостями. Узагальнено, процес гранулювання включає такі технологічні етапи: підготовка початкової сировини, дозування і змішування компонентів; сам процес утворення гранул (агломерація, напластовування, кристалізація, ущільнення і т. д.); формування структури (сушіння, термостатування, полімеризація і т. д.); сортування (розділення частинок за розміром) і подрібнення крупних фракцій. Перемішування відіграє важливу роль у процесі гранулювання, оскільки рівномірне розподілення лікарської речовини по об'єму таблетувальної суміші є ключовим аспектом. У зв'язку з тим, що шар матеріалу неоднорідний і містить частинки різних розмірів, системи описуються статистичними методами. Гранулометричний склад продукту визначається шляхом спільного розв'язання рівнянь швидкості росту окремих частинок та розподілу гранул у пристрої протягом певного часу.

Для полідисперсного матеріалу при експоненціальному законі росту частинок та ідеальному перемішуванні в шарі, гранулометричний склад може бути розрахований враховуючи розподіл розмірів частинок:

$$F(d_i) = \sum_{k=1}^{k=n} F(d_0, d_i) \cdot P_k$$

$$F(d_i, d_0) = 1 - \exp \left[\frac{-3 \cdot (Q_M + Q_K)}{K \cdot Q_K \cdot \ln d_i / d_0} \right]$$

де d_0, d_i – початковий та поточний діаметри частинок суміші відповідно; Q_M ,

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Гавва О.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Коротун Л.О.	Назва, додаткова назва Теоретичні і експериментальні		22-2150.MP.03.003.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/18

Q_K – витрати матеріалу і зволожувача; K – коефіцієнт гранулоутворення; P_K – вміст “к-тої” фракції в суміші.

Коефіцієнт K грає ключову роль у визначенні характеру процесу гранулювання та показує, яка частка від введеної речовини з рідкою фазою розподіляється на поверхні частинок:

$K < 1$ - це вказує на те, що лише частина введеної рідини розподіляється на поверхні частинок. У такому випадку відбувається утворення нових частинок, відомих як центри грануляції. Процес грануляції в даному випадку характеризується формуванням нових частинок.

$K > 1$: - це свідчить про те, що більша частина рідини або розпилення розподіляється на поверхні частинок. Такий сценарій сприяє агломерації частинок, де вони об'єднуються в більші структури. Цей процес відомий як агломерація.

$K = 1$ - це означає, що рідини повністю розпилюється на поверхні частинок. В цьому випадку відбувається процес грануляції з нормальним ростом, де розпилення рідини рівномірно розподіляється на поверхні частинок, сприяючи стабільному утворенню гранул.

Отже, значення коефіцієнта K визначає, як відбувається сам процес грануляції - чи це формування нових частинок, агломерація частинок чи нормальний ріст гранул.

Так, фізичну модель процесу вологої грануляції можна уявити як послідовність елементарних процесів, які спільно визначають кінцевий результат. Давайте розглянемо ці елементарні процеси більш детально:

Приведення в рух частинок за допомогою перемішувачів пристроїв:

В цьому етапі елементи матеріалу активно перемішуються та рухаються під впливом спеціальних перемішувачів пристроїв. Це допомагає забезпечити рівномірне розподіл рідини та інших компонентів серед частинок.

Розподілення рідкої фази по поверхні частинок: рідка фаза, яка зазвичай є розчинником, розподіляється рівномірно по поверхні частинок, що створює сприятливі умови для подальшого гранулювання.

Кристалізація розчинів на поверхні частинок і збільшення розміру: розчини можуть кристалізуватися на поверхні частинок, що призводить до їх збільшення за рахунок осадження кристалів на них.

Стирання частинок і утворення пилової фракції: В процесі грануляції може виникнути ефект стирання частинок, що може призвести до утворення пилової фракції. Це може бути небажаною дією, яку слід враховувати та контролювати.

Зміна (стабілізація) дисперсного складу частинок: процес грануляції також може включати зміну дисперсного складу частинок, яка може бути досягнута шляхом подрібнення великих гранул (безперервний процес) або введення нових центрів грануляції ззовні (періодичний процес).

Ці елементарні процеси об'єднуються в комплексний процес вологої грануляції, де взаємодія між ними визначає кінцеві характеристики та якість отриманих гранул. Контроль кожного етапу є важливим для досягнення бажаного результату в процесі грануляції.

Для математичного опису процесу гранулювання прийнято такі припущення:

- рух частинок в апараті підлягає умові ідеального змішування

$$\frac{\partial c_{вих}}{\partial \tau} = \frac{V_c}{V} (c_{вх} - c_{вих}) ;$$

- зрошення окремої частинки пропорційно її поверхні (при цьому збільшення її розмірів відбувається тільки за рахунок тієї частки викристалізованого матеріалу, що залишився на поверхні гранули після стирання), тобто збільшення розмірів частинки здійснюється тільки за рахунок поверхневого зростання, але не агломерації; щільність зрошення

поверхні частинок у шарі, кг.вологи/(м²·год.), або питоме навантаження шару, що перемішується, за вологою:

$$a_f = \frac{W}{\sum f_{III}}$$

Сумарна площа поверхні шару, м² визначається:

$$\sum f_{III} = \frac{6}{d_e} \cdot \frac{F}{\rho_T} \cdot \frac{\Delta P_{III}}{g}$$

де ρ_T – щільність твердих частинок у шарі матеріалу, $\rho_T = 500$ кг/м³ (за н.у.);
 g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с²; d_e – еквівалентний діаметр частинок у шарі, мм; ΔP_{III} – гідравлічний опір шару; F – площа перерізу апарата, м².

- витрати вихідного розчину, що подається в апарат на гранулювання, є постійними протягом процесу W ;
- маса частинок у шарі підтримується постійною шляхом вивантаження частини матеріалу з апарату, в стаціонарному процесі проводиться селективне вивантаження G_U .

3.2. Експериментальні дослідження

Фізико-механічні властивості сипкої суміші грають важливу роль у процесі гранулювання. Дослідження цих властивостей дозволяє створювати теоретичні основи та науково обґрунтовані методи для конструювання технологічного обладнання та вибору оптимальних режимів роботи.

Фізико-механічні характеристики є об'єктивними критеріями якості продукції, і їх вивчення стає надзвичайно важливим для забезпечення ефективності та стабільності процесів гранулювання. Такий підхід дозволяє підвищити контроль виробництва та оптимізувати експлуатаційні режими технологічного обладнання.

Мета досліджень: Вивчення процесів змішування і гранулювання сипких лікарських засобів, та їх вплив на процес виготовлення таблеток.

Дослідження різних факторів, що впливають на фізико-механічні властивості сипких лікарських засобів, дасть можливість сформулювати теоретичні передумови та науково-обґрунтований підхід до конструювання обладнання для гранулювання і вибору оптимальних експлуатаційних режимів його роботи.

На основі мети поставлені такі **задачі досліджень**:

1. Розробити методикау досліджень та створити експериментальну установку.
2. Проаналізувати математичні моделі, які описують процес змішування і гранулювання при необхідності удосконалити.
3. Виявити залежності різних факторів, які впливають на фізико-механічні властивості сипких лікарських засобів.
4. Надати рекомендації щодо вибору раціональних умов змішування і гранулювання сипких лікарських засобів.
5. Результати досліджень застосувати при розробленні та удосконаленні конструкції змішувача-гранулятора.

Об'єкт досліджень:

Процес калібрування грануляту у змішувачі-грануляторі та властивості сипких компонентів твердих лікарських форм.

Предмети досліджень:

Сипких компоненти твердих лікарських форм до гранулювання, після гранулювання і відсіву.

Методи вимірювання фізико-механічних характеристик грануляту

Загальний принцип дослідження реологічних характеристик матеріалу полягає у визначенні взаємозв'язку між прикладеним зовнішнім навантаженням і створеною ним деформацією зразка. Залежно від виду навантаження, яким можуть бути крутний і згинальний моменти, розтягуюче та стискаюче зусилля, матеріал зазнаватиме різних типів деформацій.

Вивчення фізико-механічних характеристик структурованих систем часто включає дослідження деформацій зсуву, і це обумовлено деякими важливими факторами: простота, поширеність, використання в реальних умовах тощо.

Вимірювання деформацій в режимі розтягу, стиску, або кручення може бути технічно важким завданням, особливо коли матеріал має високу в'язкість чи пружність. Такі труднощі можуть виникати з-за особливостей матеріалів чи їхньої структури.

Фізико-механічні параметри матеріалів не повинні залежати від конструкції або типу використовуваного приладу, за умови, що матеріал перебуває в однорідно-напруженому стані. Це означає, що швидкості зсуву і напруження повинні залишатися постійними в усьому об'ємі досліджуваного зразка.

Сипучість матеріалів є складною характеристикою, що залежить від різних факторів, таких як щільність, гранулометричний склад, форма і стан поверхні частин. Для оцінки сипучості матеріалів використовують характеристики, такі як кут природнього нахилу та коефіцієнт внутрішнього тертя.

Кут природнього нахилу - це кут нахилу твірного конуса, утвореного в результаті висипання матеріалу на горизонтальну поверхню.

Коефіцієнти внутрішнього тертя сипких сумішей визначаються взаємозв'язком між дотичними і нормальними напруженнями в шарі сипкої суміші.

3.3.Методика проведення досліджень та оброблення експериментальних даних

Визначення коефіцієнтів внутрішнього тертя

На рис. 4.1. представлена схема експериментальної установки, на якій були проведені дослідження для визначення коефіцієнтів внутрішнього тертя.

Суміш була завантажена великий короб 1, розташований на візку 2, який був з'єднаний з двигуном 5. У менший короб 3, розміром 30x40 мм, також завантажили наважену частину суміші і з'єднали його з динамометром 4. Після активації двигуна і встановлення руху візка зафіксовано показники динамометра.

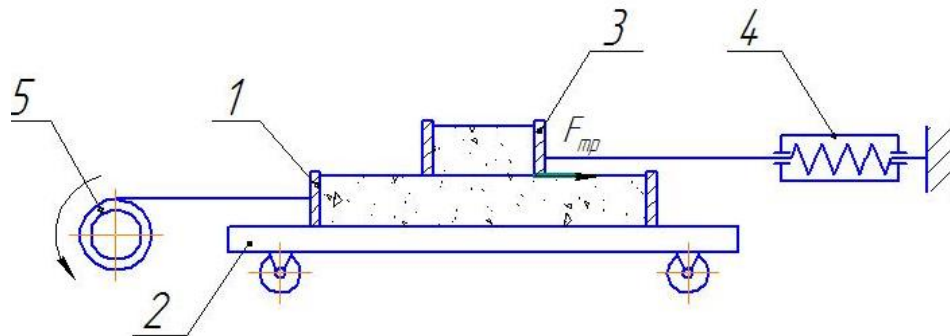


Рис.3.1.Схема установки для визначення коефіцієнтів внутрішнього тертя

Досліди проводили для початкової суміші $d_{сер} = 0,05\text{мм}$; для відсіву (браку) $d_{сер} = 0,17\text{мм}$; для гранул $d_{сер} = 0,3\text{мм}$.

Для сипких сумішей, між частинками існує яких існує зчеплення, взаємозв'язок нормальних і дотичних напружень виражається:

$$\tau = \sigma_1 \cdot \text{tg}\varphi_1 + C',$$

де σ_1 – величина нормальних напружень, τ – величина дотичних напружень, φ_1 – кут внутрішнього тертя, C' – сила зчеплення.

Опрацювання результатів дослідів:

1. У таблицю результатів занесли показники динамометра $F_{тр}$ за різних значень висоти насипаної суміші.
2. Розрахували нормальне напруження в шарі суміші за формулою:

$$\sigma_1 = \frac{G_M}{S_1},$$

де G_M – вага шару матеріалу, S_1 – площа перерізу короба.

Дотичне напруження зсуву визначили за формулою:

$$\tau_1 = \frac{F_{\text{од}}}{S_1},$$

де $F_{\text{тр}}$ – показник динамометра.

3. Досліди проводили для сумішей з різною щільністю: $\rho = 950 \text{ кг/м}^3$,
 $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$, $\rho = 570 \text{ кг/м}^3$

Таблиця 3.1 - Дані отримані для суміші щільністю $\rho = 950 \text{ кг/м}^3$

№	h, м	G_M , Н	σ , Па	$F_{\text{тр}}$, Н			$F_{\text{тр.ср.}}$ Н	τ , Па
				$F_{\text{тр1}}$	$F_{\text{тр2}}$	$F_{\text{тр3}}$		
1	5	$5,7 \cdot 10^{-2}$	47,5	$10,57 \cdot 10^{-2}$	$10,61 \cdot 10^{-2}$	$10,62 \cdot 10^{-2}$	$10,6 \cdot 10^{-2}$	88,47
2	10	$11,4 \cdot 10^{-2}$	95	$10,43 \cdot 10^{-2}$	$10,45 \cdot 10^{-2}$	$10,47 \cdot 10^{-2}$	$10,45 \cdot 10^{-2}$	87,12
3	15	$17,1 \cdot 10^{-2}$	142,5	$10,98 \cdot 10^{-2}$	$11,03 \cdot 10^{-2}$	$11,02 \cdot 10^{-2}$	$11,01 \cdot 10^{-2}$	91,78
4	20	$22,8 \cdot 10^{-2}$	190	$11,48 \cdot 10^{-2}$	$11,49 \cdot 10^{-2}$	$11,38 \cdot 10^{-2}$	$11,45 \cdot 10^{-2}$	95,44
5	25	$28,5 \cdot 10^{-2}$	237,5	$11,42 \cdot 10^{-2}$	$11,37 \cdot 10^{-2}$	$11,41 \cdot 10^{-2}$	$11,4 \cdot 10^{-2}$	95,1

Таблиця 3.2 - Дані отримані для суміші щільністю $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$

№	h, м	P, Н	σ , Па	$F_{\text{тр}}$, Н			$F_{\text{тр.ср.}}$ Н	τ , Па
				$F_{\text{тр1}}$	$F_{\text{тр2}}$	$F_{\text{тр3}}$		
1	5	$4,5 \cdot 10^{-2}$	37,5	$5,61 \cdot 10^{-2}$	$5,58 \cdot 10^{-2}$	$5,58 \cdot 10^{-2}$	$5,59 \cdot 10^{-2}$	46,55
2	10	$9 \cdot 10^{-2}$	75	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$6,59 \cdot 10^{-2}$	$6,55 \cdot 10^{-2}$	$6,58 \cdot 10^{-2}$	54,9
3	15	$13,5 \cdot 10^{-2}$	112,5	$8,24 \cdot 10^{-2}$	$8,23 \cdot 10^{-2}$	$8,28 \cdot 10^{-2}$	$8,25 \cdot 10^{-2}$	68,78
4	20	$18 \cdot 10^{-2}$	150	$9,13 \cdot 10^{-2}$	$9,15 \cdot 10^{-2}$	$9,08 \cdot 10^{-2}$	$9,12 \cdot 10^{-2}$	76
5	25	$22,5 \cdot 10^{-2}$	187,5	$10,19 \cdot 10^{-2}$	$10,17 \cdot 10^{-2}$	$10,27 \cdot 10^{-2}$	$10,21 \cdot 10^{-2}$	85,1

Таблиця 3.3 - Дані отримані для суміші щільністю $\rho = 570 \text{ кг/м}^3$

№	h, м	P, Н	σ , Па	$F_{\text{тр}}$, Н			$F_{\text{тр.ср.}}$ Н	τ , Па
				$F_{\text{тр1}}$	$F_{\text{тр2}}$	$F_{\text{тр3}}$		
1	5	$3,42 \cdot 10^{-2}$	28,5	$3,38 \cdot 10^{-2}$	$3,39 \cdot 10^{-2}$	$3,55 \cdot 10^{-2}$	$3,44 \cdot 10^{-2}$	28,65
2	10	$6,84 \cdot 10^{-2}$	57	$4,79 \cdot 10^{-2}$	$4,82 \cdot 10^{-2}$	$4,79 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-2}$	40
3	15	$10,26 \cdot 10^{-2}$	85,5	$5,24 \cdot 10^{-2}$	$5,26 \cdot 10^{-2}$	$5,31 \cdot 10^{-2}$	$5,27 \cdot 10^{-2}$	43,88
4	20	$13,68 \cdot 10^{-2}$	114	$6,96 \cdot 10^{-2}$	$6,99 \cdot 10^{-2}$	$6,96 \cdot 10^{-2}$	$6,97 \cdot 10^{-2}$	58,1
5	25	$17,1 \cdot 10^{-2}$	142,5	$8,01 \cdot 10^{-2}$	$8,07 \cdot 10^{-2}$	$8,1 \cdot 10^{-2}$	$8,06 \cdot 10^{-2}$	67,2

На підставі оброблених результатів будуюмо графіки залежностей дотичного зусилля зсуву (τ) від нормальних напружень (σ) (рис. 4.2). Отримані емпіричні рівняння зазначені в таблиці 4.4.

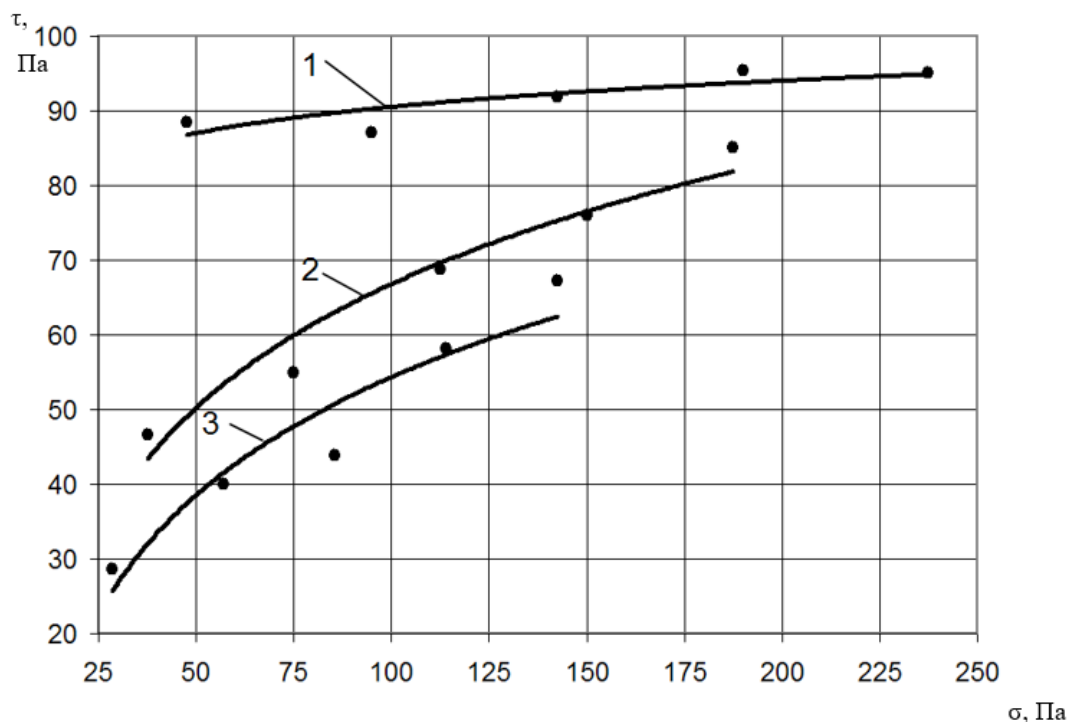


Рис. 3.2. Залежність дотичного зусилля зсуву τ від нормальних напружень σ . 1 – для початкової суміші $d_{сер} = 0,05$ мм; 2 – для відсіву $d_{сер} = 0,17$ мм; 3 – для гранул $d_{сер} = 0,3$ мм.

Аналізуючи отримані залежності можна зробити висновок, що при зменшенні розмірів частинок збільшується число контактів, яке викликає збільшення коефіцієнту внутрішнього тертя.

Таблиця 4.4.

№ залежності	Емпіричні рівняння
1	$\tau_1 = 0,0454\sigma_1 + 85,108$
2	$\tau = 0,2619\sigma + 36,806$
3	$\tau = 0,334\sigma + 19,006$

З графіку слідує, що найменше дотичне зусилля зсуву τ одержали для гранул діаметром 0,3 мм.

Емпіричні залежності на доцільність використання перевіряємо за

допомогою програмного забезпечення системи Mathcad :

$$\sigma := \begin{pmatrix} 28.65 \\ 57 \\ 85.5 \\ 114 \\ 142.5 \end{pmatrix} \quad \tau := \begin{pmatrix} 28.65 \\ 40 \\ 43.88 \\ 58.1 \\ 67.2 \end{pmatrix}$$

$$n := \text{length}(\sigma) \quad n = 5$$

$$f(x,c) := c_1 \cdot x + c_2$$

$$\frac{d}{dc} f(x,c)$$

$$F(x,c) := \begin{pmatrix} c_1 \cdot x + c_2 \\ x \\ 1 \end{pmatrix} \quad c0 := \begin{pmatrix} 1 \\ 20 \end{pmatrix}$$

$$g := \text{genfit}(\sigma, \tau, c0, F) \quad c = \begin{pmatrix} 0.334 \\ 18.966 \end{pmatrix}$$

$$g(t) := F(t,c)_1$$

$$t := \sigma_1 \cdot \sigma_1 + 0.01 \cdot \sigma_r$$

$$i := 1..n$$

$$\tau_{cl_i} := g(\sigma_i)$$

$$\tau_a := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i$$

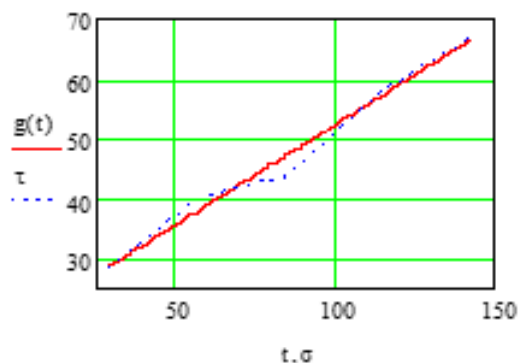
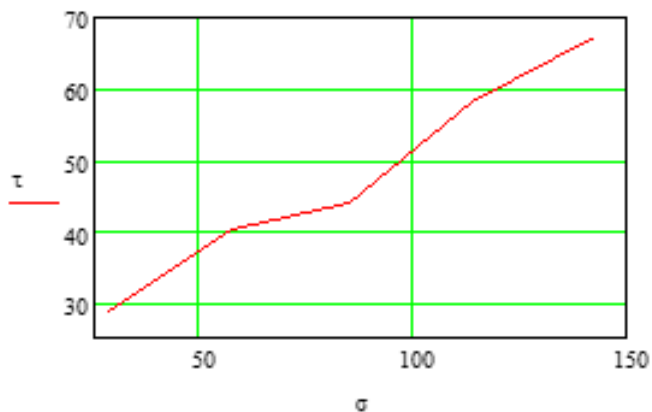
$$\tau_a = 47.566$$

$$s1 := \frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i - \tau_a)^2}{4} = 231.276$$

$$s2 := \frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i - \tau_{cl_i})^2}{3}$$

$$s2 = 6.263$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{s2}{n-1}} \quad \varepsilon = 1.251 \quad F_{sr} := \frac{s1}{s2} \quad F_{sr} = 36.926$$



Визначаємо критерій Фішера з таблиці при рівні значущості 0,05

$$F_{кр} = 19,25$$

$$F_{sr} > F_{кр}, \quad 36,926 > 19,25$$

Умова виконується, отже рівняння доцільно використовувати.

При відсутності паралельних експериментів якість моделі можна оцінити, порівнюючи дисперсію адекватності з дисперсією відносно середнього значення. s_1 – дисперсія відносно середнього значення; s_2 – дисперсія адекватності.

Визначення кута природнього нахилу

На рис. 3.3 представлена схема установки для проведення досліджень із визначення кута природнього нахилу, який визначався засипанням суміші у воронку діаметром вихідного отвору 2,7 мм, що закріплена на штативі. Досліди проводили для сумішей з різною щільністю.

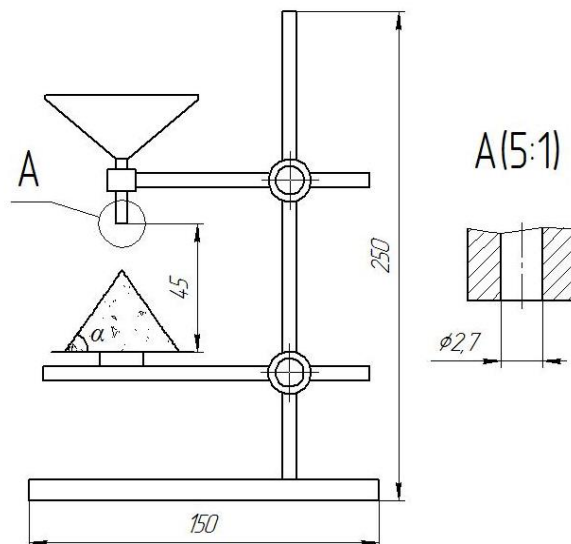


Рис. 3.3. Схема установки для визначення кута природнього нахилу

Опрацювання результатів дослідження:

1. Результати показників манометра N та величини ходу стискаючих плит заносимо у таблицю;

2. Визначаємо за формулами:

– Силу, яку прикладено на зразок:

$$F = N \cdot g$$

– Напруження:

$$\sigma = \frac{F}{S},$$

де S – площа поперечного перерізу отвору в матриці.

3. Результати розрахунків заносимо в таблицю.

Таблиця 3.6 - Дані отримані для суміші щільністю $\rho = 950 \text{ кг/м}^3$

N, кг	ΔL	Δ	F, Н	σ , Па	ρ , кг/м ³
2	16,7	0,15	20	0,314	1119,13
22	18	0,165	220	3,46	1139,23
90	20	0,18	900	14,15	1160,07
200	22,2	0,21	2000	31,45	1204,12
400	23,5	0,224	4000	62,89	1225,85
420	24	0,236	4200	66,04	1245,1
588,5	24,2	0,247	5885	92,531	1263,3
2000	27	0,263	20000	314,47	1290,72

Таблиця 3.7 - Дані отримані для суміші щільністю $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$

N, кг	ΔL	Δ	F, Н	σ , Па	ρ , кг/м ³
2	16,7	0,32	20	0,314	1098,32
22	18	0,35	220	3,46	1149,01
90	20	0,38	900	14,15	1204,61
200	22,2	0,41	2000	31,45	1265,86
400	23,5	0,44	4000	62,89	1333,67
420	24	0,449	4200	66,04	1355,45
588,5	24,2	0,49	5885	92,531	1414,42

Таблиця 3.8 - Дані отримані для суміші щільністю $\rho = 570 \text{ кг/м}^3$

N, кг	ΔL	Δ	F, Н	σ , Па	ρ , кг/м ³
2	16,7	0,42	20	0,314	978,49
22	18	0,45	220	3,46	1036,31
90	20	0,5	900	14,15	1139,94
200	22,2	0,562	2000	31,45	1302,79
400	23,5	0,588	4000	62,89	1381,74
420	24	0,6	4200	66,04	1424,92
588,5	24,2	0,605	5885	92,531	1442,96
2000	27	0,675	20000	314,47	1753,75

На основі отриманих результатів будемо залежності напружень від відносної деформації.

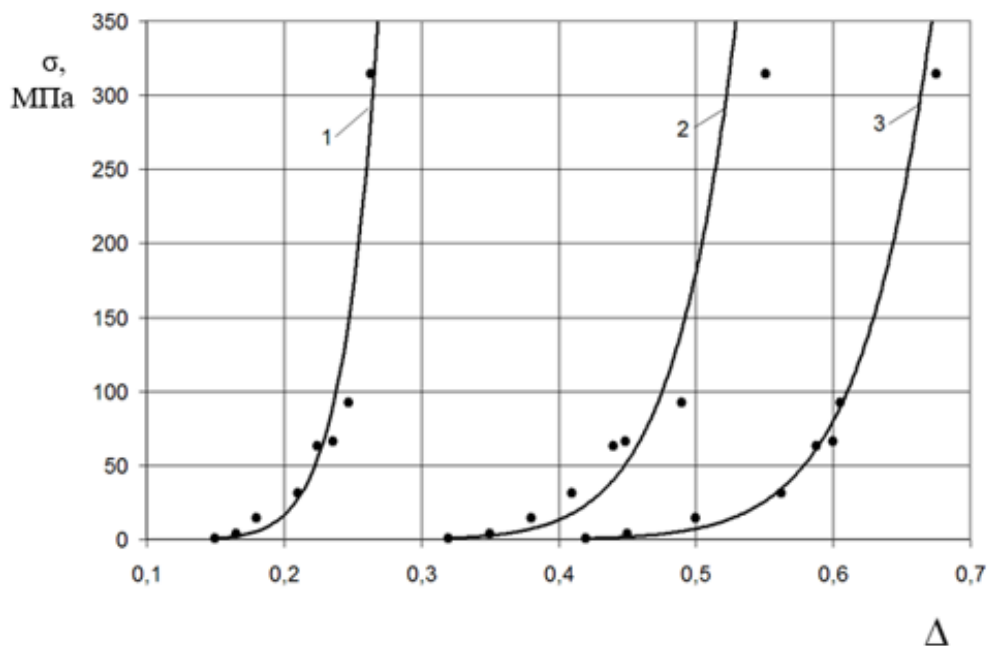


Рис. 3.7. Залежність напружень від відносної деформації при пресуванні 1 – для початкової суміші $d_{сер} = 0,05$ мм; 2 – для відсіву $d_{сер} = 0,17$ мм; 3 – для гранул $d_{сер} = 0,3$ мм.

Проведений аналіз результатів свідчить, що для компонентів лікарської суміші більшої щільності потрібно прикладати більше зусилля пресування, при цьому відносна деформація майже не змінюється

Таблиця 4.9.

№ залежності	Емпіричні рівняння
1	$\sigma = 3E+08\Delta^{10,374}$
2	$\sigma = 603048\Delta^{11,704}$
3	$\sigma = 64110\Delta^{13,084}$

З графіку слідує, що для гранул діаметром 0,3 мм буде найменше напруження та найбільша відносна деформація.

Отримані емпіричні залежності на доцільність використання перевіряємо за допомогою програмного забезпечення системи Mathcad :

$$\sigma = 35343\Delta^{13,08}$$

$$\Delta := \begin{pmatrix} 0.42 \\ 0.45 \\ 0.5 \\ 0.562 \\ 0.588 \\ 0.6 \\ 0.605 \\ 0.675 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 0.314 \\ 3.46 \\ 14.15 \\ 31.45 \\ 62.89 \\ 66.04 \\ 92.53 \\ 314.47 \end{pmatrix}$$

$$n := \text{length}(\Delta)$$

$$n = 8$$

$$f(x, c) := c_1 x^{c_2}$$

$$F(x, c) := \begin{pmatrix} c_1 x^{c_2} \\ x^{c_2} \\ c_1 x^{c_2} \cdot \ln(x) \end{pmatrix} \quad c0 := \begin{pmatrix} 8411 \\ -0.57 \end{pmatrix}$$

$$c := \text{genfit}(\Delta, \sigma, c0, F) \quad c = \begin{pmatrix} 3.534 \times 10^4 \\ 12.014 \end{pmatrix}$$

$$g(t) := F(t, c) \quad t := \Delta_1, \Delta_1 + 0.01 \cdot \Delta_n$$

$$i := 1..n \quad \sigma_{cl_i} := g(\Delta_i)$$

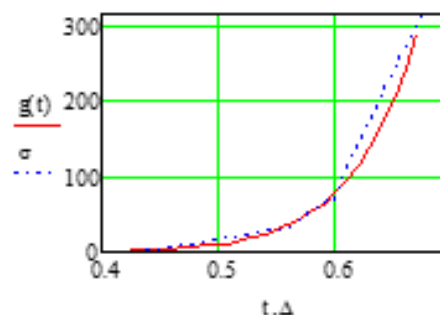
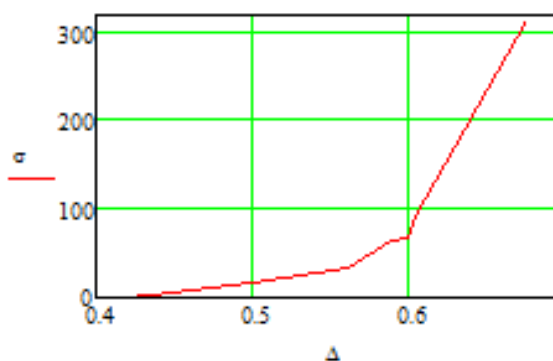
$$\sigma_a := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i \quad \sigma_a = 73.163$$

$$s1 := \frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \sigma_a)^2}{n-1} \quad s1 = 1.059 \times 10^4$$

$$s2 := \frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \sigma_{cl_i})^2}{n-2} \quad s2 = 6.263$$

$$e := \sqrt{\frac{s2}{n-1}} \quad F_{sr} := \frac{s1}{s2} \quad F_{sr} = 280.805$$

$$e = 2.321$$



Визначаємо критерій Фішера при рівні значущості 0,05

$$F_{кр}=19,36$$

$$F_{ST} > F_{кр}, \quad 280,805 > 19,36$$

Умова виконується, отже рівняння адекватне.

На основі отриманих результатів було побудовано залежності.

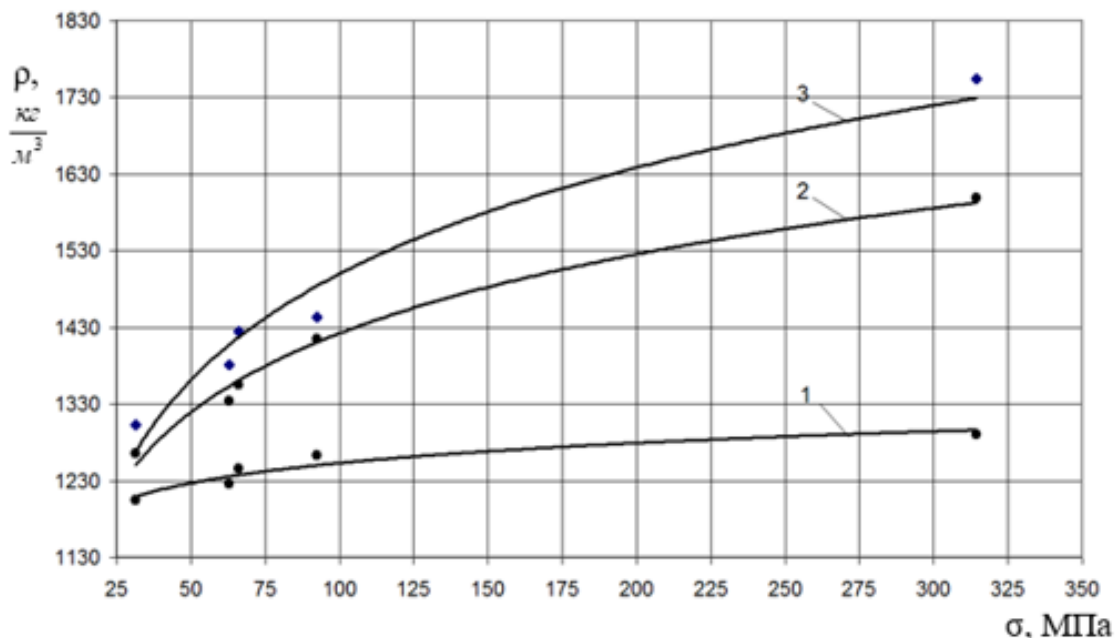


Рис.3.8. Залежність щільності від напружень: 1 – для початкової суміші $d_{сep} = 0,05$ мм; 2 – для б'яку $d_{сep} = 0,17$ мм; 3 – для гранул $d_{сep} = 0,3$ мм.

Аналіз залежностей вказує на те, що компонент лікарських форм з меншою початковою щільністю краще суміш піддається пресуванню.

Таблиця 4.10

№ залежності	Емпіричні рівняння
1	$\rho = 37,762 \ln(\sigma) + 1079,2$
2	$\rho = 148,72 \ln(\sigma) + 737,53$
3	$\rho = 200,14 \ln(\sigma) + 578,28$

На основі отриманих результатів було побудовано залежності щільності від відносної деформації.

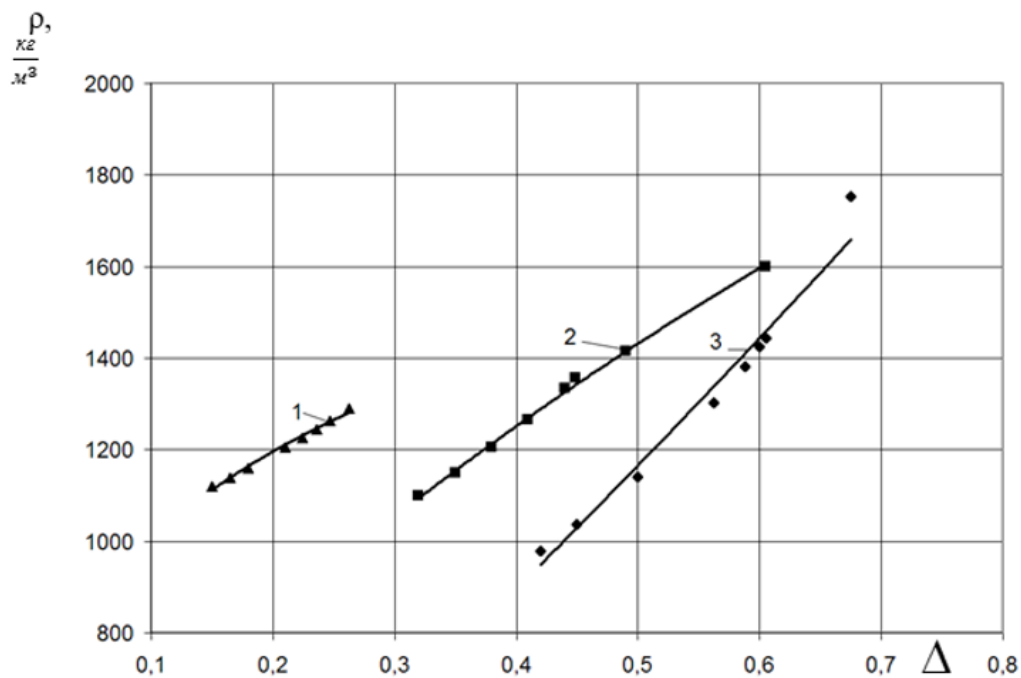


Рис. 3.9. Залежність щільності від відносної деформації

З графіку випливає, що найкраще піддаються деформації гранули з меншою початковою щільністю.

Таблиця 3.11.

№ залежності	Емпіричні рівняння
1	$\rho = 1512,2\Delta + 889,32$
2	$\rho = 1787,4\Delta + 533,02$
3	$\rho = 2879,6\Delta - 276,16$

Отримані таблетки, з попереднього експерименту, при напруженні 75 МПа, перевірялися на міцність (рис. 3.10)

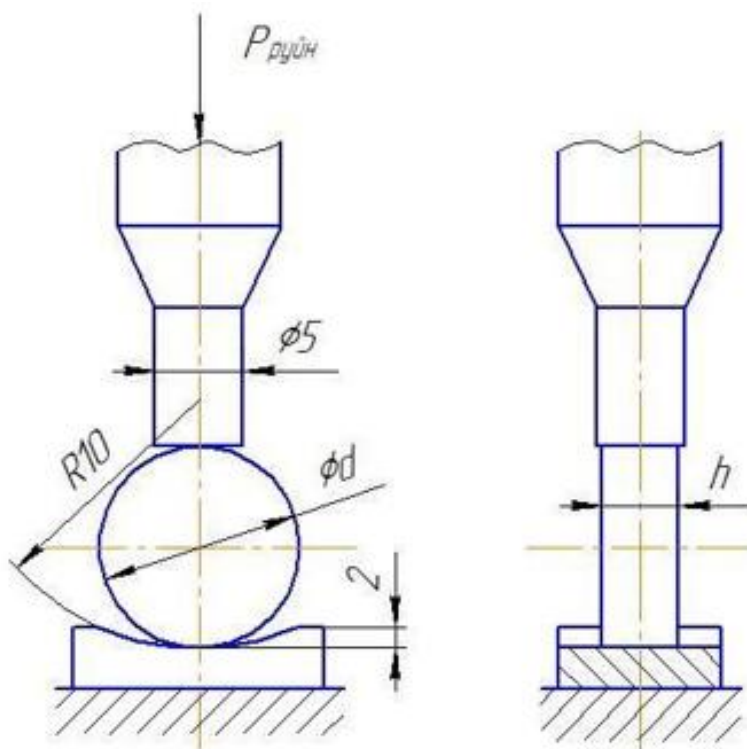


Рис. 3.10. Схема перевірки таблетки на міцність:
 d, h – діаметр і висота таблетки.

Таблиця 3.12 - Межа міцності таблеток

№	Продукт	$P_{руйн}$, МПа
1	Початкова суміш, $d_{cp} = 0,05$ мм	0,15
2	Відсів, $d_{nd} = 0,17$ мм	0,6
3	Нормальні гранули, $d_{nd} = 0,3$ мм	0,65

На основі отриманих результатів будемо залежності

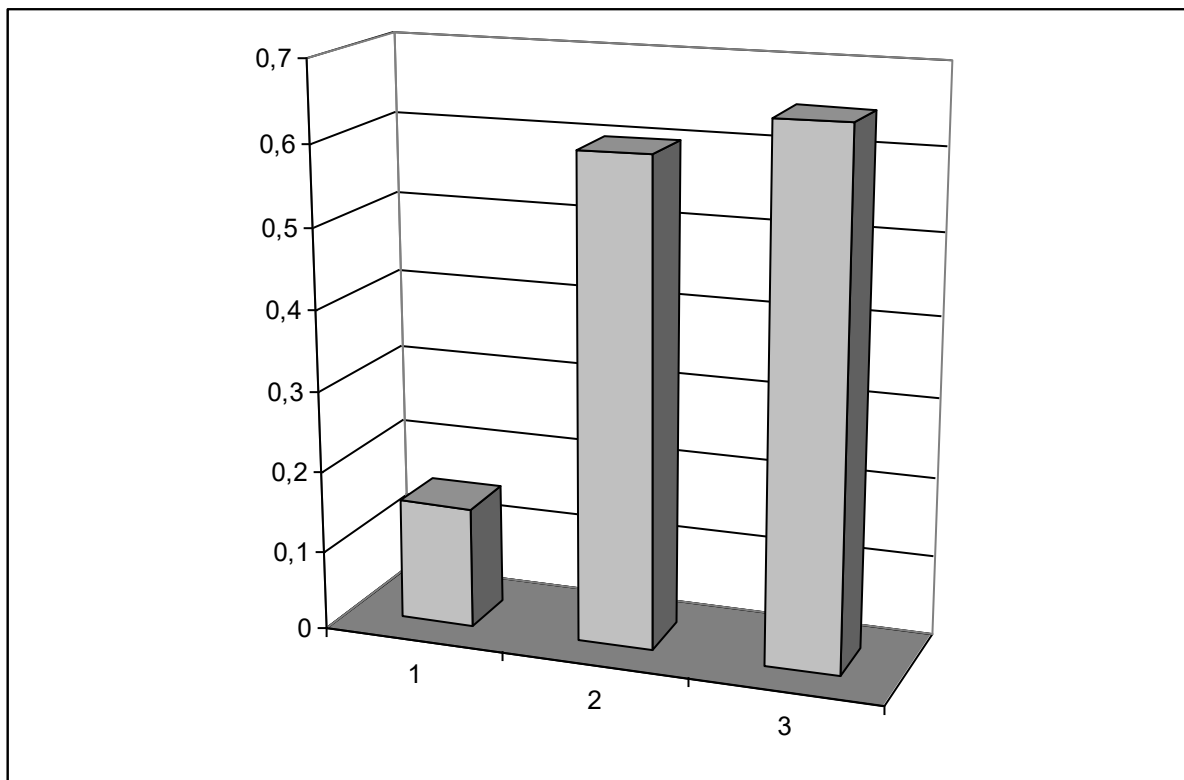


Рис. 3.11. Залежність межі міцності від матеріалу.

Аналізуючи дану залежність, ми можемо спостерігати, що чим вища щільність таблетки, тим більша межа її міцності.

РОЗДІЛ 4. БУДОВА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ

Установка змішувача-гранулятора складається з кількох технологічних елементів, а саме: змішувача-гранулятора, калібратора та ємності для приготування та подачі зволожувача.

Змішувач призначений для об'єднання порошків з можливістю подальшої грануляції, з метою отримання вологого грануляту.

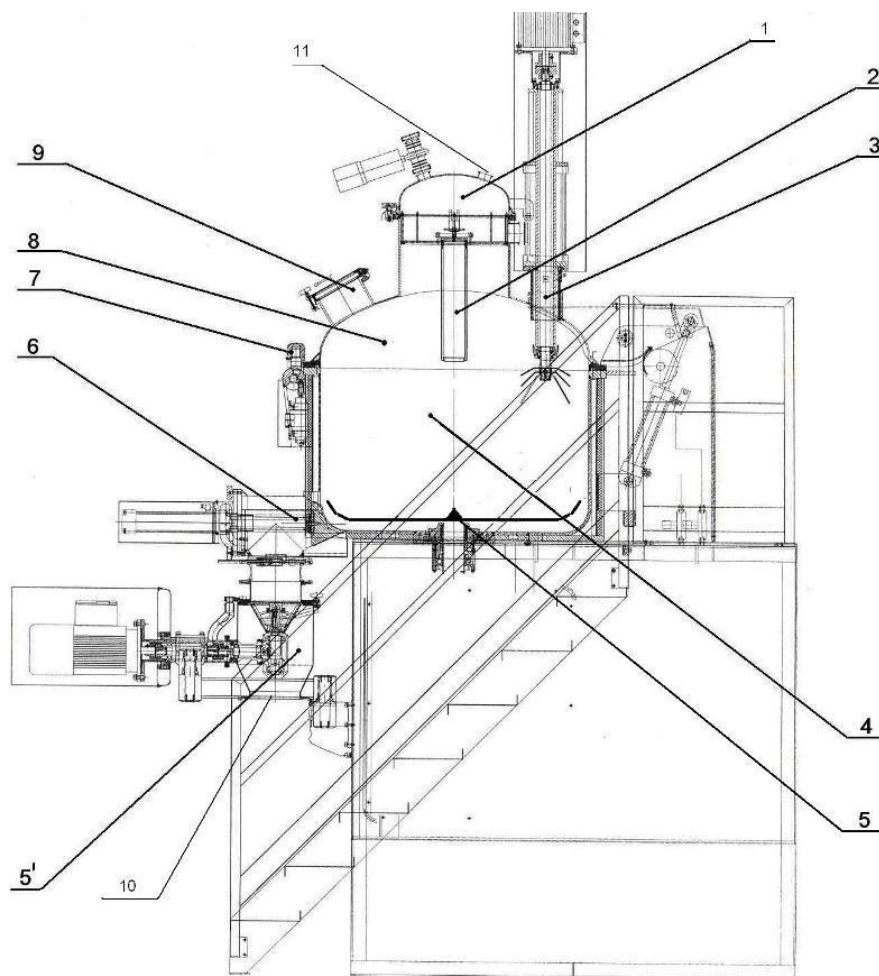


Рис.1.3. Загальний вигляд змішувача-гранулятора: 1 – кришка люка вакуумного фільтра; 2 – вакуумний фільтр; 3 – чопер; 4 – робоча ємність змішувача-гранулятора; 5 – мішалка; 5' – калібратор; 6 – лінія вивантаження; 7 – фіксатор кришки робочої ємності змішувача-гранулятора; 8 – кришка робочої ємності змішувача-гранулятора; 9 – оглядове вікно.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Гавва О.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа		
Власник документа НУХТ	Розробник документа Коротун Л.О.	Назва, додаткова назва Будова та принцип роботи	22-2150.MP.03.004.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/8

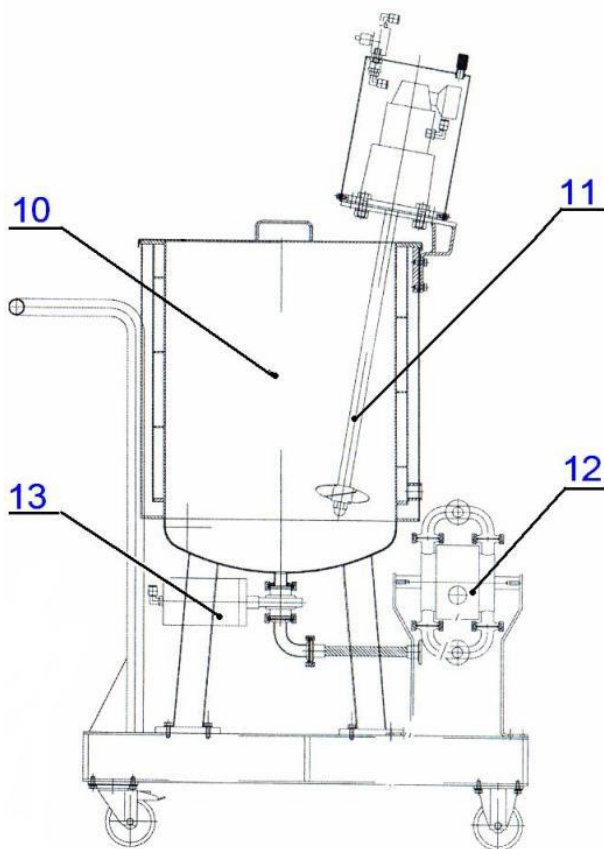


Рис.2.2. Загальний вигляд ємності для приготування і подачі зволожувача: 10 – ємність для приготування і подачі зволожувача; 11 – пропелерна мішалка з пневмоприводом; 12 – насос; 13 – вивантажувальний клапан

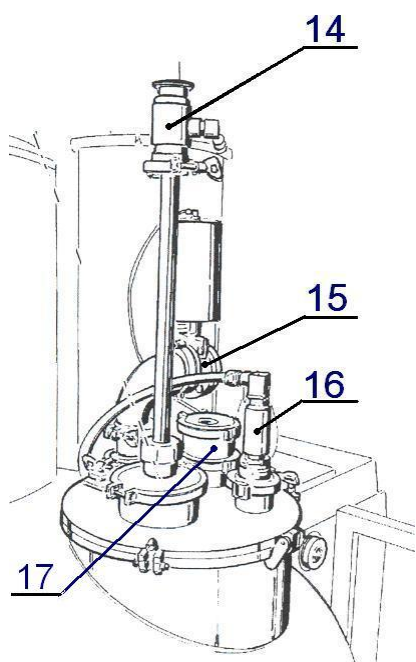


Рис.2.3 Загальний вигляд розташування вхідних патрубків: 14 – ручний завантажувальний клапан подачі зволожувача; 15 – патрубок вакуумного завантажування; 16 – датчик тиску в робочій ємності змішувача-гранулятора; 17 – захисний клапан робочої ємності змішувача-гранулятора

Цикл змішування і грануляції складається з наступних операцій:

1. Завантаження сировини відбувається за допомогою вакуумної системи завантаження. Для цього змішувач-гранулятор обладнаний вакуумною групою з системою клапанів і контролю розрідження в робочій

ємності. Процес включає вакуумування робочої ємності змішувача, закриття клапана вакуумної лінії і відкриття клапана для подачі продукту. Після досягнення заданого тиску клапан для подачі продукту закривається, а клапан вакуумної лінії відкривається. Ці операції повторюються до повного завантаження продукту.

2. Змішування відбувається за допомогою мішалки. У випадку необхідності розбиття грудок продукту в роботу включається чопер.

3. Зволоження здійснюється за допомогою пневматичного насоса, який подає розчин зволожувача. Розподіл зволожувача в робочій ємності змішувача-гранулятора здійснюється за допомогою форсунки. Для забезпечення рівномірного зволоження маси активується мішалка, а для розбивання грудок в роботу включається чопер.

4. Проведення розбивання грудок продукту (грануляту) включає роботу мішалки і чопера.

5. Вивантаження продукту може відбуватися з використанням або без використання калібратора.

6. У робочій ємності змішувача-гранулятора передбачена можливість охолодження фармацевтичної маси за допомогою подачі холодоносія (охолоджувальної води) в сорочку робочої ємності.

Процес змішування і грануляції може бути здійснений як у ручному режимі управління, де оператор вручну керує всіма етапами процесу, так і за задалегідь створеною автоматичною програмою. У пам'яті машини може бути збережена лише одна робоча програма.

Дно робочої ємності змішувача-гранулятора виконане плоским, без мертвих точок. Робоча ємність обладнана вивантажувальним клапаном біля днища. Сама робоча ємність має невеликий нахил у бік вивантажувального клапана, що, разом з відцентровою силою, забезпечує практично повне вивантаження продукту з робочої ємності змішувача-гранулятора в автоматичному режимі.

Кришка резервуару змішувача відкривається автоматично за допомогою системи гідравліки. Ущільнення між кришкою і резервуаром забезпечується надувною прокладкою, яка автоматично надувається при закритті (відкритті) кришки апарату.

Робоча ємність змішувача-гранулятора обладнана мішалкою, яка використовується для змішування компонентів (у випадку грануляції, сприяє утворенню гранул). Двигун мішалки змішувача-гранулятора оснащений автоматичною системою регулювання обертання шляхом використання частотного перетворювача. На верхній частині робочої ємності (крищі) розміщений двоххвильовий, регульований за глибиною занурення в робочу ємність чопер, який служить для розбивання грудок продукту, що можуть утворюватися під час грануляційного процесу.

Ущільнення мішалки виконується за допомогою стиснутого повітря, що проходить через фільтр із рейтингом 0,22 мм. Під час вологої грануляції розчин зволожувача автоматично подається з ємності для приготування і подачі зволожувача, оснащеної пневматичним насосом, через розпилюючу форсунку в робочу ємність змішувача-гранулятора. Подача зволожувача автоматизована за допомогою управління оператора з панелі управління.

Вивантаження продукту може відбуватися через калібратор, який обладнаний V-образним ножом з двома швидкостями обертання. У комплект калібратора входить кілька сіток (сит) для вологого калібрування, з різними розмірами отворів, що дозволяє отримувати продукт різної дисперсності.

Для здійснення процесу очищення змішувача-гранулятора передбачена спеціальна форсунка, яка обертається, розташована зверху і призначена для подачі миючої рідини під мішалку. Управління процесом очищення здійснюється автоматично з головної панелі управління (ГПУ), що спрощує та автоматизує цей аспект технологічного процесу.

Гранулювання порошкоподібних матеріалів відбувається у присутності

рідкої фази за умови одночасного перемішування матеріалу мішалками. Процес утворення і зростання гранул в грануляторі визначається зволоженням розчином окремих частинок суміші під час їх зближення. Важливий вплив на процес має вміст рідкої фази, оскільки частинки, покриті розчином, можуть агломеруватися при зіткненні.

Опис процесу гранулювання

Процес грануляції розпочинається з того, що розчин покриває частинки суміші, що дозволяє їм агломеруватися. Поступово рідина заповнює вільний об'єм між частинками, утворює увігнуту поверхню в порах, і капілярне розрідження виникає у всьому рідинному об'ємі, додаючи міцності гранулам.

При подальшому зволоженні рідина заповнює всі пори, і умови для злипання частинок виникають під дією капілярних сил зчеплення на поверхні гранул. Коли тверді частинки повністю покриваються плівкою рідини, утворюється вигнута поверхня рідини, в середині якої утримуються тверді частинки. Це створює умови для злиття частинок.

Спосіб зволоження, включаючи розпилення зволожувача, впливає на параметри гранулювання та процесу в цілому. Тонке розпилення рідини призводить до однорідних пористих гранул, тоді як грубе розпилення сприяє швидкому утворенню гранул, але може призвести до неоднорідності. Важливо забезпечити рівномірне розпилення по всьому об'єму апарату.

У вашій роботі розглядається гранулятор, який враховує всі необхідні параметри для оптимізації процесу грануляції.

Температура гранулювання важлива для збереження хімічного складу діючих речовин у присутності рідкої фази, що включає воду та розчинені компоненти. У випадку гранулювання лікарських засобів температура зазвичай не перевищує 60°C, щоб уникнути змін у хімічному складі активних речовин.

Процес калібрування, який включає в себе проходження грануляту через сито, дозволяє отримувати гранули однакового розміру. Робочі органи, такі

як решітки, продавлюють гранулят крізь отвори сита, і на виході отримується гранулят із стандартизованим розміром та складом.

Гранулят, який виходить з гранулятора, залишається мало зволеним, і тому виникає потреба в відділенні зволених гранул від сухої порошкоподібної маси. Головна мета гранулювання полягає в отриманні грануляту однорідного складу, де лікарська речовина рівномірно розподілена, щоб полегшити таблетування.

Для досягнення більш однорідного грануляту і зменшення витрат таблетсуміші, встановлення вібросита може бути корисним. Це допоможе розділити отриманий продукт на суху порошкоподібну таблетсуміш (відсів) і високоякісний гранулят, покращуючи якість та однорідність кінцевого продукту.

Удосконалення конструкції гранулятора

В рамках модернізації виконано переоснащення калібратора. Система продавлювання матеріалу через конічне сито, яка використовувала ножі, була замінена на більш продуктивну. Тепер продавлювання відбувається через плоске сито за допомогою роликів та лопаток, що встановлені під кутом 15° . Крім того, проведено розділення матеріалу на фракції за допомогою вібросита. Ці модифікації сприятливо покращили продуктивність та ефективність роботи калібратора.

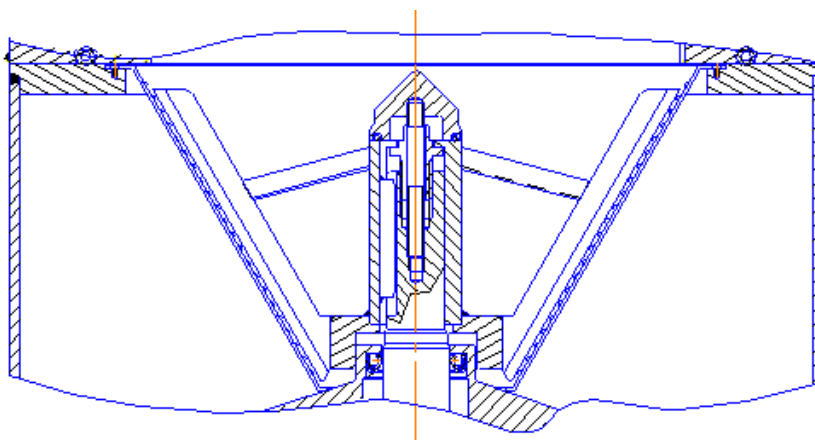


Рис. 5.1. Вузол отримання грануляту в калібраторі Romil

Робочий пристрій не забезпечує необхідної продуктивності через нерівномірне розподілення грануляту на ситі та налипання його на ножі через особливості їх конструкції та взаємне розміщення. Це призводить до проблем очищення отворів сита, збільшуючи втрати часу на процес грануляції та зменшуючи ефективність роботи.

Задача удосконалення роботи калібратора вирішується за допомогою встановлення нового пристрою. У цьому пристрої в якості робочих органів використовується система роликів та лопаток, які продавлюють гранулят, рухаючись по поверхні плоского круглого сита. Додатково встановлюється вібросито для класифікації отриманого грануляту. Ці інновації спрямовані на покращення ефективності роботи, уникнення проблем з очищенням сита та збільшення продуктивності процесу грануляції.

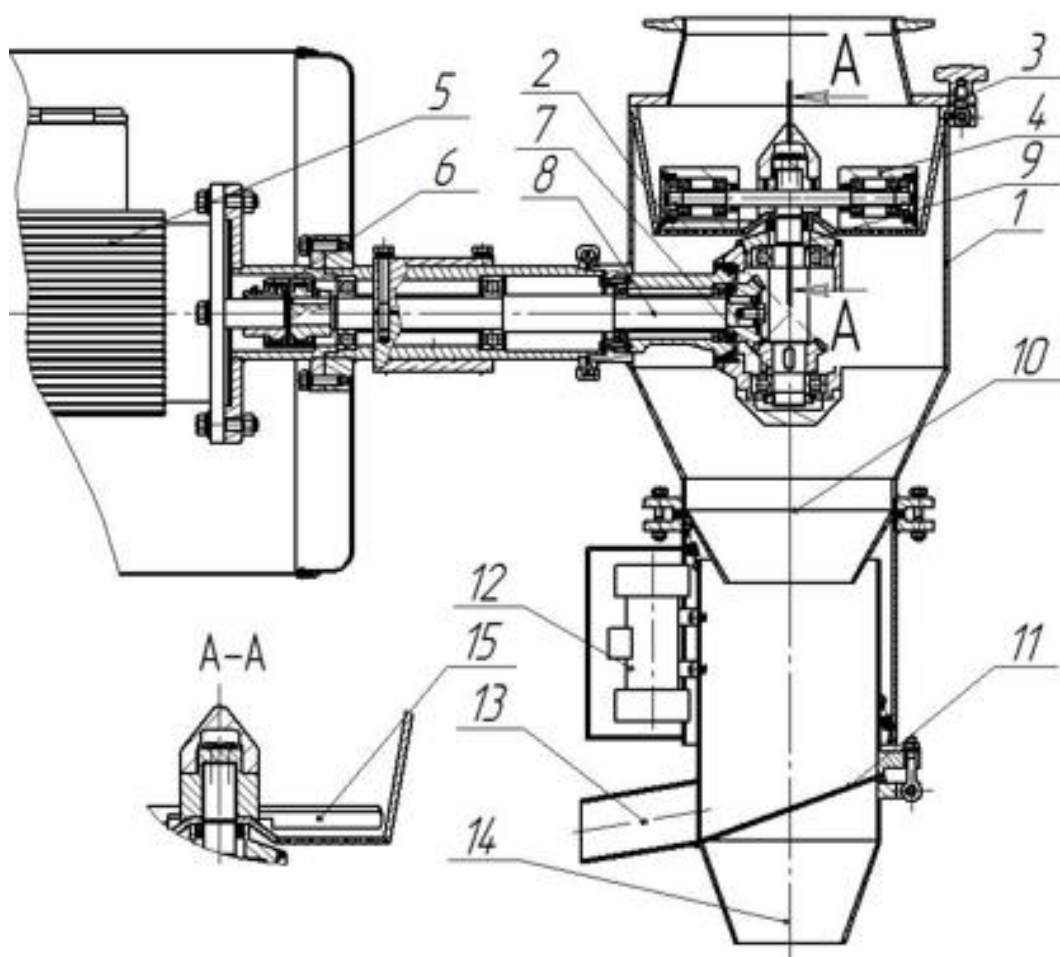


Рис. 5.2. Удосконалений вузол калібратора

Модернізований калібратор включає в себе наступні компоненти: корпус 1, калібруюче сито 2, кріплення сита накидними болтами 3, система роликів 4, двигун 5, зубчаста муфта 6, конічна передача 7, вали 8 і 9, вивантажуюче дно 10, система сит 11, вібратор 12, патрубок відведення якісних гранул 13, патрубок вивантаження порошкоподібної суміші 14, лопатки 15.

Система роликів виконує продавлювання грануляту, здійснюючи обертальний рух по периметру сита. Після цього отриманий гранулят направляється на вібросито для розділення на дві фракції. Цей процес сприяє ефективній грануляції та класифікації матеріалу, покращуючи якість та продуктивність роботи калібратора.

Ці компоненти працюють взаємодіючи для забезпечення ефективного процесу калібрування та розділення матеріалу на визначені фракції, забезпечуючи високу продуктивність та якість роботи калібратора.

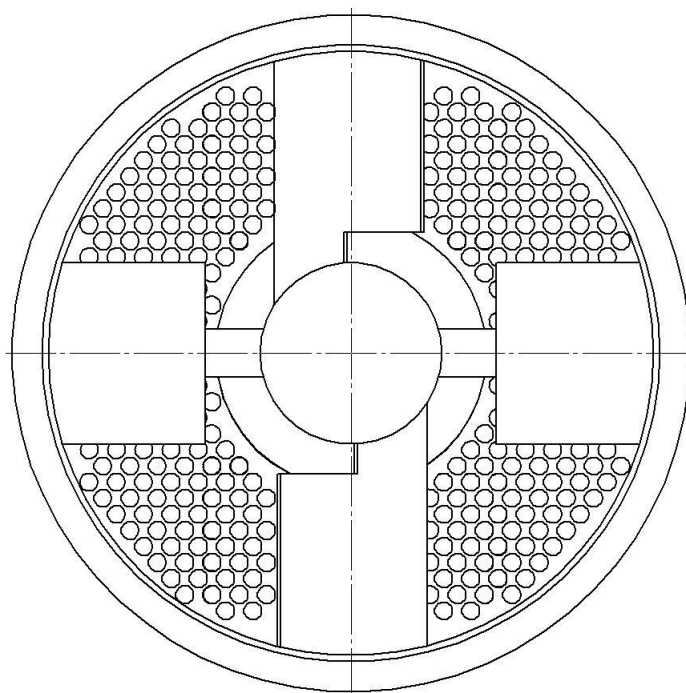


Рис. 5.3. Розташування роликів та лопаток. Вигляд зверху

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

5. Розрахункова частина

5.1. Технологічний розрахунок змішувача-гранулятора

Виконуємо технологічні розрахунки. Витрати по матеріалу:

$$Q = \frac{V \cdot \phi \cdot \rho}{T} = \frac{0,6 \cdot 0,7 \cdot 500}{0,67} = 420 \text{ кг/год}$$

де V – об'єм змішувача-гранулятора, м³; ϕ – коефіцієнт заповнення;
 ρ – густина матеріалу, що оброблюється, кг/м³; T – тривалість процесу гранулювання, $T = 40 \text{ хв} = 0,67 \text{ год}$;

Розрахуємо робочий об'єм апарата:

$$V_p = V \cdot \phi = 0,6 \cdot 0,7 = 0,42 \text{ м}^3$$

Обчислимо діаметр змішувача гранулятора:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} H$$

Для апаратів, що перемішують сипкі речовини справедливою є залежність

$$\frac{H}{D} = 0,4 \dots 1,0.$$

Приймаємо $H = 0,6D$, тоді $V = \frac{0,6 \cdot \pi D^3}{4}$.

$$\text{Звідси слідує } D = \sqrt[3]{\frac{6,67V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6,67 \cdot 0,6}{\pi}} \approx 1,084 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр змішувача в розмірі 1090 мм.

Отже, $H = 0,6D = 0,6 \cdot 1090 = 646 \text{ мм}$. Тоді $H = 650 \text{ мм}$.

Змішувач-гранулятор здатен виконувати лише чотири операції гранулювання за одну зміну. Такий обмежений обсяг пов'язаний з великою кількістю часу, яка необхідна для проведення підготовчо-заклучних операцій, таких як миття, очищення та стерилізація

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Гавва О.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Коротун Л.О.	Назва, додаткова назва Розрахункова		22-2150.MP.03.005.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.						

5.2. Розрахунок гранулятора

Продуктивність гранулятора (за один оберт роликів) становить:

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \Delta l_1 \cdot z_0 \cdot z_{b1} \cdot \rho, \text{ кг}$$

де d_0 — діаметр формувального отвору матриці, м; Δl_1 — товщина шару матеріалу, запресованого в отвір матриці, за один прохід ролика ($(2-5) \cdot 10^{-4}$ м); z_0 — кількість формувальних отворів в матриці; z_{b1} — кількість роликів; ρ — густина матеріалу, запресованого в отвір, кг/м³.

$$Q_1 = \frac{3,14 \cdot 0,006^2}{4} 0,003 \cdot 828 \cdot 2 \cdot 500 = 0,07 \text{ кг}$$

Продуктивність (за один оберт лопаток) дорівнює:

$$Q_2 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \Delta l_2 \cdot z_0 \cdot z_{b2} \cdot \rho, \text{ кг}$$

де Δl_2 — товщина шару матеріалу, запресованого в отвір матриці за один прохід лопатки ($(0,5-1,5) \cdot 10^{-4}$ м); z_{b2} — кількість лопаток.

$$Q_2 = \frac{3,14 \cdot 0,006^2}{4} 0,003 \cdot 828 \cdot 0,5 \cdot 500 = 0,0175 \text{ кг}$$

Загальна продуктивність даного вузла визначається:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 0,07 + 0,0175 = 0,0875 \text{ кг}$$

Максимальна кількість грануляту, яку може обробляти дане обладнання, становить 420 кг/год. Отож, максимальна кількість обертів роликів необхідна для калібрування таблетувальної суміші:

$$n = \frac{420}{0,0875} \div 60 = 80 \text{ об/хв.}$$

Потужність на пресування

$$N = F_{mp} \cdot v_{cp} \cdot z_{\beta}, \text{ Вт,}$$

де $F_{mp} = P_{max} \cdot f \cdot S$ — сила тертя у формуючому отворі, Н;

де f — коефіцієнт тертя матеріалу до стінки каналу матриці; $f = 0,4-0,45$ — коефіцієнт бічного тиску (для сипких матеріалів); P_{max} — найбільший осьовий тиск пресування, Па; де S — площа внутрішньої поверхні пресування, м²;

$$P(e^a - 1)_{max} \text{ Па}$$

де c і a — коефіцієнти, що залежать від структурно-механічних властивостей матеріалу (міцність, величина частинок, вологість), $a = (4,6-5,1) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$, $C = (0,33-0,59) \cdot 10^6 \text{ Па}$; $P_6(e^{4,7 \cdot 10^{-3}} - 1)_{max} \text{ Н}$

v_{cp} — середня швидкість переміщення гранули в каналі
 $v_{cp} = \Delta l \cdot z_b \cdot \text{мм/с}$,

$$v_{cp} = 0,003 \cdot 2 \cdot 58 = 0,348 \text{ м/хв}$$

де z_β — число каналів, в яких відбувається пресування одночасно

$$z_\beta = \frac{z_0 \cdot z_{b1} \cdot \beta_1}{360} + \frac{z_0 \cdot z_{b2} \cdot \beta_2}{360}$$

де β — кут зони захоплення одним роликом, град.

$$z_\beta = \frac{828 \cdot 2 \cdot 40}{360} + \frac{828 \cdot 2 \cdot 15}{360} = 255$$

Отже, $F_{mp} = 1885,6 \cdot 0,4 \cdot 0,1 \cdot 0,0125 = 0,94 \text{ Н}$

$$N = 0,94 \cdot 0,348 \cdot 255 = 60,8 \approx 84 \text{ Вт}$$

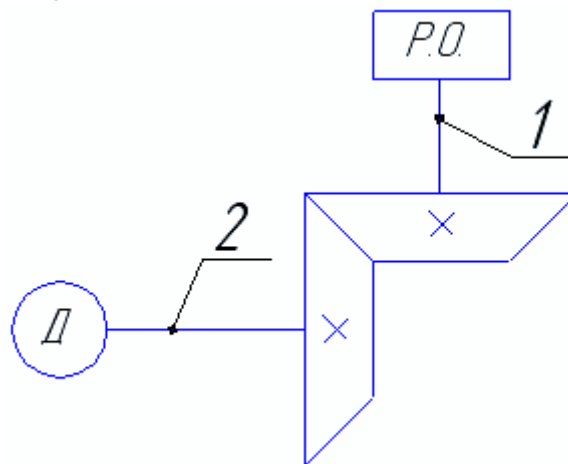


Рис. 5.4. Кінематична схема привода калібратора

$$N_2 = \frac{N_1}{\eta_1} = \frac{0,084}{0,96} = 0,0875 \text{ кВт}$$

$$N_3 = \frac{N_2}{\eta_2} = \frac{0,0875}{0,995} = 0,088 \text{ кВт}$$

Зі стандартного ряду обираємо двигун АИР71В8 з такими характеристиками: $N = 0,25 \text{ кВт}$; $n = 750 \text{ об/хв}$; $\cos \phi = 0,65$; $\eta = 56\%$.

Розрахунок лопаток калібратора

Лопатки, як робочі елементи калібратора, піддаються впливу набігаючого потоку середовища, що перемішується. Допустиме напруження при розрахунковій температурі становить $[\sigma] = \sigma^* = 310$ МПа.

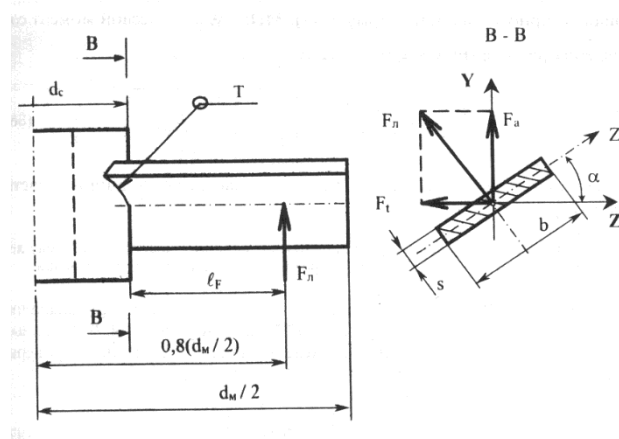
Під час обертання калібратора виникає потік суміші, який має як колові, так і осьові компоненти. Колова F_t та осьова F_a сили, які діють на лопатку, пов'язані наступним співвідношенням:

$$F_a = ctg\alpha \cdot F_t, \text{ де } \alpha = 15^\circ - \text{кут нахилу лопатки}$$

Колова сила, що діє на лопатку, визначається:

$$F_t = \frac{M_{кр}}{0,4 \cdot d_m \cdot z_l} = \frac{20}{0,4 \cdot 250 \cdot 10^{-3} \cdot 2} = 100 \text{ Н},$$

де $M_{кр}$ – розрахунковий крутний момент, Н·м; z_l – число лопаток, шт; d_m – діаметр лопаток калібратора, м.



5.5. Схема сил, що діють на лопатку калібратора

Сумарна сила, що діє нормально до площини лопаті калібратора, розраховується за відповідною формулою:

$$F_n = \frac{F_t}{\sin \alpha} = \frac{100}{\sin 15} = 386,4 \text{ Н}$$

В місці приварювання лопаті до ступиці стиковий шов піддається дії згинаючого моменту:

$$M_{зГ} = F_n \cdot l_F = F_n \left(0,8 \cdot \frac{d_m}{2} - \frac{d_c}{2} \right),$$

де d_c – діаметр маточини, м; 0,8 – коефіцієнт, що враховує радіус додатку сумарної сили до лопаті мішалки.

$$M_{3Г} = F_{\gamma}(0,4 \cdot d_M - 0,5 \cdot d_c) = 386,4(0,4 \cdot 250 \cdot 10^{-3} - 0,5 \cdot 30 \cdot 10^{-3}) \\ = 23,84 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{Умова міцності зварного шва: } \sigma = \frac{M_{3Г}}{W_{z1}} \leq [\sigma]'$$

де $[\sigma]'$ – допустиме напруження для матеріалу мішалки зварного шва, Па; σ – напруження матеріалу шва, МПа; W_{z1} – осьовий момент опору, м³.

$$W_{z1} = \frac{b \cdot s_p^2}{6} = \frac{40 \cdot 10^{-3} \cdot ((6 - 2) \cdot 10^{-3})^2}{6} = 10,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

де b – ширина лопаті, м; $s_p = s - 2 \cdot c$ – розрахункова товщина лопаті, м.

Для стикового шва таврового з'єднання:

$$[\sigma]' = \phi \cdot [\sigma] = 0,8 \cdot 40 \cdot 10^6 = 32 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

де $[\sigma]$ – допустиме напруження для матеріалу мішалки при розрахунковій температурі, Па; $\phi = 0,8$ – коефіцієнт міцності зварного шва для таврового з'єднання двостороннім швом при зварці вручну.

Перевірка міцності зварного шва:

$$\sigma = \frac{M_{3Г}}{W_{z1}} = \frac{23,84}{10,7 \cdot 10^{-6}} = 2,23 \cdot 10^6 < [\sigma]' < 32 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Умова міцності виконується.

Розрахунок вібростита

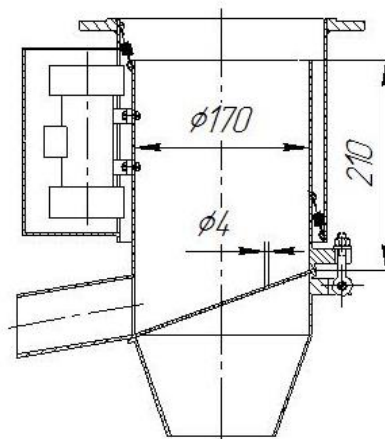


Рис. 5.6. Вібростито

При обертанні вала $n=750$ об/хв час перебування частинки на ситі складає:

$$\tau = \frac{60}{2 \cdot e \cdot n \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{60}{2 \cdot 1,5 \cdot 750 \cdot \operatorname{tg} 20} = 0,1 \text{ хв.}$$

де e - амплітуда вібрації ($e = 1 \dots 3$); n - швидкість обертання вала вібратора, об/хв; α - кут нахилу сита.

Швидкість руху частинки, що попадає на вібросито:

$$\omega = \frac{L}{\tau} = \frac{0,17}{0,1} = 1,7 \text{ м/хв}$$

де L - довжина сита, м.

Продуктивність вібросита можна розрахувати за формулою:

$$Q = B \cdot h \cdot \omega \cdot \rho_H \cdot 60,$$

де B - ширина вібросита, м; ρ_H - густина таблетувальної суміші, кг/м^3 ,
 h - робоча висота вібросита, м;

$$Q = 0,17 \cdot 0,21 \cdot 1,7 \cdot 500 \cdot 60 = 1820,7 \text{ кг/год}$$

5.3. Конструктивний розрахунок змішувача-гранулятора

5.3.1 Визначення основних параметрів роботи

Вибір конструкційних матеріалів

В кваліфікаційній роботі матеріали підбираються для тих елементів, які в подальшому будуть розраховані за головними критеріями працездатності. Надійність роботи гранулятора, економічність його виготовлення та ефективність роботи мішалки в значній мірі залежать від правильного вибору матеріалів.

При виборі матеріалів для основних конструкційних елементів, таких як корпус, сорочка, опора, вал, фланці та мішалка, потрібно враховувати їхню взаємодію з експлуатаційними умовами та середовищем. Кожен елемент може вимагати різних властивостей матеріалу, таких як міцність, стійкість до корозії, термічна стабільність тощо.

Таблиця 5.1

Наявність контакту з робочим середовищем	Елементи обладнання	Марка матеріалу
є	елементи корпусу: обичайка, днище, кришка, вал, мішалка, фланці	AISI 316
немає	сорочка опори апарату	AISI 304

Вітчизняним аналогом сталі AISI 316 є сталь 10X17H13M2

Сталь марки AISI 316 є поліпшеною версією 304 і містить додатковий компонент - молібден, а також трошки вищий вміст нікелю. Така композиція AISI 316 значно підвищує стійкість до корозії в більшості агресивних середовищ. Молібден у складі сталі робить її більш стійкою до пітингової і лужної корозії, особливо в хлористому середовищі, морській воді і в парах оцетової кислоти. Така характеристика стає особливо важливою в умовах, де існує підвищений ризик взаємодії з корозійно-активними факторами. Високий нікелевий вміст також додає міцності і стійкості до середовищ з агресивним впливом. За рахунок цих покращень, сталь AISI 316 виявляє високий корозійний опір в забруднених та морських атмосферах, а також в злегка корозійних середовищах загалом.

Визначення розрахункової температури

Важливо враховувати, що механічні характеристики матеріалів суттєво змінюються в залежності від температури. Розрахункова температура стінки є ключовим параметром при визначенні фізико-механічних властивостей матеріалу, допустимих напружень та при проведенні розрахунків на міцність елементів змішувача чи іншого апарату.

При позитивних температурах розрахункову температуру стінки елементу апарату слід обирати як найвище значення температури, яке може виникнути в даному середовищі. Це важливо для того, щоб забезпечити надійний резерв міцності матеріалу при впливі тепла на його властивості.

Таким чином

$$t_p = t_{ст} = 80^{\circ}C$$

де t_p – розрахункова температура стінок корпусу, $^{\circ}C$; t_c – температура середовища, яке дотичне до стінкою апарату, $^{\circ}C$.

Визначення робочого, розрахункового, пробного та умовного тисків

Робочий, розрахунковий, пробний і умовний тиски - це параметри, які підлягають попередньому визначенню при проектуванні і експлуатації технічних систем та обладнання.

Робочим тиском є тиск, який є максимальним внутрішнім надлишковим тиском, що виникає під час нормального протікання робочого процесу. Однак важливо враховувати, що робочий тиск не включає гідростатичний тиск середовища і не враховує допустимого короткочасного підвищення тиску під час спрацьовування запобіжного клапана або інших запобіжних пристроїв.

$$p_p = p_n = 0.1 \text{ МПа}$$

Розрахунковий внутрішній тиск $p_{р.вн.}$ – тиск за яким здійснюється розрахунок на міцність. Розрахунковий тиск приймають, зазвичай, рівним робочому або вище за нього. Отже,

$$p_{р.вн.} = p_p + p_{г} = 0.1 + 0.005096 = 0,105096 \text{ МПа},$$

де p_n , $p_{г}$ – відповідно робочий та гідростатичний тиск, Па.

$$p_{г} = \rho_c g H_c = 500 \cdot 9,8 \cdot 0,5 = 5096 \text{ Па} = 0,005096 \text{ МПа}$$

де ρ_c – щільність таблетсуміші, кг/м^3 ; $g = 9,81$ – прискорення вільного падіння, м/с^2 ; H_c – рівень матеріалу в грануляторі, м.

Зовнішній тиск - це основне навантаження для тих елементів обладнання, які знаходяться під сорочкою або працюють під залишковим тиском, тобто вакуумом.

Розрахунковий зовнішній тиск – $p_{р.з}$ розраховуються за формулою:

$$p_{р.з} = p_a - p_0 = 10^5 - 0 = 0.1 \text{ МПа}$$

де $p_a = 10^5$ – атмосферний тиск, Па; p_0 – залишковий тиск в корпусі, Па.

Пробний тиск $p_{пр}$ – це максимальний надлишковий тиск, що створюється при гідравлічних (пневматичних) випробуваннях обладнання з метою перевірки їх на міцність та герметичність. Перевірку здійснюють згідно з вимог Держміськтехнагляду на підприємстві-виробнику і на підприємстві при періодичному огляді.

Таблиця 5.2

Посудини і апарати	Робочий тиск p_p , МПа	Пробний тиск $p_{пр}$, МПа
Всі окрім литих	≤ 0.5	$\frac{1.5 p_{ps} [\sigma]_{20}}{[\sigma]}$ але не менше 0,2
	> 0.5	$\frac{1.25 p_{ps} [\sigma]_{20}}{[\sigma]}$ але не менше $p_H + 0,3$

Оскільки $p_H = 0.1$ МПа тоді $p_{пр} = \frac{1.5 p_{ps} [\sigma]_{20}}{[\sigma]} = \frac{1.5 \cdot 0.105096 \cdot 310}{310} = 0,157644$ МПа

Приймаємо $p_{пр} = 0,2$ МПа

Умовний тиск p_y – розрахунковий тиск при температурі 100°C , який використовується при виборі та розрахунку на міцність стандартних елементів (вузлів, деталей, арматури). Умовний тиск розраховується за формулою:

$$p_y = p_{ps} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 0,105096 \frac{310}{310} = 0,105096 \text{ МПа};$$

Значення $p_y = 0.105096$ МПа заокруглюємо до більшого стандартного найближчого з ряду: 0,1; 0,16; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4 і т.д.. Отже, умовний тиск p_y буде дорівнювати 0,16 МПа

Для зручності використання в подальших розрахунках отримані значення зводимо до таблиці:

Таблиця 5.3

Корпус апарату	Розрахунковий внутрішній тиск $p_{р.вн.}$, МПа	Розрахунковий зовнішній тиск $p_{р.з.}$, МПа	Пробний тиск $p_{пр.}$, МПа	Умовний тиск $p_{у.}$, МПа
оболонка, кришка, днище	0.105096	0.1	0.2	0.16

Вибір допустимих напружень конструкційного матеріалу

Номінальне допустиме напруження визначається за формулою:

$$[\sigma]^* = \frac{\sigma_b^t}{n_b} \text{ і } [\sigma]^* = \frac{\sigma_T^t}{n_T},$$

де σ_b^t - межа міцності при розтягу, МПа; σ_T^t - межа текучості, МПа; n_b , n_T - запаси міцності при розтягу і текучості відповідно.

Таблиця 5.4 - Характеристики сталі AISI 316

σ_b^t - межа міцності (при розтягу), МПа	580
σ_T^t - межа пружності (текучість), МПа	310
n_b - запас міцності (при розтягу), $p_n < 0,5$	2,6
n_T - запас міцності (для текучості), $p_n < 0,5$	1,5

$$[\sigma]_{316}^* = \frac{580}{2,6} = 223 \text{ МПа і } [\sigma]_{316}^* = \frac{310}{1,5} = 206,7 \text{ МПа}$$

Приймаємо значення допустимого напруження по мінімальному: $[\sigma]_{316}^* = 206,7 \text{ МПа}$

Сорочка та опори гранулятора виготовлені зі сталі AISI 304. Виконаємо розрахунки номінальних допустимих напружень.

Таблиця 5.5 - Характеристики сталі AISI 304

σ_b^t - межа міцності (при розтягу), МПа	560
σ_T^t - межа пружності (текучість), МПа	290
n_b - запас міцності (при розтягу), $p_n < 0,5$	2,6
n_T - запас міцності (для текучості), $p_n < 0,5$	1,5

$$[\sigma]_{304}^* = \frac{560}{2,6} = 215 \text{ МПа} \quad \text{і} \quad [\sigma]_{304}^* = \frac{290}{1,5} = 193,3 \text{ МПа}$$

Приймаємо значення допустимого напруження по мінімальному. Отже, $[\sigma]_{304}^* = 206,7 \text{ МПа}$.

Остаточні допустимі напруження, які приймаються під час розрахунку на міцність вузлів і деталей слід визначити за формулою:

$$[\sigma] = [\sigma]^* \cdot \eta,$$

де η - поправочний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації ($\eta = 0,9$);

$[\sigma]^*$ - номінальне допустиме напруження, Н/мм².

$$[\sigma]_{316} = 206,7 \cdot 0,9 = 186,03 \text{ МПа},$$

$$[\sigma]_{304} = 193,3 \cdot 1,0 = 193,3 \text{ МПа}.$$

5.4. Розрахунок основних вузлів і деталей апарату

5.4.1 Розрахунок механічного перемішуючого пристрою

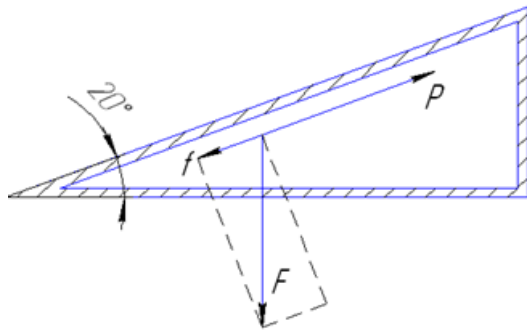


Рис. 5.7. Розріз лопаті мішалки

Маса таблетсуміші, яку мішалка переміщує за один оберт:

$$m = \rho \cdot V_p = 500 \cdot 420 = 210 \text{ кг},$$

де ρ – густина таблетсуміші, кг/м^3

Визначимо вагу, яку переміщує мішалка:

$$F = m \cdot g = 210 \cdot 9,81 = 2060,1 \text{ Н},$$

де g – прискорення вільного падіння, $\text{м}^2/\text{с}$.

Зусилля переміщення визначаємо за формулою:

$$P = F(\sin \alpha + f \cos \alpha),$$

де α – кут нахилу лопаті мішалки; f – коефіцієнт тертя матеріалу об лопаті мішалки, $f = 0,02$

$$P = 2060,1(\sin 20 + 0,02 \cdot \cos 20) = 601,7 \text{ Н}$$

Отримати зусилля, потрібне для перемішування, можна розрахувавши крутний момент мішалки:

$$M_{кр} = R \cdot P = \frac{1,090}{2} \cdot 601,7 = 328 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де R – плече прикладання сили (радіус дна апарата), м.

Отже, потужність, яка необхідна для роботи пристрою перемішування:

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n}{9550} = \frac{328 \cdot 150}{9550} = 5,15 \text{ кВт},$$

де n – швидкість обертання мішалки, м/хв.

Розрахунок привода мішалки

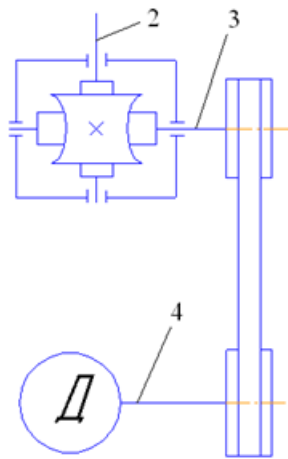


Рис. 3.8. Кінематична схема привода мішалки

1) Визначимо потужність на валах.

$$N_{II} = \frac{N_I}{\eta_1} = \frac{5,15}{0,85} = 6,06 \text{ кВт}$$

$$N_{III} = \frac{N_{II}}{\eta_2} = \frac{6,06}{0,97} = 6,25 \text{ кВт} \quad N_{\text{дв}} = N_{IV} = \frac{N_{III}}{\eta_3} = \frac{6,25}{0,9}$$

де $N_I, N_{II}, N_{III}, N_{IV}$ та $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_n$ - потужності та ККД окремих ланок кінематичного ланцюга

З врахуванням розрахункової потужності $N_{\text{дв}}$ та особливостей роботи приводу за каталогом обираємо двигун марки АИРМ132S4 з потужністю 7,5кВт та максимальною кількістю обертів 1440 об/хв.

3) Визначення частоти обертання валів.

Для розрахунку потрібно скористатися визначенням загального передаточного числа:

$$u_{\text{заг}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{вих}}} = u_1 \cdot u_2,$$

де $n_{\text{дв}}$ - частота обертання електродвигуна, $n_{\text{вих}}$ - частота обертання вихідної ланки, u_1 - передаточне число клинопасової передачі, u_2 - передаточне число конічної передачі.

$$u_{\text{заг}} = \frac{1440}{150} = 9,67$$

Приймаємо, що $u_1 = 1,07; u_2 = 9$.

$$n_4 = 1440 \text{ об/хв}$$

$$n_3 = \frac{n_2}{u_1} = \frac{1440}{1,07} = 1345,79 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = n_1 = \frac{n_3}{u_2} = \frac{1345,79}{9} = 150 \text{ об/хв}$$

4) Визначення крутних моментів окремих ланок кінематичного ланцюга:

$$M_{\text{кр}} = 9550 \cdot \frac{N}{n}$$

$$M_1 = 9550 \cdot \frac{N_1}{n_1} = 9550 \frac{5,15}{150} = 328 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_2 = 9550 \cdot \frac{N_2}{n_2} = 9550 \frac{6,06}{150} = 385,82 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_3 = 9550 \cdot \frac{N_3}{n_3} = 9550 \frac{6,25}{1345,79} = 44,35 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_4 = 9550 \cdot \frac{N_4}{n_4} = 9550 \frac{6,54}{1440} = 43,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Усі одержані значення заносимо до таблиці 5.6.

	$N, \text{кВт}$	$n, \text{об/хв}$	$M_{кр}, \text{Н} \cdot \text{м}$
I	37,68	2945,00	328
II	37,5	2945,00	385,82
III	36,37	1350,92	44,35
IV	30,91	150,00	43,3

Розрахунок валу мішалки за умовами міцності

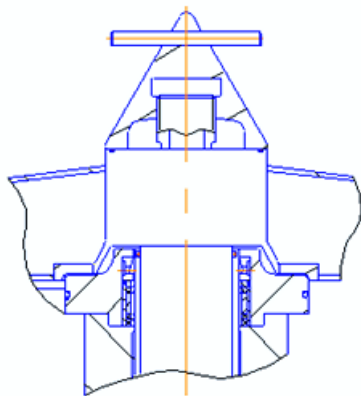


Рис. 5.9. З'єднання валу з мішалкою

Визначаємо мінімальний діаметр валу в місці розташування лопатей мішалки :

$$d = \sqrt[3]{\frac{328000}{0,1 \cdot 194} \frac{M_{np}^{max}}{0,1 \cdot [\sigma]}} \text{ мм,}$$

$[\sigma]$ – допустиме напруження матеріалу валу мішалки,
 $[\sigma] = 194 \text{ МПа}$

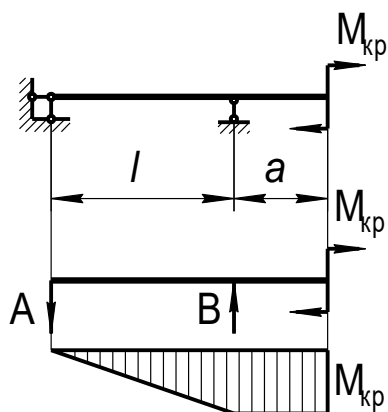
Приймаємо діаметр валу 80 мм .

Полярний момент опору інерції валу W_p (м^3) в небезпечному перетині розраховується по формулі:

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{3,14 \cdot (80 \cdot 10^{-3})^3}{16} = 1,00 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3,$$

де d – діаметр ділянки валу під маточину, м.

Перевірка умови виконання міцності на згин.



$$\sigma = \frac{M_{зг.мах}}{W_p[\sigma]}$$

Для даної схеми навантаження балки:

$$M_{зг.мах} = M_{\hat{E}D},$$

$$\sigma = \frac{328}{1,00 \cdot 10^{-4}} = 3,28 \cdot 10^6 < 40 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Рис. 5.10. Схема кріплення валу

Перевірка умови виконання міцності на кручення:

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{W_p} \leq [\tau]_{кр}$$

де $[\tau]_{кр} = 0,5[\sigma]$ – допустиме напруження кручення, Па.

$$[\tau]_{кр} = 0,5 \cdot 40 \cdot 10^6 = 20 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\tau_{кр} = \frac{328}{1,00 \cdot 10^{-4}} = 3,14 \cdot 10^6 < 20 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Умова міцності виконується.

Розрахунок лопатей мішалки

Робочі елементи мішалки, такі як лопаті, піддаються впливу набігаючого потоку середовища під час перемішування. З огляду на корозійну стійкість, матеріал мішалок вибирається таким самим, як і матеріал стінок корпусу апарату. При цьому важливо враховувати допустимі напруження при розрахунковій температурі $[\sigma] = \sigma^* = 310 \text{ МПа}$

Трилопатева мішалка, обертаючись, генерує потік суміші, який має як колову, так і осьову складові. Колова F_t і осьова F_a сили, що діють на лопать зв'язані наступним співвідношенням:

$$F_a = ctg\alpha \cdot F_t, \text{ де } \alpha = 17^\circ - \text{кут нахилу лопаті}$$

$$\text{Колова сила, що діє на лопать: } F_t = \frac{M_{\text{кр}}}{0,4 \cdot d_m \cdot z_l} = \frac{328}{0,4 \cdot 1090 \cdot 10^{-3} \cdot 3} = 242,3 \text{ Н}$$

де $M_{\text{кр}}$ – розрахунковий крутний момент, Н·м; z_l – кількість лопатей, шт; d_m – діаметр лопатей мішалки, м.

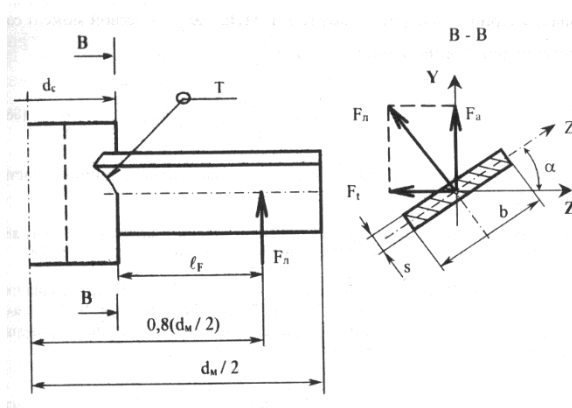


Рис. 5.11. Схема сил, які діють на лопать мішалки

Сумарна сила, яка діє нормально до площини лопаті, розраховується за формулою:

$$F_n = \frac{F_t}{\sin \alpha} = \frac{242,3}{\sin 17} = 828,7 \text{ Н}$$

Шов, розташований на місці приєднання лопаті до ступиці, піддається впливу згинаючого моменту:

$$M_{3\Gamma} = F_n \cdot l_F = F_n \left(0,8 \cdot \frac{d_m}{2} - \frac{d_c}{2} \right),$$

де d_c – діаметр маточини, м; 0,8 – коефіцієнт, що враховує радіус додатку сумарної сили до лопаті мішалки.

$$\begin{aligned} M_{3\Gamma} &= F_n (0,4 \cdot d_m - 0,5 \cdot d_c) \\ &= 828,7 (0,4 \cdot 1090 \cdot 10^{-3} - 0,5 \cdot 140 \cdot 10^{-3}) = 303,3 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

$$\text{Умова міцності зварного шва: } \sigma = \frac{M_{3\Gamma}}{W_{z1}} \leq [\sigma]'$$

де $[\sigma]'$ – допустиме напруження для матеріалу мішалки зварного шва, Па; σ – напруження матеріалу шва, МПа; W_{z1} – осьовий момент опору, м³.

$$W_{z1} = \frac{b \cdot s_p^2}{6} = \frac{77,5 \cdot 10^{-3} \cdot ((6 - 2) \cdot 10^{-3})^2}{6} = 20,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

де b – ширина лопаті, м; $s_p = s - 2 \cdot c$ – розрахункова товщина лопаті, м.

Для стикового шва таврового з'єднання:

$$[\sigma]' = \phi \cdot [\sigma] = 0,8 \cdot 40 \cdot 10^6 = 32 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

де $[\sigma]$ – допустиме напруження для матеріалу мішалки при розрахунковій температурі, Па; $\phi = 0,8$ – коефіцієнт міцності зварного шва для таврового з'єднання двостороннім швом при зварюванні вручну.

Перевірка міцності зварного шва:

$$\sigma = \frac{M_{зГ}}{W_{зГ}} = \frac{303,3}{20,7 \cdot 10^{-6}} = 14,65 \cdot 10^6 < [\sigma]' < 32 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Умова міцності виконується.

З'єднання шпонки з валом

Крутний момент, який передається з валу на ступицю мішалки, здійснюється за допомогою призматичної шпонки, яка розташована в пазах валу і маточини. Бічні грані на половині висоти шпонки сприймають напруження зминання $\sigma_{зм}$, а подовжній перетин – напруження зрізу $\sigma_{зр}$. Шпонку рекомендується виготовляти з того ж матеріалу, що і вал. Допустиме напруження $[\sigma]$ дорівнює нормативному допустимому напруженню σ^* .

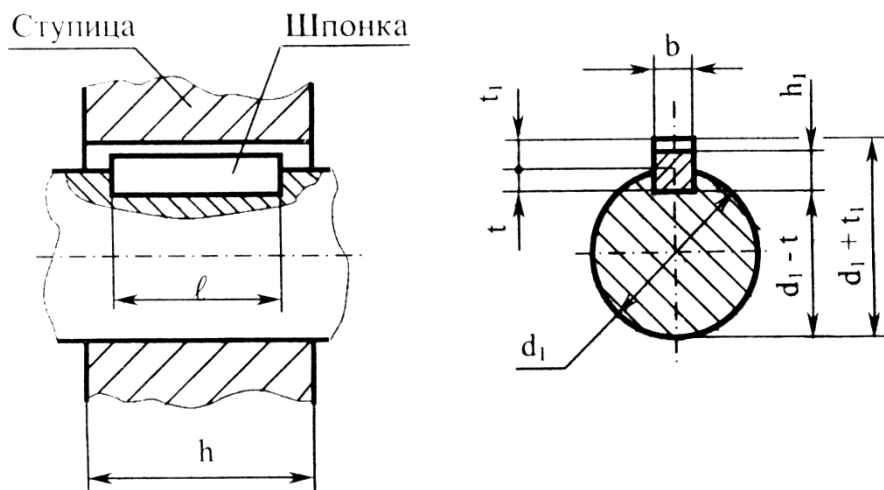


Рис. 5.12. Схема для розрахунку з'єднання шпонки

Довжини призматичних шпонок l (мм) приймають з урахуванням висоти маточини h конструктивно.

Оскільки $h = 85 \text{ мм} = 0,085 \text{ м}$, то $l = 0,085 - 0,015 = 0,07 \text{ м} = 70 \text{ мм}$.

Для з'єднання шпонки виконується *перевірочний розрахунок на зминання*. Шпонка витримує зусилля зминання, які діють з обох сторін: з боку валу і з боку маточини.

Сила зминання дорівнює:

$$F = \frac{M_{\text{кр}}}{0,5 \cdot d_1} = \frac{328}{0,5 \cdot 80 \cdot 10^{-3}} = 7,85 \cdot 10^3 \text{ Н},$$

де d_1 – діаметр ділянки валу під маточину мішалки.

Поверхня зминання визначається по формулі:

$$A_{\text{зМ}} = (l - b)(h_1 - t) = (70 \cdot 10^{-3} - 16 \cdot 10^{-3})(10 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-3}) \\ = 0,216 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Умова міцності шпонки на зминання дорівнює:

$$\sigma_{\text{зМ}} = \frac{F}{A_{\text{зМ}}} \leq [\sigma]_{\text{зМ}}$$

де $\sigma_{\text{зМ}}$ – напруження зминання на бічні поверхні шпонки, Па.

$[\sigma]_{\text{зМ}} = 1,5 \cdot [\sigma]$ – допустиме напруження на зминання матеріалу шпонки, Па.

$$[\sigma]_{\text{зМ}} = 1,5 \cdot [\sigma] = 1,5 \cdot 40 \cdot 10^6 = 60 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\sigma_{\text{зМ}} = \frac{F}{A_{\text{зМ}}} = \frac{7,85 \cdot 10^3}{0,216 \cdot 10^{-3}} = 36,3 \cdot 10^6 < [\sigma]_{\text{зМ}} < 60 \cdot 10^6$$

Умова міцності виконується.

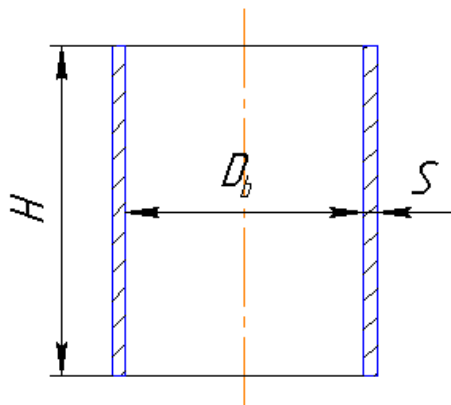
У даному пристрої також використовується спеціальний чопер для розбивання грудочок, які час від часу утворюються при перемішуванні суміші з клейстером. Для чопера важливо враховувати, що оптимальна швидкість обертання знаходиться в межах 750-1700 обертів за хвилину. Таким чином, для цього чопера обрано двигун марки 4A71B2Y3 з потужністю 1,1 кВт і максимальним числом обертів 2810 обертів за хвилину.

5.5. Розрахунок товщини стінок з умов міцності

5.5.1. Розрахунок товщини стінки

Товщина стінок оболонок, які піддаються внутрішньому надлишковому тиску, визначається на основі рівнянь, одержаних з умови міцності.

Визначаємо відношення визначальних параметрів $[\sigma]_{316}$ і p із врахуванням коефіцієнта $\phi = 0,8$



$$\frac{[\sigma]_{316}}{p} \phi = \frac{186,03}{0,105096} \cdot 0,8 = 1416 > 25$$

Виконуємо розрахунок номінальної товщини стінки s'

$$s' = \frac{p_{р.вн} \cdot D_{вн}}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]}$$

Рис 5.13.

де $p_{р.вн}$ – розрахунковий внутрішній тиск, Па; $D_{вн}$ – внутрішній діаметр оболонки, м; ϕ – коефіцієнт міцності зварного шва; $[\sigma]$ – допустиме напруження, Па.

$$s' = \frac{0,105096 \cdot 10^6 \cdot 1,09}{2 \cdot 0,8 \cdot 186,03 \cdot 10^6} = 0,00138 \text{ м} = 1,38 \text{ мм}$$

Товщину стінки визначаємо за формулою із врахуванням надбавок:

$$s = s' + C = 1,38 + 2,0 = 3,38 \text{ мм}$$

За рекомендаціями табл.15.3 [1] приймаємо розмір товщини стінки 4 мм.

Виконаємо перевірку правильності розрахунку за такою умовою $\frac{s - C_k}{D_g} \leq 0,1$

$$\frac{4 - 2}{1090} = 1,8 \cdot 10^{-3} < 0,1$$

Умова виконується.

5.5.2. Розрахунок еліптичного днища

Внутрішній надлишковий тиск в днищі розраховується аналогічно до того, як це робиться для оболонки апарату, оскільки вони піддаються однаковим тискам..

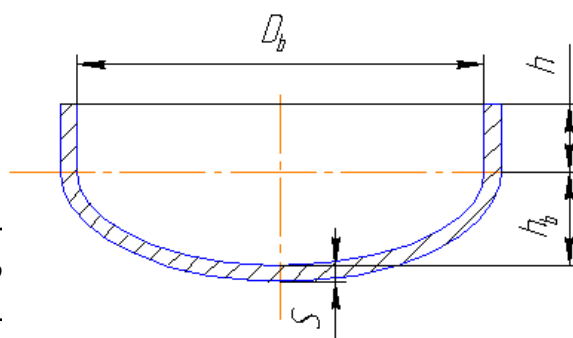


Рис.5.14

Оскільки $\frac{[\sigma]_{316}}{p} \phi = \frac{186,03}{0,105096} \cdot 0,8 = 1416 > 25$,

виконаємо розрахунок за такою формулою

$$s' = \frac{p_{pzn} \cdot D_{en}}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]} = \frac{0,105096 \cdot 10^6 \cdot 1,09}{2 \cdot 0,8 \cdot 186,03 \cdot 10^6} = 0,00138 \text{ м} = 1,38 \text{ мм}$$

Товщину стінки визначаємо за формулою із врахуванням надбавок:

$$s = s' + C = 1,38 + 2,0 = 3,38 \text{ мм}$$

Приймаємо розмір товщини стінки 4 мм.

Перевіримо правильність розрахунку за такою умовою $\frac{s - C_k}{D_e} \leq 0,1$

$$\frac{4 - 2}{1090} = 1,8 \cdot 10^{-3} < 0,1$$

Для днища $s = s' + C + C' = 2,38 + 2,0 + 1,5 = 5,88 \text{ мм}$,

де C' - прибавка за технологічними вимогами до роботи апарата, мм

Приймаємо розмір товщини стінки 6 мм.

5.5.3. Розрахунок товщини стінок оболонок з умови стійкості

Розрахунок товщини стінки циліндричної оболонки:

$$s_{up2} = D \left(\frac{p_{pz} \cdot n_y \cdot l_u}{2,08 \cdot E \cdot D} \right)^{0,4}$$

де p_{pz} – розрахунковий зовнішній тиск, Па; s_{up} - розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки з умови стійкості, м; l_u – розрахункова довжина циліндричної обичайки, м; $n_y = 2,4$ – коефіцієнт запасу стійкості; E – модуль повздовжньої пружності матеріалу оболонки, Па; D – внутрішній діаметр оболонки, м.

$$s_{up2} = 1,09 \cdot \left(\frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot 2,4 \cdot 0,75}{2,08 \cdot 1,98 \cdot 10^{11} \cdot 1,09} \right)^{0,4} = 0,0071 \text{ м} = 7,1 \text{ мм}$$

Товщину стінки розраховуємо за формулою із врахуванням надбавок:

$$s = s_{up} + C = 7,1 + 2,0 = 9,1 \text{ мм}$$

Приймаємо $s = 10$ мм.

Розрахунок товщини стінки еліптичного днища:

$$s_{ep} = K \cdot D \cdot \sqrt{\frac{p_{pн} \cdot n_y}{0,26 \cdot E}}$$

де s_{ep} – розрахункова товщина еліптичної оболонки з умови стійкості, м; $p_{p..з}$ – розрахунковий зовнішній тиск, що діє на днище або кришку, Па; $n_y = 2,4$ – коефіцієнт запасу стійкості; E – модуль повздовжньої пружності матеріалу оболонки при розрахунковій температурі, Па; $K \approx 0,9$ – коефіцієнт приведення радіусу еліпса; D – внутрішній діаметр обичайки, м.

$$s_{ep}^{kp} = s_{ep}^{\partial n} = 0,9 \cdot 1,09 \cdot \sqrt{\frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot 2,4}{0,26 \cdot 1,98 \cdot 10^{11}}} = 0,0021 \text{ м}$$

Товщину стінки із врахуванням надбавок розраховуємо за формулою:

$$s = s_{ep} + C = 2,1 + 2,0 = 4,1 \text{ мм}$$

Приймаємо $s = 4$ мм.

Для днища $s = s_{ep} + C + C' = 2,1 + 2,0 + 1,5 = 5,6 \text{ мм}$,

де C' - прибавка за технологічними вимогами до роботи апарата, мм.

Приймаємо $s = 6$ мм.

Визначення виконавчої товщини стінок оболонок

Оскільки з двох розрахованих товщин стінки циліндричної оболонки (за умовами міцності і стійкості) більшою є величина 10мм, то ми приймаємо її для конструювання. Для еліптичної кришки величини однакові і дорівнюють 4мм, а для днища – 6мм.

Товщина стінок оболонок

Таблиця 5.7

Оболонка апарату	Виконавча товщина стінки, мм (з поправкою)
Корпус:	
Циліндрична частина	10
Кришка	6
Днище	6

Визначення допустимого тиску

Технічні характеристики обладнання включають в себе внутрішній і зовнішній допустимий (граничний) тиск, який визначає технологічні резерви пристрою.

Розрахунок внутрішнього допустимого тиску(граничного)

Для циліндричної оболонки

$$P_{\text{ДОПВ}} = \frac{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] \cdot (S_{\text{Ц}} - C_k)}{D + (S_{\text{Ц}} - C_k)}$$

$$P_{\text{ДОПВ}} = \frac{2 \cdot 0.8 \cdot 186,03 \cdot 10^6 \cdot (10 \cdot 10^{-3} - 0,96 \cdot 10^{-3})}{1.09 + (10 \cdot 10^{-3} - 0,96 \cdot 10^{-3})} = 2,45 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$2,45 \text{ МПа} > P_{\text{РВ}} > 0.105096 \text{ МПа}$$

Для еліптичної кришки

$$P_{\text{ДОПВ}} = \frac{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] \cdot (S_e - C_k)}{D + (S_{\text{Ц}} - C_k)}$$

$$= \frac{2 \cdot 0.8 \cdot 186,03 \cdot 10^6 \cdot (4 \cdot 10^{-3} - 0,96 \cdot 10^{-3})}{1.09 + (4 \cdot 10^{-3} - 0,96 \cdot 10^{-3})} = 0,83 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$0,83 \text{ МПа} > P_{\text{РВ}} > 0.105096 \text{ МПа}$$

Для еліптичного днища

$$P_{\text{ДОПВ}} = \frac{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] \cdot (S_e - C_k)}{D + (S_{\text{Ц}} - C_k)}$$

$$= \frac{2 \cdot 0.8 \cdot 186,03 \cdot 10^6 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 0,96 \cdot 10^{-3})}{1.09 + (6 \cdot 10^{-3} - 0,96 \cdot 10^{-3})} = 1,37 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$1,37 \text{ МПа} > P_{\text{РВ}} > 0.105096 \text{ МПа}$$

Розрахунок зовнішнього допустимого тиску(граничного)

Обичайки, днище, кришка перевіряються на стійкість по умові

$P_{\text{доп.3}} \geq P_{P.3}$, де РДОП.3 – значення зовнішнього допустимого тиску для елемента корпусу, що розраховується, Па

Для циліндричної обичайки

$$\begin{aligned} P_{\text{доп.3}} &= \frac{2,08 \cdot E \cdot D}{n_y \cdot l_{\text{ц}}} \cdot \left(\frac{S_{\text{ц}} - C_{\text{к}}}{D} \right)^{\frac{5}{2}} \\ &= \frac{2,08 \cdot 1,98 \cdot 10^{11} \cdot 1,09}{2,4 \cdot 0,75} \cdot \left(\frac{10 \cdot 10^{-3} - 0,96 \cdot 10^{-3}}{1,09} \right)^{\frac{5}{2}} \\ &= 1,56 \cdot 10^6 \text{ Па} \end{aligned}$$

$$1,56 \text{ МПа} > P_{P.3} > 0,1 \text{ МПа}$$

Для еліптичної кришки

$$\begin{aligned} P_{\text{доп.3}} &= \frac{2,08 \cdot E \cdot D}{n_y} \cdot \left(\frac{S_{\text{ц}} - C_{\text{к}}}{D \cdot K} \right)^{\frac{5}{2}} \\ &= \frac{2,08 \cdot 1,98 \cdot 10^{11} \cdot 1,09}{2,4} \cdot \left(\frac{4 \cdot 10^{-3} - 0,96 \cdot 10^{-3}}{1,09 \cdot 0,9} \right)^{\frac{5}{2}} \\ &= 0,99 \cdot 10^6 \text{ Па} \end{aligned}$$

$$0,99 \text{ МПа} > P_{P.3} > 0,1 \text{ МПа}$$

Для еліптичного днища

$$\begin{aligned} P_{\text{доп.3}} &= \frac{2,08 \cdot E \cdot D}{n_y} \cdot \left(\frac{S_{\text{ц}} - C_{\text{к}}}{D \cdot K} \right)^{\frac{5}{2}} \\ &= \frac{2,08 \cdot 1,98 \cdot 10^{11} \cdot 1,09}{2,4} \cdot \left(\frac{6 \cdot 10^{-3} - 0,96 \cdot 10^{-3}}{1,09 \cdot 0,9} \right)^{\frac{5}{2}} \\ &= 0,35 \cdot 10^6 \text{ Па} \end{aligned}$$

$$0,35 \text{ МПа} > P_{P.3} > 0,1 \text{ МПа}$$

Розрахунок штуцерів. Зміцнення отворів

Введення отворів у оболонках апарату та днищах є необхідним для розміщення штуцерів, трубопроводів, люків, лазів і інших необхідних елементів. Однак важливо враховувати, що отвори можуть знижувати несучу здатність конструкції та викликати концентрацію напружень поблизу краю отвору.

Найбільший допустимий діаметр отвору d_0 (мм) в оболонці, що не вимагає додаткового зміцнення розраховується за формулою:

$$d_0 = 2 \left[\left(\frac{s - C_k}{s'} - 0,8 \right) \sqrt{D_b (s - C_k)} - C_k \right],$$

де s, s' – виконавча і розрахункова (з умови міцності) товщина стінки оболонки відповідно, мм; C_k – надбавка на корозію, мм; D_b – внутрішній діаметр оболонки або днища, мм.

Порахуємо отвори в еліптичній кришці корпусу:

$$d_0^k = 2 \left[\left(\frac{4 - 0,96}{1,38} - 0,8 \right) \sqrt{1090(4 - 0,96)} - 0,96 \right] = 158,8 \text{ мм}$$

Оскільки $d_1 = 180 \text{ мм}, d_2 = 120 \text{ мм}, d_3 = 50 \text{ мм}$, тоді слід виконати зміцнення лише одного отвору в кришці ($d_1 = 180 \text{ мм} > d_0 = 158,8 \text{ мм}$).

Площа перерізу отвору в стінці, яка підлягає компенсації при потрібному укріпленні для отворів, що закриваються кришками, розраховується за формулою:

$$F_0 = (d - d_0) s',$$

де d, d_0 – діаметр отвору та найбільший допустимий діаметр, що не потребує зміцнення відповідно, мм; s' – розрахункова товщина стінки оболонки, мм.

$$F_0 = (180 - 158,8) 3,38 = 71,7 \text{ мм}^2$$

Площа перерізу штуцера, який бере участь в односторонньому кріпленні, може бути розрахована:

$$F_{ш} = 2(l + s - s' - C_k)(s_{ш} - s'_{ш} - C_k),$$

де l – зовнішня довжина частини штуцера, мм; $s_{ш}, s'_{ш}$ – відповідно виконавча та розрахункова товщини стінок штуцера, мм.

Розрахункова товщина посиленої стінки штуцера розраховується за формулою:

укріплена частина кришки; 2- кришка; 3- штуцер.

$$s'_{uu} = 0,6 \frac{R_1 p}{\sigma_{\partial uu}} \sqrt{\frac{\lambda}{0,7\lambda + \sqrt{\lambda}} \cdot \frac{\sigma_{\partial uu}}{p} \cdot \left(1 - 0,7 \sqrt{\frac{s_k}{\lambda R_1}}\right) \sqrt{\frac{s_k}{R_1}}} = 0,6 \frac{961 \cdot 0,105096}{186,03} \times$$

$$\times \sqrt{\frac{0,094}{0,7 \cdot 0,094 + \sqrt{0,094}} \cdot \frac{186,03}{0,105096} \cdot \left(1 - 0,7 \sqrt{\frac{4}{0,094 \cdot 961}}\right) \sqrt{\frac{4}{961}}} = 2,6 \text{ мм}$$

$$s_{uu} = s'_{uu} + C = 2,6 + 2,0 = 4,6 \text{ мм}$$

Приймаємо $s_{uu} = 6 \text{ мм}$

Розрахункова ширина укріпленої частини днища розраховується за формулою:

$$B_1 = 1,4 \sqrt{R_1 s_k} = 1,4 \sqrt{961 \cdot 6} = 106 \text{ мм}$$

$$B_2 = 1,4 \sqrt{R_2 s_k} = 1,4 \sqrt{824 \cdot 6} = 98,4 \text{ мм}$$

$$R_2 = \frac{D_6}{\sqrt{1 + 3 \sin^2 \varphi'}} = \frac{1090}{\sqrt{1 + 3 \sin^2 30}} = 824 \text{ мм}$$

Розрахункова довжина укріпленої частини штуцера розраховується за формулою: $l' = \sqrt{(d + s_{uu})s_{uu}} = \sqrt{(180 + 6)6} = 34 \text{ мм}$

РОЗДІЛ 6. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО МОНТАЖУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ АПАРАТУ

Перед монтажем, введенням в експлуатацію і ремонтом будь-якого обладнання необхідно чітко вивчити інструкцію та технічну документацію.

При проектуванні комбікормових заводів потрібно правильно розташувати технологічне обладнання. Для того щоб, не порушити основні вимоги технологічного процесу, тобто встановлювати на верхньому поверсі прес-гранулятор, нижче охолоджувач і вальцьовий подрібнювач, норія, а потім просіювальну машину.

Календарні графіки розподіляють на: зведені загально-будівельні, кварталні, місячні, тижневі, і добові.

При монтажі обладнання на підприємствах переробної промисловості, що знаходиться у взаємному комунікаційному і технологічному зв'язку, велике значення має правильність і точність розмітки. Тому що при помилках у розмітці під час експлуатації машин перегріваються підшипники, відбувається биття, зачіпання робочих органів обладнання об нерухомі поверхні.

Монтаж гранулятора

На підприємство гранулятор поступає в зібраному вигляді. До монтажу і пуску в експлуатацію гранулятор зберігається в закритих приміщеннях.

Гранулятор монтується в приміщенні категорії "Б". Потрібно виконати підтяжку всіх болтових з'єднань, так як в процесі транспортування могло виникнути їх послаблення. Виконують попередньо прив'язку обладнання установки до приміщення, враховуючи взаємне розташування машин, прокладку трубопроводів і комунікацій, які зв'язують машини між собою і з комунікаціями підприємства.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Гавва О.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Коротун Л.О.	Назва, додаткова назва Рекомендації щодо монтажу та		22-2150.MP.03.006.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/5

Перед монтажем гранулятора монтуються металомагнітні пристрої та засоби для подачі продукту в дозатор преса і відводу готових гранул.

Монтаж преса проводиться на спеціально підготовленому майданчику з покриттям бетону або асфальтобетону (товщина покриття не менше 400-500 мм і кріпиться анкерними болтами), який знаходиться на вищому рівні ніж охолоджувальна колона, з метою забезпечення самопливу гранул в охолоджувач. Потік гранул, що надходить в охолоджувач повинен бути направлений по осі охолоджувача і розділитися рівномірно на обидві камери охолоджувача. Потік гранул не повинен бути направлений на датчики рівня.

Секції встановлюють починаючи з нижньої, вивіряючи при цьому їх на горизонтальність та співвісність. Основа пресуючої частини кріпиться на сталевій несучій рамі, між якими знаходиться гумова прокладка, яка розміщується по всій довжині рами.

Над пресуючою частиною за допомогою фланцевого з'єднання кріпляться патрубков подвійного змішувача і прес-гранулятора. Корпуси з'єднуються за допомогою виступів на торцях стінок корпусів болтовим з'єднанням.

Встановивши на запроектоване місце секції прес-гранулятора, підключають систему подачі пари по відповідній схемі. Потім встановлюють шафу управління безпосередньо біля преса в зручному для обслуговування місці. Панель управління встановлюється в щитовому приміщенні, яке є вибухобезпечним. Після цього корпус прес-гранулятора і шафу управління заземлюють.

Проводиться перевірка обмоток електродвигунів, опір яких повинен становити 1 МОм, перевіряють натяг пасів передач приводу. Після цього проводять підключення до електричної мережі.

Короткочасним включенням електродвигунів перевіряється правильність напрямку руху всіх органів і плавність роботи прес-гранулятора на холостому ходу протягом 2-х хвилин. Під час випробування

візуально слідкують за надійністю кріплень деталей. З метою притирки підшипників прес-гранулятор обкатують під навантаженням в наступному порядку:

- 14-20 - годинна робота продуктивністю не більше 3000-4000 кг/год;
- 5-6-денна робота продуктивністю 6000-7000 кг/год.

Перед пуском в експлуатацію проводять зовнішній огляд і видаляють сторонні предмети із місць обслуговування, проводять змащування підшипників і всіх деталей, що підлягають тертю, регулюють положення роликів відносно матриці.

Перед запуском в експлуатацію потрібно забезпечити подачу пари в змішувач і продукту в камеру гранулювання, тому включають парогенератор і заповнюють накопичувальні бункери. Включають охолоджуючу колонку, для забезпечення відводу готових гранул. Після цього включають приводи гранулятора, змішувача і живильного шнека на найнижчих обертах. Проводять перевірку тиску пари на манометрі. Тиск повинен становити 1-2 бар, пара повинна бути сухою.

При отриманні сигналу про надходження продукту в живильний шнек, підвищують число обертів шнека і включають підвід пари. Параметри пари регулюють до тих пір, поки пропарений комбікорм не відповідатиме вимогам. Температуру пари потрібно збільшувати поетапно зі збільшенням навантаження на 5-10 °С до досягнення нею робочого значення. Число обертів шнека і підвід пари також поступово збільшують до досягнення максимального навантаження. Якщо необхідно регулюють ножі на задану довжину гранул.

При досягненні максимального допустимого навантаження прес-гранулятора і стабільної його роботи включають автоматичне управління процесом гранулювання.

По закінченню процесу гранулювання встановлюють число обертів живильного шнека до найнижчого значення, зменшують подачу пари. Через

1-2 хв. виключають живильний шнек. Чекають поки вийде весь продукт із змішувача і виключають його, а потім відключають і подачу пари. Гранулятор не вимикають, доки не випресуються останні гранули. Щоб не виник процес конденсації відчиняють дверцята прес-гранулятора.

В процесі експлуатації прес-гранулятора можливе виникнення наступних неполадок, які приведені в таблиці 5

Неполадка	Причина	Спосіб усунення
1 Гранулятор зупиняється під час роботи.	1 Вихід з ладу обладнання лінії після гранулювання	1 Включи обладнання або знайди несправність в обладнанні.
2 Замала продуктивність по готовому продукту.	2.1 Неправильно встановлена відстань між валка-ми. 2.2 Забиті отвори у матриці.	2.1 Встановити правильну відстань між валками і матрицею. 2.2 Прочистити отвори матриці і знову її встановити.
3 Автоматичне змазування обертових частин преса не відбувається.	3.1 Засмічені масляні фільтри. 3.2 Недостатній тиск мастила.	3.1 Прочистити фільтри або замінити. 3.2 Встановити тиск мастила ± 150 бар.
4 Недостатня якість гранул.	4.1 Спрацювання матриці. 4.2 Зазор між валком і матрицею не відповідає нормі.	4.1 Замінити матрицю на нову. 4.2 Відрегулювати зазор між валкам і матрицею.

При закінченні терміну роботи матриці та роликів їх демонтують та замінюють на нові. Під час демонтажу, щоб витягти ролики їх треба повернути навколо своєї осі, але це можливо лише після зняття

регулювальної(натискної) пластини, в якій вони закріплені. Тому спочатку послаблюють гайки і болти регулювальної пластини, видаляють запобіжний штифт, а потім знімають пластину. Що дає можливість повернути ролики по осі щоб витягти їх із гнізд торцевої стінки тримача.

Відстань між матрицею і роликами регулюється спеціальними мітками, тому заміряти зазор між роликами і матрицею не потрібно.

Перед демонтажем роликів перевіряють, чи є спрацювання роликів і монтажної поверхні задовільним.

Якщо ні, то ролики замінюють. Для демонтажу матриці використовується лебідка, яка встановлена на пресі. Демонтаж матриці починають із зняття планшайби. Для цього троси лебідкою підкручують так, щоб за допомогою спеціального гака піддіти планшайбу з невеликим натягом.

Це потрібно для запобігання падіння кришки, після того як вона буде знята. Після цього викручують болти і знімають кришку(планшайбу) матриці. Далі відбувається демонтаж самої матриці. Спочатку знімають кришки гідроциліндрів, що розташовані на задній стінці тримача матриці, позаду бокових дверцят. Тоді закріплюють гайки на шпильки, що виступають з гідроциліндрів і викручують їх, але не повністю. Так само роблять і з короткими шпильками, що виступають із задньої стінки тримача. Для того, щоб матриця відійшла від торцевої поверхні тримача, у гідроциліндри подають повітря під тиском 300 бар, що створюється спеціальним компресором. Матрицю кріплять до спеціального підйимального пристрою, і лебідкою підкручують троси для створення натягу, щоб запобігти падінню матриці. Після цього остаточно викручують болти з задньої частини гідроциліндрів і знімають матрицю. Тиск опускають до 0 бар і гідроциліндри повертаються у вихідне положення.

де $\eta_n = 0,45$ - коефіцієнт екранування смуги;

$\eta = 0,69$ - коефіцієнт екранування стрижнів.

Допустимий опір заземлення $R_{\text{доп}} = 30 \text{ Ом}$.

Оскільки $R < R_{\text{доп}}$, то захисне заземлення відповідає заданим умовам і вимогам ПУЕ.

7.ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ОБЛАДНАННЯ

За терміном "життєвий цикл" ("Lifecycle") стоять два поняття – "маркетинговий життєвий цикл" (МЖЦ) і "функціональний життєвий цикл" (ФЖЦ). МЖЦ має відношення до поведінки певного виду продукції на ринку і завершується моральним спрацьованням і зняттям з виробництва, а ФЖЦ пов'язаний із функціональним призначенням виробу і завершується фізичним спрацьованням і утилізацією. Прикладом можуть служити персональні комп'ютери. Маркетинговий життєвий цикл систем на базі Pentium 4 закінчився, але фізично їх успішно продовжують експлуатувати в багатьох організаціях.

Життєвий цикл, як визначає його ДСТУ 3278-95 «Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Основні терміни та визначення» життєвий цикл продукції (виробу) – це сукупність взаємопов'язаних процесів зміни стану продукції від початку дослідження та обґрунтування розроблення до припинення експлуатації виробу, застосування (зберігання) матеріалу.

Згідно з ДСТУ 3278-95 «Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Основні терміни та визначення» у життєвому циклі поштучної продукції виділяють такі стадії:

- дослідження та обґрунтування розроблення;
- процес розроблення, виробництво;
- експлуатація та капітальний ремонт (для виробів, які підлягають капітальному ремонту).

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Гавва О.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Коротун Л.О.	Назва, додаткова назва Життєвий цикл обладнання	22-2150.MP.03.006.ПЗ				
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/4	

Оскільки зараз все більше уваги приділяється охороні довколишнього середовища, повторному використанню сировини, безвідходному виробництву тощо до заключної стадії (етапу) ЖЦВ відносять утилізацію.

Сучасні стандарти типу ISO 9000 життєвий цикл описують більш детальними стадіями. Обмежимося поданням життєвого циклу виробу у вигляді схеми, наведеної на рис. 3.1.

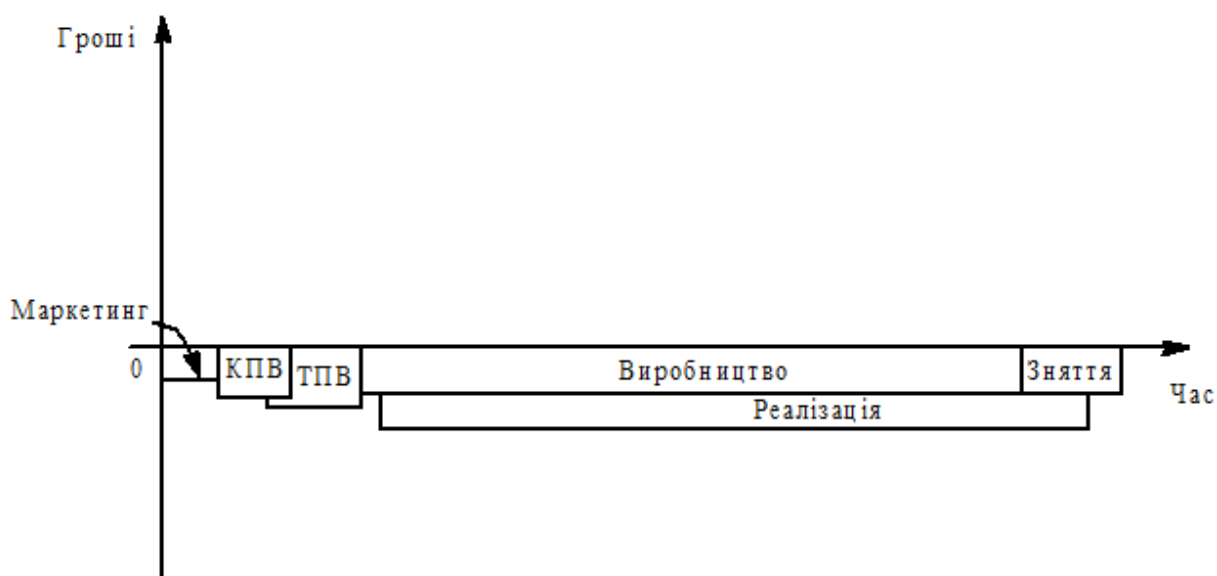


Рис. 7.1. – Етапи типового життєвого циклу виробу в часі

Фармацевтична система якості (PQS — Pharmaceutical Quality System), яка була регламентована Міжнародною конференцією по гармонізації вимог до реєстраційної документації на лікарські засоби, сформувала комплекс вимог до якості упродовж терміну життєвого циклу лікарського засобу.

Обладнання, устаткування та інжинірингові системи є одним з ключових елементів, що мають прямий вплив на забезпечення якості як у виробництві, так і при фармацевтичній розробці. Можливість належного функціонування устаткування закладається на етапах його проектування і конструювання в такій же мірі, як і якість серійно вироблюваного готового лікарського засобу закладається (проектуються) на етапах його фармацевтичної розробки. Тому елементи фармацевтичної системи якості, що застосовуються до відповідних етапів життєвого циклу лікарських засобів, в такій же мірі можуть бути

інтерпретовані відносно життєвого циклу обладнання та інжинірингових систем. Оцінка відповідності устаткування вимогам GMP повинна розпочинатися з формулювання технічного завдання (ТЗ) для проектування фармацевтичного обладнання (URS — User Requirement Specifications) і з оцінки (кваліфікації) самого технічного завдання (SQ — Specification Qualification) [4]. Технічне завдання на проектування обладнання та інжинірингових систем повинно враховувати вимоги до якості лікарського засобу, технологічного процесу, вимоги до матеріалів тощо.

Життєвий цикл фармацевтичного обладнання включає в себе кілька етапів, починаючи від концепції розробки і закінчуючи виведенням з експлуатації.

Основні етапи цього циклу можуть бути описані наступним чином:

Концепція та проектування: визначення вимог до обладнання відповідно до потреб фармацевтичного виробництва.

Розробка концепційних та технічних проектів. Врахування вимог до стандартів безпеки, які встановлені для фармацевтичної промисловості.

Розробка та виготовлення: Створення детальних конструкторських схем та креслень. Виготовлення прототипів та проведення тестувань.

Вибір матеріалів, які відповідають стандартам чистоти та безпеки у фармацевтичній виробничій середовищі.

Валідація та тестування: Виконання процедур валідації, щоб переконатися у відповідності обладнання стандартам та вимогам. Проведення різних видів тестувань, включаючи функціональні, безпеки та надійності.

Введення в експлуатацію: Інсталяція та налаштування обладнання на місці його експлуатації. Навчання персоналу, який буде працювати з обладнанням. Початок комерційної експлуатації.

Експлуатація та обслуговування: Регулярне технічне обслуговування для забезпечення правильної роботи обладнання. Вирішення можливих проблем

та поломок. Дотримання стандартів щодо безпеки та якості у всій тривалості експлуатації.

Модернізація та виведення з експлуатації: Внесення змін або модернізацій для вдосконалення функціональності чи відповідності новим стандартам. Планування та виконання виведення з експлуатації обладнання, якщо воно застаріло або не відповідає поточним вимогам.

Цей цикл є невід'ємною частиною життєвого циклу фармацевтичного виробництва та визначається необхідністю забезпечити високу якість та безпеку виробництва лікарських засобів.

РОЗДІЛ 8. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Як підсистема загальної системи управління виробництвом СУОП повинна передбачати:

- організацію і координацію робіт (обов'язки, відповідальність, повноваження керівників різного рівня, осіб, які виконують та перевіряють виконання роботи);
- облік, аналіз та оцінка ризиків;
- планування показників стану умов та безпеки праці;
- контроль планових показників та аудит всієї системи;
- коригування, запобігання та можливість адаптації до обставин, які змінюються;
- заохочення працівників за активну участь та ініціативу щодо здійснення заходів з підвищення рівня безпеки та поліпшення умов праці.

СУОП спрямована не тільки на створення оптимальних умов праці, але й на використання ресурсів виробництва та значне покращення якості продукції.

- вибору оптимальних режимів праці й відпочинку працівників та ін.

Основні функції служби охорони праці:

- своєчасне проведення навчання та інструктажів працюючих;
- забезпечення працюючих лікувально-профілактичним харчуванням, молоком, мийними засобами;
- проходження попереднього і періодичних медичних оглядів працівників.

Перелік шкідливих і небезпечних виробничих чинників наведений в таблиці 8.1.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Гавва О.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Коротун Л.О.	Назва, додаткова назва Заходи з охорони праці та техніки		22-2150.MP.03.008.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/9

Джерела виникнення небезпечних і шкідливих факторів	Небезпечні і шкідливі виробничі чинники
Прес-гранулятор(1шт.)	Шум, вібрація, електричний струм, підвищений тиск і температура, статична електрика, вибухопожежо - безпека
Охолоджуюча колонка (1шт.)	Підвищений рівень пилу, електричний струм, статична електрика
Подрібнювач (1шт.)	Швидкообертові частини, підвищений рівень пилу, електричний струм
Просіювач (1шт.)	Вібрація, підвищений рівень пилу, електричний струм

Прес-гранулятор розрахований на роботу з електричним струмом напругою 380/220В, живлення підводиться по чотирьохпровідній мережі трьохфазного струму з глухо заземленою нейтраллю.

Для забезпечення безпеки всі проводи, роз'єми, електропривод, контрольні прилади та прилади управління повинні відповідати вимогам безпеки та Правилам будови електроустановок(ПУЕ). Приміщення, в якому встановлений прес-гранулятор, згідно ПУЕ відноситься до категорії особливо небезпечних, так як в ньому є струмопровідна підлога і під час виробничого процесу можливе виділення струмопровідного пилу.

Заходи з охорони праці при обслуговуванні основного обладнання потокової лінії виробництва гранульованих комбікормів.

До обслуговування потокової лінії виробництва гранульованих комбікормів допускаються особи, що пройшли медичний огляд, ввідний і первинний інструктаж і здобули відповідну кваліфікацію.

Приміщення комбікормового виробництва (гранулювання комбікормів) вибухопожежонебезпечне і відноситься до категорії Б клас В-Па по ПУЕ.

Для попередження пилових вибухів передбачено:

- прибирання пилу на робочому місці не рідше 1 разу на 10 днів;
- періодичне продування повітропроводів від накопиченого пилу всередині (не рідше 1 разу на місяць);
- аспірація працюючого обладнання;
- заборона застосування відкритого вогню;
- встановлення магнітних пристосувань;
- встановлення громовідводів і пристроїв відведення статичного струму;
- дотримання в справному стані технологічного, транспортуючого, аспіраційного та електричного обладнання;
- навчання працівників виробничим навичкам, нормам, правилам та виробничим інструкціям з охорони праці, пожежної безпеки.

З електробезпеки апаратник повинен мати групу II, яка підтверджується 1 раз на рік з оформленням відповідного протоколу.

Всі металеві частини машин і опорних конструкцій повинні бути заземленими.

Шум - основний небезпечний виробничий чинник на комбікормових підприємствах. Загальний рівень шуму знижується технічними заходами, які передбачають належний догляд за роботою машин (своєчасне змащення вузлів і деталей, балансування швидко обертаючих частин машин, попередження зносу), удосконалення технології ремонту і обслуговування машин, а також своєчасне якісне проведення технічних оглядів, попереджувальних і капітальних ремонтів.

Для захисту від шуму, працюючі забезпечуються засобами індивідуального захисту (беруші, навушники).

Для послаблення вібрації і шуму обладнання, яке їх викликає,

повинно встановлюватись на шумоізолюючих фундаментах і основах, віброізолюваних від підлоги та інших конструкцій будівлі.

Інструкція з охорони праці апаратника комбікормового виробництва
(гранулювання комбікормів)

1 Загальні вимоги

1.1 Апаратник при прийнятті на роботу і періодично в процесі роботи проходить навчання і перевірку знань з охорони праці. Без навчання і перевірки знань з питань охорони праці допуск до роботи забороняється.

1.2 Апаратник повинен:

- виконувати правила внутрішнього розпорядку;
- бути уважним до сигналів рухомого транспорту, до роботи працюючого обладнання;
- виконувати тільки ту роботу, яка доручена керівником робіт та з якої він проінструктований;
 - не торкатися електрообладнання, клем та дроту, не відкривати двері електрошафи;
- вміти надавати першу медичну допомогу, дотримуватись правил пожежної безпеки;
- вміти користуватись первинними засобами пожежогасіння і знати їх місцезнаходження;
- в разі захворювання або з інших поважних причин невиходу на роботу, обов'язково попередити керівника робіт або іншу посадову особу.

1.3 Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які діють на апаратника:

- машини та механізми, що рухаються;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- пил рослинного походження;

- підвищена температура повітря робочої зони в літній час і занижена в зимовий час;

1.4 Апаратник зобов'язаний:

- проходити у встановленому порядку (при прийомі на роботу) та періодичні медичні огляди (1 раз на рік);

- палити лише у відведених для цього місцях;

- вживати необхідні заходи щодо усунення будь-якої загрозової виробничої ситуації, яка може викликати аварію або нещасний випадок.

2 Вимоги техніки безпеки перед початком роботи

2.1 Працівник на роботу повинен прийти до початку робочої зміни, надіти спецодяг і спецвзуття, приготувати засоби індивідуального захисту і особисто перевірити:

- справність обладнання, машин, комунікацій комбікормового виробництва, аспіраційних і вентиляційних систем;

- наявність інструменту і інвентарю;

- чистоту і освітленість робочих місць;

- стан проходів і переходів;

- справність і наявність засобів пожежогасіння;

- комплектність і наявність аптечки;

- заземлення обладнання і наявність загородження обертаючих частин обладнання;

- герметичність продуктопроводів, з'єднань, повітро-проводів, оглядових люків і т.п.;

- чистоту магнітних колонок;

- направленість продуктових потоків, положення арматури;

- звернути увагу на роботу обладнання, машин і механізмів - шум, вібрація, герметичність.

2.2 Отримати завдання на робочу зміну.

2.3 Якщо обладнання необхідно запускати в роботу, то потрібно впевнитись в тому, що пуск не створить небезпеки для працюючих.

2.4 Перед включенням в роботу просіювальної машини перевірити:

- щільність прилягання дверцят до шафи;
- відсутність на машині і в безпосередній близькості від неї сторонніх предметів, інструмента і приладдя.

2.5 Перед включенням в роботу вальцових подрібнювачів перевірити відсутність заклинювання вальців провертанням вручну ведучого шків приводу.

2.6 Перед початком роботи на прес-грануляторі з електричним приводом необхідно перевірити наявність і стан заземлювальних пристроїв, перевірити роботу на холостому ході, наявність огорожень, правильність встановлення і надійність.

3 Вимоги техніки безпеки під час роботи

3.1 Спостерігати за роботою всього працюючого обладнання з метою своєчасного усунення дефектів.

3.2 Забороняється знімати або надівати приводні паси на ходу, регулювати натяг пасів або ланцюгів машин під час роботи.

3.3 При внутрішньому огляді машин, їх ремонті, вимиканні на тривалий термін, неполадок машин - вони повинні бути відключені від джерела струму, а при трансмісійному приводі - зняті приводні паси.

3.4 Забороняється пуск і робота машин, які виділяють пил, з відкритими люками, кришками і дверцями.

3.5 Не допускається ручний відбір проб гранул, розсипного комбікорму із обладнання під час роботи. Для цієї мети передбачені люки в

продуктопроводах.

Після відбору або огляду обладнання люки повинні бути щільно закриті. Пробу брати із люка випускного патрубкa совками.

Не дозволяється залишати працююче обладнання без періодичного нагляду за ним, захаращувати проходи навколо обладнання.

3.6 Всі роботи по огляду і ремонту електрообладнання повинні проводитись тільки при знятті напруги.

3.7 Електропровід не повинен мати порушення ізоляції, а місця підключення повинні бути ізольовані.

3.8 Огородження привідних механізмів повинно бути надійно закріплене.

3.9 Обладнання повинно бути підключено до аспіраційної системи.

3.10 При виконанні робіт біля машини і на машинах необхідно застосовувати інструмент, виготовлений у відповідному вибухобезпечному виготовленні.

3.11 Для включення переносних світильників з метою періодичного огляду важко доступних місць машин передбачені штепсельні розетки напругою 12В.

3.12 Конструкція магнітних колонок повинна забезпечувати легке виймання блоку для очистки їх від магнітних домішок.

3.13 При появі стороннього шуму і стукіту, а також при підвищенні вібрації вентилятор або повітродувку необхідно зупинити, виявити причину неполадок та усунути їх.

3.14 Під час експлуатації норій слідкувати за надійним встановленням деталей кріплення, виключаючи можливість відриву ковшів і попадання їх в транспортований продукт.

3.15 Норійна стрічка повинна бути рівномірно натягнута по ширині з метою виключення збігання її з барабана.

3.16 Стрічка і ковші не повинні зачіплюватись за стійки труб,

кожухів головки і башмаків норії. При терті і ударах рухомих частин, а також при завалі норії вона повинна бути негайно зупинена.

3.17 В норійних трубах встановленні оглядові люки для нагляду за ходом стрічки. Під час роботи оглядові люки і дверцята в головці і башмаку норії повинні бути герметично зачинені.

3.18 В конвеєрах не допускається буксування стрічки на приводному барабані (потрібно при зупинці конвеєра збільшити натяг стрічки або збільшити тиск притискного ролика).

3.19 Рухомі частини конвеєра повинні бути загороджені. Конвеєри в головній і хвостовій частинах мають бути обладнані аварійними кнопками для зупинки конвеєра.

3.20 Робота шнекових конвеєрів при відкритих кришках забороняється.

3.21 Всі кришки і люки у коробах всіх типів повинні бути герметично зачинені, щоб виключити виділення пилу.

4 Вимоги техніки безпеки в аварійних ситуаціях

4.1 Причини, які можуть спричинити аварійну ситуацію: ураження електричним струмом, падіння з висоти, вихід з ладу устаткування, пристроїв, наявність пилу в робочій зоні, загорання та інше.

4.2 Якщо склалася ситуація, що може привести до аварії або нещасного випадку, слід негайно припинити роботу, відключити електроенергію, джерело живлення, обгородити небезпечну зону; не допускати в неї сторонніх осіб, повідомити про те, що сталося керівнику робіт.

4.3 При виникненні ознак загорання необхідно:

- зупинити роботу всього обладнання, натиснувши кнопку аварійної зупинки технологічної схеми і в першу чергу вентиляційні і пневмотранспортні системи, відключити обладнання від електричної мережі; приступити до гасіння

загорання первинними засобами пожежогасіння;

- доповісти керівнику робіт про те, що сталося;

4.4 Якщо сталася пожежа, приступити до її гасіння наявними засобами пожежогасіння, відключивши в першу чергу електроживлення; при необхідності викликати пожежну частину по телефону 101.

РОЗДІЛ 9. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ТА СОЦІАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Тверді лікарські форми (таблетки) виступають однією з найпоширеніших форм лікарських препаратів у фармацевтичній промисловості, займаючи близько 80% ринку лікарських форм. Процес виготовлення багатьох таких таблеток включає кілька ключових етапів, які значно впливають на якість кінцевого продукту. Основні операції виробництва таблеток включають змішування, вологе гранулювання, сушку та таблетування.

Важливо відзначити, що якість грануляту визначає якість кінцевого продукту. В процесі вологого гранулювання, де сировинні матеріали перетворюються в гранули з встановленими характеристиками, відбувається перехід від суміші порошків до контрольованого гранульованого продукту.

Висока якість грануляції є ключовою для забезпечення однорідності та стабільності лікарського препарату. Вплив на кінцевий продукт залежить від правильного вибору технологій, параметрів процесу та використання відповідних обладнань.

Технологічні інновації та стратегії оптимізації на кожному етапі виробництва таблеток можуть значно поліпшити ефективність, якість та конкурентоспроможність фармацевтичного підприємства.

У даній магістерській роботі детально розглядається високотехнологічний змішувач-гранулятор Zanchetta ROTO F600, виробництва італійського виробника, з продуктивністю 420 кг/год. Незважаючи на високу продуктивність, наведеної техніки, виявлено ряд недоліків, які варто зазначити та вирішити для подальшого покращення його ефективності: низька ефективність роботи калібруючого пристрою через важкість очищення робочих органів; необхідність допоміжних операцій для

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Гавва О.М.	Вид документа Посвідчення заявки		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Коротун Л.О.	Назва, додаткова назва Техніко-економічне та соціальне		22-2150.MP.03.009.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/3

знепилення грануляту (відділення якісного грануляту від порошкоподібної маси), що збільшує час гранулювання.

Вирішення цих проблем допоможе підвищити ефективність роботи змішувача-гранулятора та забезпечить виробництво високоякісного продукту з меншими витратами часу та ресурсів

Задачею кваліфікаційної роботи є вдосконалення роботи змішувача-гранулятора для отримання грануляту однакового вмісту та високої якості. Для досягнення цієї мети запропоновано провести зміни в робочих органах калібратора та додатково встановити вібросито для класифікації гранул. Описані модифікації відіграють ключову роль у покращенні процесу гранулювання та забезпеченні високої якості кінцевого продукту.

Ці модифікації мають на меті покращити ефективність роботи змішувача-гранулятора, спростити процес очищення робочих органів та значно зменшити час гранулювання. В результаті, отриманий гранулят буде відповідати вимогам однорідності та якості, сприяючи підвищенню загальної продуктивності та конкурентоспроможності виробництва.

Результат удосконалення змішувача-гранулятора і використання вібросита виявився успішним, призводячи до значних покращень у виробничому процесі.

Обґрунтуємо економічну ефективність внесених змін, використовуючи техніко-економічні показники до та після модернізації:

- зменшення кількості допоміжних операцій: економія робочого часу, а саме скорочення часу, витраченого на допоміжні операції, сприяє економії робочого часу працівників;
- зменшення витрат на робочу силу: зменшення кількості операцій призводить до зменшення витрат на оплату праці.
- економія виробничих площ: зменшення потреб у допоміжних операціях дозволяє більш ефективно використовувати виробничий простір.

- зменшення кількості браку: економія сировини, тобто зменшується відсоток браку, що дозволяє економити сировину та матеріали;
- зниження енергетичних витрат: оптимізація процесу гранулювання призводить до зменшення енергетичних витрат;
- покращення ступеня використання вихідної таблетсуміші: підвищення використання вихідної таблетсуміші зменшує втрати сировини.

Об'єктивне порівняння техніко-економічних показників до та після модернізації дозволить вам підтвердити вигідність внесених змін, враховуючи витрати на модернізацію та отримані економічні вигоди. Такий ретельний аналіз допоможе прийняти обґрунтоване рішення та підкреслить успішність вдосконалення гранулятора з економічної точки зору.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи, направленої на удосконалення процесу та обладнання для гранулювання компонентів твердих лікарських форм, було проведено дослідження процесу гранулювання та прийнято ряд конструктивних рішень, які дали можливість провести модернізацію вузла калібрування змішувача-гранулятора та отримати низку позитивних ефектів.

Результатом проекту удосконалення змішувача-гранулятора стала заміна конструкції робочих органів калібратора та встановлення додаткового обладнання для класифікації отриманого грануляту.

Технічний результат полягає в наступному:

- покращення якості грануляту;
- підвищення здатності до таблетування за рахунок зниження запиленості грануляту;
- скорочення кількості допоміжних операцій та зниження ймовірності мікробній контамінації (не потрібно додатково проводити операцію розділення гранул на фракцій);

Крім того було виконано дослідження різних факторів, що впливають на фізико-механічні властивості сипких лікарських форм, що дало можливість сформулювати теоретичні передумови та науково-обґрунтований підхід до удосконалення обладнання для гранулювання компонентів твердих лікарських форм та вибору оптимальних експлуатаційних режимів його роботи.

Отже, технічні завдання, які були поставлені на початковому етапі виконання кваліфікаційної роботи повністю виконані.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Гавва О.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Коротун Л.О.	Назва, додаткова назва Висновки		22-2150.MP.03.000.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/1

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологічні комплекси харчових виробництв: Навчальний посібник / В.І. Теличкун, О.М. Гавва, Ю.С. Теличкун, О.О. Губеня, М.Г. Десик, О.М. Чепелюк. – Київ: Видавництво «Сталь», 2017. – 456 с.
2. Монтаж, експлуатація, діагностика та ремонт обладнання м'ясопереробних підприємств: підручник / І. Г. Бабанов, О. М. Гавва, О. І. Бабанова та ін. – Київ: Сталь, 2015. – 600 с.
3. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / За ред. проф. І. Ф. Малежика. Підручник. – К.: НУХТ, 2003. – 400с.
4. Оборудование микробиологических производств / Калунянц. К.А., Голгер Л.И., Балашов В.Е. М. – 1987. – 398 с.
5. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / Мирончук В. Г., Гулий І. С., Пушанко М. М. та ін.; за ред. В.Г. Мирончука. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 648 с.
6. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець та ін. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 288 с.
7. Заплетніков І. М. Експлуатація і обслуговування технологічного обладнання харчових виробництв [Текст] : навч. посіб. / І. М. Заплетніков, В. Г. Мирончук, В. М. Кудрявцев ; Нац. ун-т харч. технол., Донец. нац. ун-т екон. і торг. — К. : ЦУЛ, 2012. — 344 с.
8. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості [Текст] : підручник / В. Г. Мирончук, І. С. Гулий, М. М. Пушанко та ін. ; за ред. В. Г. Мирончука. – 2-ге вид., перероб. і доп. — Вінниця : Нова книга, 2007. — 648 с.
9. Процеси і апарати харчових виробництв [Текст] : приклади і задачі : навч. посіб. / І. Ф. Малежик, П. М. Немирович, В. Л. Зав'ялов та ін. ; за ред. І. Ф. Малежика ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2015. — 386 с.
10. Процеси і апарати харчових виробництв [Текст] : Підруч. / І. Ф. Малежик, П. С. Циганков, П. М. Немирович, О. С. Марценюк ; Ред. І.Ф. Малежик. — К. : НУХТ, 2003. — 400 с.
11. Сидоров Ю. І. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості [Текст] : навч. посіб. / Ю. І. Сидоров, В. І. Чуєшов, В. П. Новіков. — Вінниця : Нова книга, 2009. — 816 с.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Гавва О.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Коротун Л.О.	Назва, додаткова назва Список використаних		22-2150.MP.03.000.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуші 1/3

12. Справочник механика пищевой промышленности. / А.И. Соколенко, А.И. Украинец, В.Л Яровой и др. Под ред. А.И. Соколенко – К.: Арт Эк. 2004 – 304 с
13. Ситник І.О., Климнюк С.І., Творко М.С. Мікробіологія, вірусологія, імунологія. - Тернопіль: Укрмедкнига, 2009. - 295 с.
14. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: В 2 кн. – М.: Химия, 1995.
15. Біотехнологія: Підручник / В.Г. Герасименко, М.О. Герасименко, М.І. Цвіліховський та ін.; Під общ. ред. В.Г. Гера сименка. — К.: Фірма «ІНККОС», 2006
16. Иванов А.И., Зотов В.Н. Оборудование спиртового производства. – М.: «Пищевая промышленность». – 1981. – 208
17. Batt C.A. Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition) / C.A. Batt. – Elsevier, 2017. – 110 p.
18. Brennan J. G.. Food Processing Handbook, 2nd Edition / James G.B., Alistair S.G. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2011. – 826 p.
19. Lelieveld H. Handbook of Hygiene Control in the Food Industry (Second Edition) / H. Lelieveld, J. Holah, D. Gabrić. – Elsevier, 2016. – 736 p.
20. Naumenko N. History of Food Science / N. Naumenko N. – Kyiv, NUFT. – 2014. – 199 с.
21. Ralko O. The restructuring and organisational development in the food industry in Ukraine // Restructuring: theory and practice : [monograph] / [Tetyana Mostenska, Iryna Fedulova, Virginija Jurėnienė (scientific editors)]. – Kyiv – Kaunas – Szczecin: National University of Food Technologies, Institute of World Economy and International Relations, University of Szczecin, Vilnius University. – Kyiv: Kondor, 2012. – P. 171–195.
22. Toledo R.T. Fundamentals of Food Process Engineering. Third Edition / R.T. Toledo. – Springer, 2007. – 585 p.
23. Yiu H. Hui. Handbook of Food Science, Technology, and Engineering. / H. Hui Yiu. – CRC Press, 2006. – 928 p.
24. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк. – Київ: НУХТ, 2014. – 530 с.
25. Груданов В.Я. Основы инженерного творчества: Учеб. пособие / В.Я. Груданов.- Минск: Изд. центр БГУ, 2005. – 299 с.
26. Домарецький В.А. Технологія солода та пива: Підруч. / В.А. Домарецький. – Київ: Інкос, 2004. – 426 с.

27. Мостенська Т. Збалансування продовольчого ринку в контексті забезпечення продовольчої безпеки: монографія / Т. Мостенська. – Київ: Кондор-Видавництво, 2015. – 283 с.
28. Пакувальне обладнання: підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. – Київ: Упаковка, 2010. – 744 с.
29. Скопенко Н.С. Інтеграційні процеси в харчовій промисловості України: сучасна концепція розвитку: монографія / Н.С. Скопенко, Т.Л. Мостенська. – Київ: Кондор, 2015. – 392 с.
30. 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.
31. 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. Нецадим. - К. : НУХТ, 2013. – 51 с.
32. 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.
33. 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.
34. 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.