

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Машини і апарати харчових та фармацевтичних виробництв

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

_____ доц. Блаженко С. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«__» _____ 20__ р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри МАХФВ

_____ проф. Гавва О. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«__» _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

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

освітньо-професійної програми _____ Інжинирінг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв

на тему: _____ Удосконалення процесу надтонкого подрібнення компонентів лікарських і косметичних засобів у бісерному млині

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОФ-6М

_____ Яцюк Анатолій Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник _____ Десик Микола Григорович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

_____ (прізвище та ініціали) (підпис)

_____ (прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що в цій
кваліфікаційній роботі немає
запозичень із праць
інших авторів без відповідних
посилань.

_____ (підпис)

Київ – 2021__ р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. 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 Гавва О. М.

“ ” 20 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Яцюк Анатолій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Удосконалення процесу надтонкого подрібнення компонентів лікарських і косметичних засобів у бісерному млині

керівник роботи Десик Микола Григорович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “05 ” 11 2020 року №925-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 03.02.2020

3. Вихідні дані до роботи Робочі органи диски та пальці, тип обладнання горизонтальний .

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, теоретично-методологічний розділ, методи досліджень та експериментальна установка, теоретичних та експериментальних досліджень, удосконалення конструкції обладнання, техніко економічне обґрунтування, безпека життєдіяльності та охорона праці при проведенні наукових досліджень, висновки, список використаної літератури, додатки.

5. Перелік графічного матеріалу

1 лист «Бісерний млин», 2 лист « Вузол подрібнення», 3 лист «Привід», 4 лист «Ротор»

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
5	<i>Вступ</i>	<i>25.11.2020</i>	<i>виконано</i>
6	<i>теоретично-методологічний розділ</i>	<i>02.12.2020</i>	<i>виконано</i>
28	<i>методи досліджень та експериментальна установка</i>	<i>14.12.2020</i>	<i>виконано</i>
47	<i>результати теоретичних та експериментальних досліджень</i>	<i>25.12.2020</i>	<i>виконано</i>
71	<i>удосконалення конструкції обладнання</i>	<i>30.12.2020</i>	<i>виконано</i>
85	<i>техніко економічне обґрунтування</i>	<i>09.01.2021</i>	<i>виконано</i>
87	<i>безпека життєдіяльності та охорона праці при проведенні наукових досліджень</i>	<i>13.01.2021</i>	<i>виконано</i>
89	<i>висновки</i>	<i>15.01.2021</i>	<i>виконано</i>
91	<i>список використаної літератури</i>	<i>25.01.2021</i>	<i>виконано</i>
96	<i>додатки</i>	<i>28.01.2021</i>	<i>виконано</i>

Здобувач _____ *Яцюк А. В.*
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ *Десик М. Г.*
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Магістерську роботу присвячено удосконаленню процесу та обладнання для надтонкого подрібнення компонентів лікарських та косметичних препаратів. Проведено детальний аналітичний огляд процесу, способів та обладнання для надтонкого подрібнення, а також проаналізовано сепаратори для відділення готового продукту від робочих тіл. Встановлено, що для ефективного та якісного здійснення процесу подрібнення рекомендовано використовувати бісерний млин, в якому процес відбувається стиранням в комбінації з роздавлюванням та ударом. Запропоновано конструктивне вдосконалення бісерного млина для отримання більш якіснішого, однорідного та чистого готового продукту.

Отримані залежності потужності, температури холодоносія та розміру частинок матеріалу, що подрібнюється, від часу подрібнення, а також розраховано енергетичні параметри процесу надтонкого подрібнення у лабораторному бісерному млині. Результати досліджень доцільно використовувати для раціонального вибору обладнання та визначення режимів його роботи, а також технологічних та міцнісних розрахунків.

Робота складається із вступу, 5 розділів, висновків та додатків. Основний зміст викладений на 93 сторінках машинописного тексту, вміщує: 17 рисунків, 24 таблиць, 6 сторінок займає список використаних літературних джерел з 49 найменувань.

Ключові слова: бісер, млин, подрібнення, надтонкий, час, фармація.

Abstract

The master's thesis is devoted to the improvement of the process and equipment for ultra-fine grinding of components of medicines and cosmetics. A detailed analytical review of the process, methods and equipment for ultra-fine grinding, as well as analyzers for separating the finished product from the working bodies. It is established that for efficient and high-quality grinding process it is recommended to use a bead mill, in which the process takes place by abrasion in combination with crushing and impact. A constructive improvement of the bead mill is proposed to obtain a better, more homogeneous and pure finished product.

The dependences of power, coolant temperature and particle size of the material to be ground on the time of grinding are obtained, as well as the energy parameters of the ultra-fine grinding process in a laboratory bead mill are calculated. The results of research should be used for the rational choice of equipment and determination of its modes of operation, as well as technological and strength calculations.

The work consists of an introduction, 5 chapters, conclusions and appendices. The main content is set out on 93 pages of typewritten text, contains: 17 figures, 24 tables, 6 pages is a list of used literature sources from 49 titles.

Key words: bead, mill, grinding, ultra-fine, time, pharmacy.

Зміст

Вступ.....	5
Розділ 1. Теоретично-методологічний розділ	6
1.1. Загальні відомості про процес подрібнення.....	6
1.2. Аналіз способів подрібнення.....	6
1.3. Теорія подрібнення.....	10
1.4. Порівняльний аналіз обладнання для надтонкого подрібнення.....	12
1.5. Аналіз сепараторів для відділення готового продукту від бісеру.....	15
1.6. Патентний пошук.....	17
1.7. Висновки.....	26
Розділ 2. Методи досліджень та експериментальна установка.....	28
2.1. Об'єкт і предмети досліджень.....	28
2.2. Дослідна лабораторія і лабораторна база.....	28
2.3. Методика аналізу технологічного обладнання.	28
2.4. Матеріали досліджень та підготовка зразків.....	29
2.5. Порядок проведення досліджень.....	32
2.6. Опис експериментальних стендів.....	35
2.7. План експерименту та обробка результатів.....	45
2.8. Висновок.....	46
Розділ 3. Результати теоретичних та експериментальних досліджень.....	47
3.1. Аналіз результатів теоретичних досліджень.....	47
3.2. Аналіз результатів експериментальних досліджень.....	50
3.2.1. Залежність споживної потужності на час подрібнення у процесі подрібнення суспензії у бісерному млині.....	50
3.2.2. Залежність часу подрібнення на розмір частинок суспензії	57
3.2.3. Залежність температури від часу подрібнення.....	61

Розділ 4. Застосування результатів.....	71
4.1. Удосконалення конструкції обладнання.....	71
4.1.1. Опис устаткування.....	71
4.1.2. Модернізація	73
4.1.3. Розрахунки.....	74
4.1.3.1. Розрахунок продуктивності.....	74
4.1.3.2. Розрахунок потужності приводу.....	74
4.1.3.3. Кінематичний розрахунок.....	76
4.1.3.4. Розрахунок вузлів і деталей на міцність.....	77
4.1.3.4.1. Розрахунок пасової передачі.....	77
4.1.3.4.2. Розрахунок валу.....	80
4.1.3.5. Теплотехнічний розрахунок	83
Розділ 5. Техніко економічне обґрунтування.....	85
Розділ 6. Безпека життєдіяльності та охорона праці при проведенні наукових досліджень.....	87
Висновки.....	89
Список використаної літератури	91
Додатки.....	96

Вступ

Розвиток фармацевтичної індустрії у напрямку розробки і впровадження найбільш ефективних і безпечних лікарських препаратів є пріоритетним напрямком для багатьох провідних країн світу і найвідоміших фармакологічних компаній. Це обумовлюється, насамперед, соціальною значимістю продукції галузі, змінами у демографічній ситуації в усіх країнах світу, які пов'язані із старінням населення, підвищенням рівня захворюваності серед мешканців планети, особливо похилого віку. Динаміка розвитку світового фармацевтичного ринку протягом останніх 10 років свідчить про те, що виробництво ліків є сьогодні і залишиться у майбутньому однією з найперспективніших галузей[30].

Лікарські засоби м'якої форми широко застосовуються в хірургічній, отоларингологічній, проктологічній, гінекологічній практиці, а також при лікуванні дерматологічних захворювань та як засоби захисту шкіри від несприятливих зовнішніх впливів [30,33,47].

У зв'язку з тим, що м'які лікарські засоби широко застосовуються в різних галузях лікування та профілактики здоров'я, постає завдання вдосконалення технології, обладнання та процесу подрібнення та гомогенізації діючої речовини та маzewої основи [30, 47].

Актуальність: якість подрібнення та гомогенізації косметичних та фармацевтичних засобів не завжди задовольняє вимоги та необхідний колориметричний та фармакологічний ефект внаслідок недосконалення обладнання та технології.

Новизна: удосконалення конструкції наявного обладнання та технології надтонкого подрібнення компонентів лікарських та косметичних засобів шляхом модифікації вже існуючого промислового горизонтального бісерного млина.

Пропонується: використання модернізованих промислових горизонтальних бісерних млинів для подрібнення та гомогенізації м'яких лікарських засобів.

Розділ 1

Теоретично-методологічний розділ

1.1. Загальні відомості про процес подрібнення

Подрібненням називають процес руйнування шматків твердого матеріалу при критичних внутрішніх напруженнях, які створюються у результаті будь-якого навантаження та перевищують відповідну межу міцності. Напруження в матеріалі можуть створюватися механічним навантаженням, температурними діями, ультразвуковими коливаннями та інше. Найбільш широке застосування в сучасному виробництві мають механічні способи подрібнення [25, 37, 44].

Для того, щоб зменшити розміри твердої сировини, необхідно здійснити роботу і подолати сили взаємного притягання молекул (сили Ван-дер-Ваальса). У результаті прикладання зовнішньої сили тіло руйнується, причому сумарна площа поверхонь, які при цьому утворюються, значно перевищує поверхню вихідного матеріалу. Це у свою чергу дозволяє значно прискорити теплові, дифузійні та біохімічні процеси, в яких бере участь тверда фаза [37, 46].

Подрібнення є одним із найбільш енергоємних процесів; тому з техніко-економічної точки зору слід завжди керуватись принципом: «не подрібнювати». Це означає, що, по-перше, не слід подрібнювати матеріал до менших, ніж необхідно, розмірів частин і, по-друге, необхідно відбирати до початку подрібнення частинки матеріалу дрібніші за ті, що повинні бути одержані на даній стадії подрібнення [37,44,46,49].

1.2. Аналіз способів подрібнення

Процес подрібнення характеризується ступенем дробіння — відношенням середніх розмірів шматків матеріалу до (***D***) і після (***d***) подрібнення. Розрізняють: лінійний ступінь дробіння [25, 46]:

$$i = D/d,$$

Шматки матеріалу до і після подрібнення звичайно не мають правильної форми. Тому на практиці розміри шматків визначають через розміри отворів сит, крізь які просівають сипкий матеріал до і після подрібнення.

Залежно від розмірів шматків вихідної сировини та кінцевого продукту дроблення умовно поділяють на кілька класів (табл. 1.2.1) [37,46,49].

Табл. 1.2.1.

Класи подрібнення

Клас	D, мм	d, мм	i
Крупне	1 500...150	250...25	3...6
Середнє	150...25	25...5	4...10
Дрібне	25...5	5...1	5...25
Тонке (помел)	5...1	1...0,05	До 100
Надтонке (колоїдне)	0,2...0,1	До 10^{-4}	До 1000

На практиці часто дрібне, тонке та колоїдне дроблення здійснюється у водяному середовищі, яке виключає пилоутворення і сприяє більш легкому вивантаженню подрібненого продукту із млина [46].

Енерговитрати, навантаження на елементи подрібнень і якість продукту залежать від міцності, крихкості, твердості, пружності, абразивності та густини твердих матеріалів [44, 45, 46,49].

Міцність – властивість твердого матеріалу чинити опір руйнуванню при виникненні внутрішніх напружень, що з'являються у результаті будь-якого навантаження.

Крихкість – властивість твердого матеріалу руйнуватися без помітних пластичних деформацій. Вона визначається на спеціальному копрі числом ударів мірного вантажу.

Абразивність – здатність матеріалу, що переробляється, зношувати робочі органи машини. Її оцінюють у грамах зношування еталонних билів, віднесених до однієї тони подрібненого матеріалу.

Залежно від напрямку, точки прикладання та тривалості діїзовнішніх сил, які здійснюють подрібнення тіл, розрізняють наступніосновні способи дроблення і помелу: роздавлювання, розколювання,розламування, розтирання, розбивання, розривання, різання тарозпилювання. На рис. 1.2.1 схематично показано напрямки зусиль на матеріал у випадку використання того чи іншого способу подрібнення [37, 44, 46].

Стисла характеристика способів подрібнення. Під час роздавлювання (рис. 1.2.1 а) під дією навантаження, створюваного силою P на натискну плиту, матеріал деформується по всьому об'єму. Коли внутрішнє напруження у ньому перевищить межу міцності на стиск, він руйнується. При цьому утворюються частини різного розміру та форми [37, 44, 46].

Процес розколювання (рис. 1.2.1 б) здійснюється за рахунок створення великих концентрацій навантажень у місцях контакту матеріалу з клиноподібним робочим елементом, на який діє сила P . Спосіб розколювання досконаліший порівняно з роздавлюванням, оскільки дає можливість регулювати розмір одержуваних частинок [37, 44, 46].

Процес розламування (рис. 1.2.1 в) здійснюється під впливом згинальних сил P .

Під час розтирання (рис. 1.2.1 г) тіло подрібнюється під впливом стискальних, розтягувальних і зрізувальних сил. Утворюється дрібний порошкоподібний продукт. Процес використовується у тонкому таколоїдному помелі [37, 44, 46].

Під час подрібнення за рахунок розбивання (рис. 1.2.1 д) тілорозпадається на частинки під дією динамічного навантаження. У випадку сконцентрованого навантаження створюється ефект, схожий на той, який має місце під час розколювання, а у разі розподілу зусиль навесь об'єм тіла ефект руйнування схожий на ефект роздавлювання [37, 44, 46].

Під час розривання (рис. 1.2.1 е) тіло руйнується під дією розтягувальних сил у результаті виникнення напруження у матеріалі, яке перевищує межу міцності на розрив [37, 44, 46].

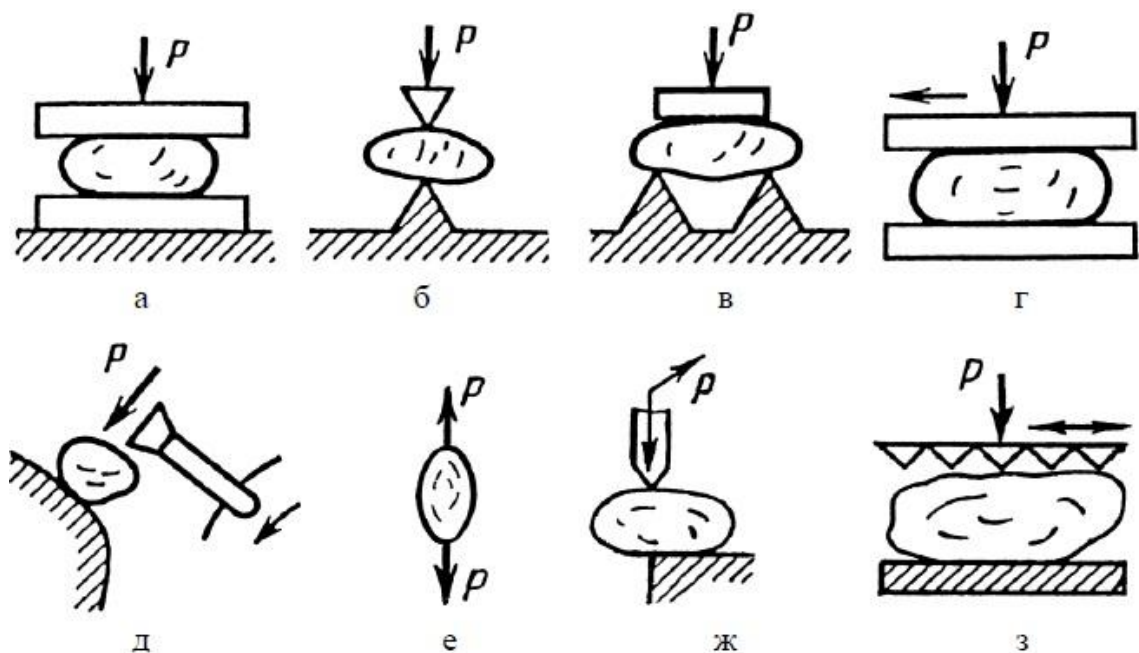


Рисунок 1.2.1. Способи механічного подрібнення матеріалів

Процес різання (рис. 1.2.1 ж) здійснюється ножами, під дією яких створюється зусилля P , направлене під визначеним кутом до матеріалу, який подрібнюється. Матеріал подрібнюється на частинки напередзаданих розмірів і форми. Процес повністю керований [37, 44, 46].

Розпилювання (рис. 1.2.1 з) здійснюється за рахунок використання пили, зубці якої являють собою ножі. Вплив пили здійснюється шляхом натискання її на матеріал, що подрібнюється, а також переміщення пили у площині подрібнювання. Результати такі самі, як і після різання [37, 44, 46].

На практиці часто комбінують різні способи подрібнення матеріалів. Так, наприклад, розтирання завжди супроводжується роздавлуванням чи розбиванням, розламування — розколюванням або роздавлуванням. Це дозволяє з меншою витратою енергії найбільш ефективно здійснювати подрібнення матеріалу [25, 37, 44, 46, 49].

Вибір способу подрібнення залежить від фізичних властивостей і розмірів матеріалу. Основне значення має міцність матеріалу. Тверді та крихкі матеріали типу кристалів цукру або сухого зерна можна подрібнювати розбиванням або розтиранням. Пластичні матеріали, наприклад м'ясо, необхідно кутерувати.

Учені-механіки, виходячи із теорії міцності твердих тіл, довели, що опір будь-якого матеріалу стиску завжди більший опору розтягання. Досліди показують, що матеріали чинять максимальний опір роздавлуванню, менший — розколюванню, ще менший — розтиранню, тобто зсуву, а мінімальний — розриванню. Наприклад, вапняк, який використовується у виробництві цукру, має границю міцності на розтягання — 4,0 МПа, а на стиск — 90 МПа, тобто в 22 рази більшу. Відповідно і витрати енергії під час розтягання будуть набагато меншими. Проте технічна реалізація способу дроблення розриванням викликає труднощі, у вирішенні яких можлива допомога і студентської молоді [22, 37, 46].

1.3. Теорія подрібнення

Закони подрібнення визначають роботу, яку виконують зовнішні сили при руйнуванні частинок матеріалу, що дробиться. Ця робота затрачується на подолання сил взаємного зчеплення частинок твердої речовини. Сили зчеплення, що діють у зернах (грудках) матеріалу, можна розділити на дві групи [8, 32, 43]:

- сили, що діють всередині кристалів,
- сили, що діють між окремими кристалами.

Ці сили мають однакову фізичну природу і розрізняються між собою тільки величиною (сили другої групи значно менші сил першої групи). Величина

сил зчеплення визначається природою і структурою кристалів, що утворюють зерна (грудки, шматки) матеріалу, але залежить також від різних дефектів у кристалічній структурі (мікро- і макротріщин), що послабляють міцність зерен. При дробленні зерна руйнуються по найбільш слабких перетинах (тріщинах, дислокаціях тощо). Таким чином, при дробленні відбувається ніби ліквідація слабких місць і зміцнення матеріалу [8,17,19, 27, 32, 43].

Робота, затрачена на дроблення, частково витрачається на деформацію грудок, що руйнуються, частково витрачається на утворення поверхонь, що знову оголюються [1, 20, 23].

В сучасній теорії і практиці дроблення і подрібнення використовують чотири основних закони (гіпотези), які є емпіричними.

За законом Ріттінгера, робота, витрачена на подрібнення, пропорційна новоутвореній поверхні [23, 32, 43]:

$$A = k \Delta S,$$

де k – коефіцієнти пропорційності; ΔS – нова утворена поверхня.

Питома робота, затрачена на утворення нової поверхні, залежить від природи матеріалу, його крупності, ступеня і способу подрібнення. Закон Ріттінгера справедливий при тонкому подрібненні, коли енергія витрачається в основному на утворення нової поверхні, тобто при високому ступені подрібнення. Він не враховує зміни опору матеріалу подрібненню в міру зменшення його крупності [32, 43].

За законом Кіка-Кірпічова, витрата енергії на дроблення матеріалу (деформацію грудок) пропорційна його об'єму або масі [23, 32, 43]:

$$A = k \Delta V = k_k D^3$$

де k , k_k – коефіцієнти пропорційності при роботі, затрачуваній на деформацію грудок матеріалу, що дробиться; ΔV – деформований об'єм руйнованої грудки з ребром D .

Це рівняння справедливе при дробленні великих грудок з малим ступенем дроблення, коли енергією, що витрачається на утворення нової поверхні, можна зневажити.

За законом Ребіндера повна робота дроблення дорівнює сумі робіт деформацій і утворення нової поверхні [23, 32, 43]:

$$A = K_k D^3 + K_R D^2$$

Тобто Ребіндер обґрунтовано припустив, що руйнування грудки настає після її деформації. Таким чином, закон Ребіндера об'єднує два попередніх (Ріттінгера і Кірпічова-Кіка).

За законом Бонда, робота, затрачена на дроблення, пропорційна середньому геометричному об'єму і площі зерна, що руйнується [23, 32, 43]:

$$A = k_B \sqrt{D^2 - D^3} = k_B D^{2.5}$$

де k_B – коефіцієнт пропорційності при визначенні повної роботи.

За законом Бонда, роботу можна приблизно визначити для крупного, середнього і дрібного дроблення при середніх ступенях дроблення.

Існує також ряд інших узагальнених формул для визначення роботи дроблення (подрібнення) [21, 23, 34].

Так як коефіцієнти пропорційності рівняння законів подрібнення невідомі, ці закони не можуть бути використані для кількісних розрахунків по визначенню величини роботи, але їх можна застосувати при якісному дослідженні процесів подрібнення.

1.4. Порівняльний аналіз обладнання для надтонкого подрібнення

На сьогоднішній день існує такі типи машин для надтонкого подрібнення: бісерні млини, трьохвалкові млини, колоїдні млини, вібраційні млини [2,3,4,5,11,12,20,29,36,37,44,48].

Трьохвалкові млини. Вали, які обертаються в назустріч один одному з різною швидкістю, забезпечують переміщення продукту з валу на вал. Вали

виготовляються з порцеляни, металу або базальту. Для підтримки оптимальної температури продукту, вали роблять порожніми для подачі охолоджувальної рідини всередину. Суспензії розтираються в зоні контакту обертових валків і знімаються з валка скребком[2,4,5,29,37].

Розмір часток менше 3 мкм.

Переваги: компактність; пристосовані для переробки продуктів, схильних до налипання; мають запобіжні пристрої на принципі магніту; можливість впровадження в безперервну виробничу лінію.

Недоліки: порівняно невисока питома продуктивність; інтенсивне і нерівномірне зношування робочих поверхонь; ймовірність зміщення валу через нерівномірність стягуючих пружин; при досягненні максимальної тонкості продуктивність знижується [2,4,5,29,37].

Використання: для подрібнення пігментних паст, кремів, лініментів в косметичній промисловості та для виробництва мазей та гомогенізації гелів у фармацевтичній промисловості [2,4,5,29,37].

Вібраційні млини. Подрібнення здійснюється за допомогою спеціального вібраційного пристрою, який знаходиться на одній осі з електродвигуном, внаслідок чого барабан вібрує. Кулі виготовляються з порцеляни, твердих сплавів або сталі. Барабан наповнений кульками на 80-90%[3,4,5,11,20,29,36,48].

Розмір подрібненого продукту становить 1-5 мкм.

Переваги: велика дисперсність та однорідність частинок продукту досягаються дуже швидко.

Недоліки: не підходить для подрібнення порошків; клейких, в'язких паст та термолабільних матеріалів; низька продуктивність (до 1 т/год); швидкий знос робочих поверхонь; важкі умови праці [3,4,5,11,20,29,36,48].

Використання: для дрібнозернистого подрібнення матеріалів низької міцності [3,4,5,11,20,29,36,48].

Бісерний млин. Подрібнення відбувається мокрим способом. Складається з двох частин: камери подрібнення з сорочкою охолодження, в яку

бісерзавантажуються разом з компонентами суміші, і ротора, який обертає всю систему та складається з валу, на якому закріплені диски або стержні. Робоча ємність заповнена бісером з скла, сталі або базальту на 70-80%. Процес подрібнення протікає між окремими частинками бісеру, які контактують між собою, а також між бісером і ротором та стінками робочої ємності. Промислові млини працюють в безперервному, напів-безперервному або періодичному режимах[4,5,12,20,29,44,49].

Крупність подрібненого продукту може досягти менше 1 мкм.

Переваги: простота обслуговування; надійність та безпечність роботи; універсальність; висока продуктивність; незмінність якості подрібнення, простота конструкції, універсальність, висока продуктивність при незначних розмірах машини, висока ступінь герметизації[4,5,12,20,29,44,49].

Недоліки: малий ККД – 15%; неекономне споживання води та миючих засобів на підготовку обладнання до роботи; спікання та «вигорання» суспензії в разі недостатнього охолодження; не призначені для високов'язких красок та емалей[4,5,12,20,29,44,49].

Використання: для подрібнення пігментних паст, кремів в косметичній промисловості та для виробництва мазей, лініментів, паст та гелів у фармацевтичній промисловості [4,5,12,20,29,44,49]

Колоїдні млини. Пропонується безліч конструкцій цих млинів. Для запобігання злипанню частинок подрібнення проводять у присутності дисперсійного середовища. Колоїдне подрібнення застосовують в основному в дослідницьких цілях, адже є маловивченим та складним процесом [3,4,5,11,13,29,44].

Розмір подрібненого продукту менше 0,4 мкм.

Переваги: ефективний процес емульгування та диспергування.

Недоліки: великий знос робочих елементів; мало знання процесу [3,4,11,44].

Використання: у фармацевтичній промисловості їх використовують для виробництва лініментів, мазей, паст. У хімічній промисловості - для подрібнення деякого мінерального пігменту [3,4,5,11,13,29,44].

Струменеві млини. У таких млинах продукт подрібнюється сухим способом за рахунок зіткнення частинок між собою. Підведення енергії для подрібнення відбувається за рахунок стисненого повітря. Установки вже обладнані класифікатором, який не пропускає великі частинки продукту [4,12,29,37,49].

Переваги: повне самоздрібнювання - немає зносу - немає забруднень; дають можливість подрібнити твердий, термочутливий, легкоплавкий продукт за рахунок використання холодного газу (20 °C); висока продуктивність.

Недоліки: неекономічно за рахунок обов'язкової наявності потужних компресорів для нагнітання повітря; ефективно для матеріалів мають порівняно високу вартість [4,5,12,29,37,49].

Продукт подрібнюється до менше 2 мкм (по вапняку).

Традиційний струминний млин можна використовувати для отримання какао-порошку, целюлози, керамічних пігментів і технічної кераміки, скла, у фармацевтичній промисловості, для отримання пігментів, тонерів, цифрових чорнил, агрохімікатів, батарейок (катодні і анодні матеріали), обробки руди, мінералів і деяких металів [4,5,12,29,37,49].

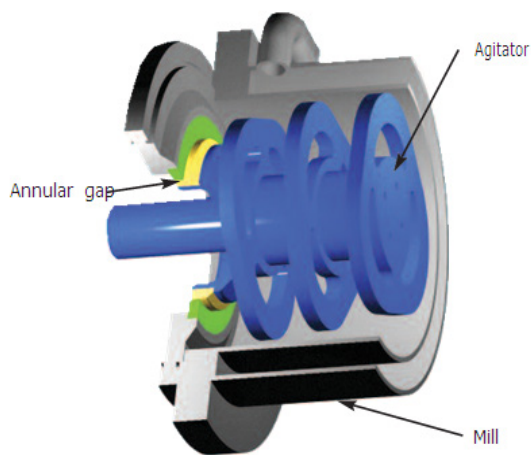
За останні десятиліття розроблені нові конструкції струменевих млинів, такі як паровий струменевий млин і спіральний струменевий млин.

1.5 Аналіз сепараторів для відділення готового продукту від бісеру

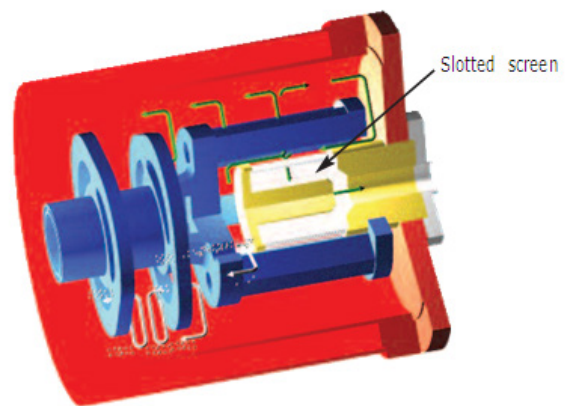
При досягненні потрібного гранулометричного складу (розміру частинок) суспензія видаляється з бісерного млина за допомогою сепаратору-відділювача. Сепаратори можуть бути декількох типів: обертовий сепаратор,

класифікувальний сепаратор, класифікувальний ротор без фільтру, ротаційний, або інші різновиди ротора класифікатора [9,10,14,18].

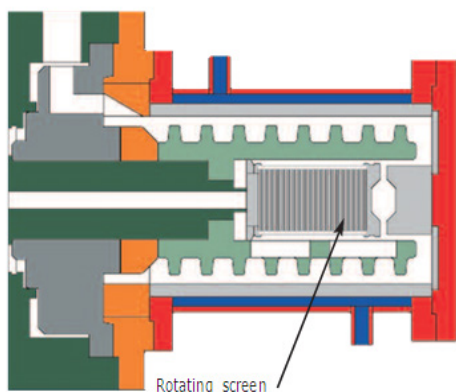
Найпростішим є обертовий сепаратор (рис. 1.5.1. а), в якому використовується кільцевий зазор між обертовим внутрішнім кільцем і нерухомим зовнішнім кільцем, виготовленим з твердих керамічних матеріалів. Зазор менше діаметра робочих тіл (бісеру), що дозволяє продукту текти через щілину, але при цьому бісер залишається в млині [9,10,14,18].



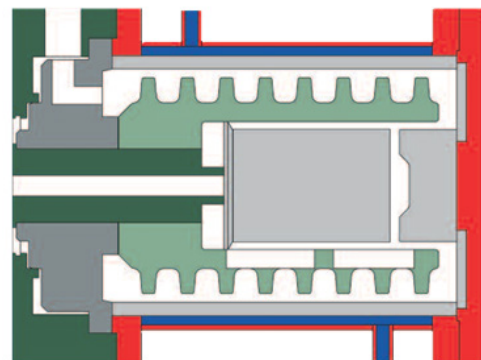
а. Обертовий сепаратор



б. Класифікувальний (динамічний класифікувальний картридж)



в. Класифікувальний ротор (ротаційний сепаратор)



г. Класифікувальний без фільтру (класифікатор з відкритою динамікою)

Рис. 1.5.1. Види сепараторів для відділення готової продукції [9,10,14,18]

Класифікувальний ротор, також званий динамічний класифікувальний картридж (рисунк 1.5.1. б), прикріплений до ротора млина і містить нерухомий щілинний фільтр. Установка використовує відцентрову силу аналогічній повітряному класифікатору. Диск мішалки млина, найближчий до вихідної сторони млина, перекачує бісер назад до вхідної сторони млина, в той час як відцентрова сила, створювана ротором і дисками, виштовхують суспензію з випускного отвору. Щілинний фільтр запобігає виходу бісеру з млина під час запуску установки до того, як він досягне робочої швидкості, і при виключенні, поки він сповільнюється. Фільтр також перешкоджає виходу з млина зламаних кульок. Розмір отворів фільтрів залежить від розміру робочих тіл: зазвичай кожен отвір фільтру становить від половини до однієї третини діаметра кульки (робочого тіла). Тому, якщо розмір бісеру змінюється, фільтр також повинен бути змінений[9,10,14,18].

Одна зміна класифікувального ротора ще більше збільшує відцентрову силу, обертаючи фільтр сепаратора з валом мішалки (Малюнок 1.5.1. в). Це гарантує поділ системи «бісер-продукт», навіть якщо в'язкість збільшується під час процесу диспергування або подрібнення. Це особливо корисно при використанні дуже маленьких робочих тіл і низьких швидкостей мішалки, типових для процесів м'якого диспергування[9,10,14,18].

Інший варіант класифікувального ротора може бути використаний для суспензій з низькою в'язкістю, в яких робочі тіла з меншою ймовірністю будуть виділятися разом з суспензією. Цей сепаратор являє собою класифікувальний ротор без фільтру, відомий як класифікатор з відкритою динамікою (рис. 1.5.1. г). У нього є кілька очевидних переваг: змінні розміри бісеру можуть використовуватися без зміни розміру фільтру; зменшення розміру робочих тіл від зносу при тривалій експлуатації не є проблемою; підключення фільтру неможливо; значно менше збільшується тиск в млині, що призводить до підвищення продуктивності; пристрій легко розбирається і очищається [9,10,14,18].

1.6. Патентний пошук

Номер патенту, країна: WO2017020880 A1 (Германія) [15]

Назва патенту: Розділювальний пристрій, мішалка для бісерного млина та спосіб класифікації сумішей продуктів

Рецензент: Netzsch-Feinmahltechnik GMBH (DE)

Автор: Ларс-Пітер Вейланд(DE); Томас Голлер(DE)

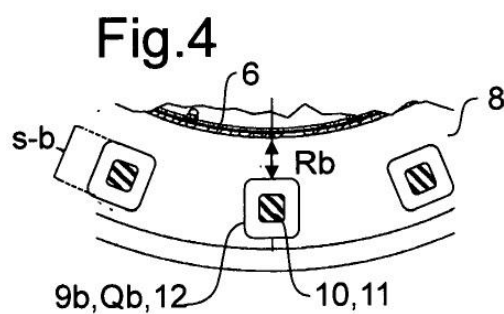
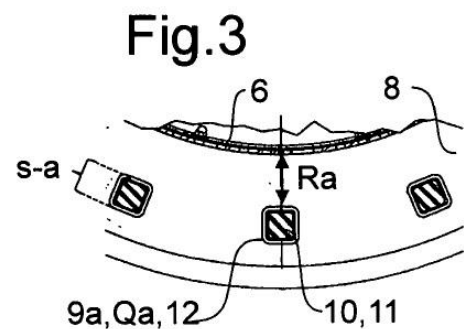
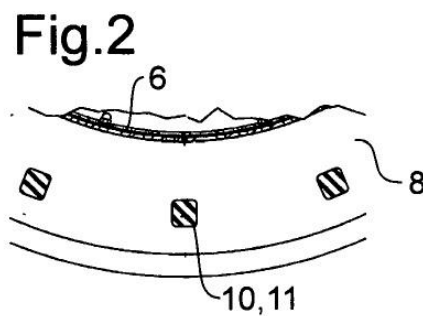
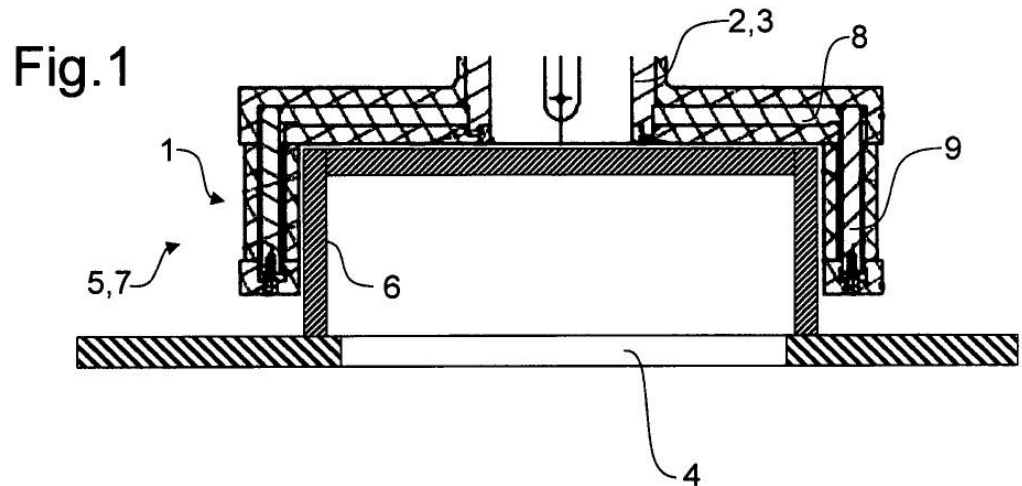
Мета (задача) винаходу: Винахід відноситься до розділювального пристрою для класифікації сумішей продуктів, що складається щонайменше з двох різних компонентів[15].

Формула винаходу: Розділовий пристрій містить вал, нерухому екранну частину і щонайменше один класифікуючий ротор. Частинки щонайменше одного компонента суміші продуктів можуть проходити крізь ситовий блок до певного діаметра. Класифікуючий ротор містить опорну пластину, встановлену на валу без обертання, а також одне або кілька кріплень, механічно з'єднаних з опорною пластиною. Насадки впливають на поведінку потоку суміші продуктів в області екранного блоку. Одне або кілька кріплень можуть бути закріплені в різних положеннях на опорній пластині відносно обертового валу таким чином, що, в залежності від відповідних положень, може бути досягнуто різну поведінку потоку суміші продуктів в області екранного блоку. Винахід також стосується мішалки для бісеру, що має розділювальний пристрій, і способу класифікації сумішей продуктів за допомогою розділювального пристрою[15].

Опис малюнків: На рис. 1 показано розділювальний пристрій 5 згідно із загально відомим положенням техніки. На рис. 2-4 показаний вигляд екранної плити в проекції та роторний диск розділювального пристрою 5 згідно з загально відомим положенням[15].

Бісерні млини містять мішалку, що складається з валу 3. На ньому розміщені перемішувальні елементи, при цьому перемішувальний вал 3 зазвичай є коаксіальним до розташованого поздовжньо віссю циліндричної подрібнювальної камери (не показано) і з боку приводу бісерного млина мішалки в напрямку випускного отвору 4. Мішалка забезпечує обертання відповідними перемішувальними елементами навколо валу 3 для інтенсивного руху подрібнювального середовища. Злиття достатньої кількості подрібненого продукту відбувається через отвір 4 в кінці млина, причому подрібнюючі тіла (бісер) отримуються розділювальним пристроєм 5[15].

Розділювальний пристрій 5 проходить через роздільний екран 6, вал 2 і класифікатор 1. Класифікаційний ротор 1 під'єднаний до кінця валу мішалки біля випускного отвору, зокрема навколо розділювального екрану 6[15].



Технічний результат: За допомогою даного типу конструкції розділювального пристрою можливе значне покращення розділення суміші подрібнювальної суспензії від бісеру[15].

Номер патенту, країна:EP 1961486 A2 (Японія)[16]

Назва патенту:Диспергуючий або подрібнюючий апарат та спосіб диспергування або подрібнення з використанням того самого[16]

Автор:Хацугай Чоджі [JP]; Ішігаки Такамаса [JP]; Камія Хідегіро [JP]; Сато Кімітоші [JP].

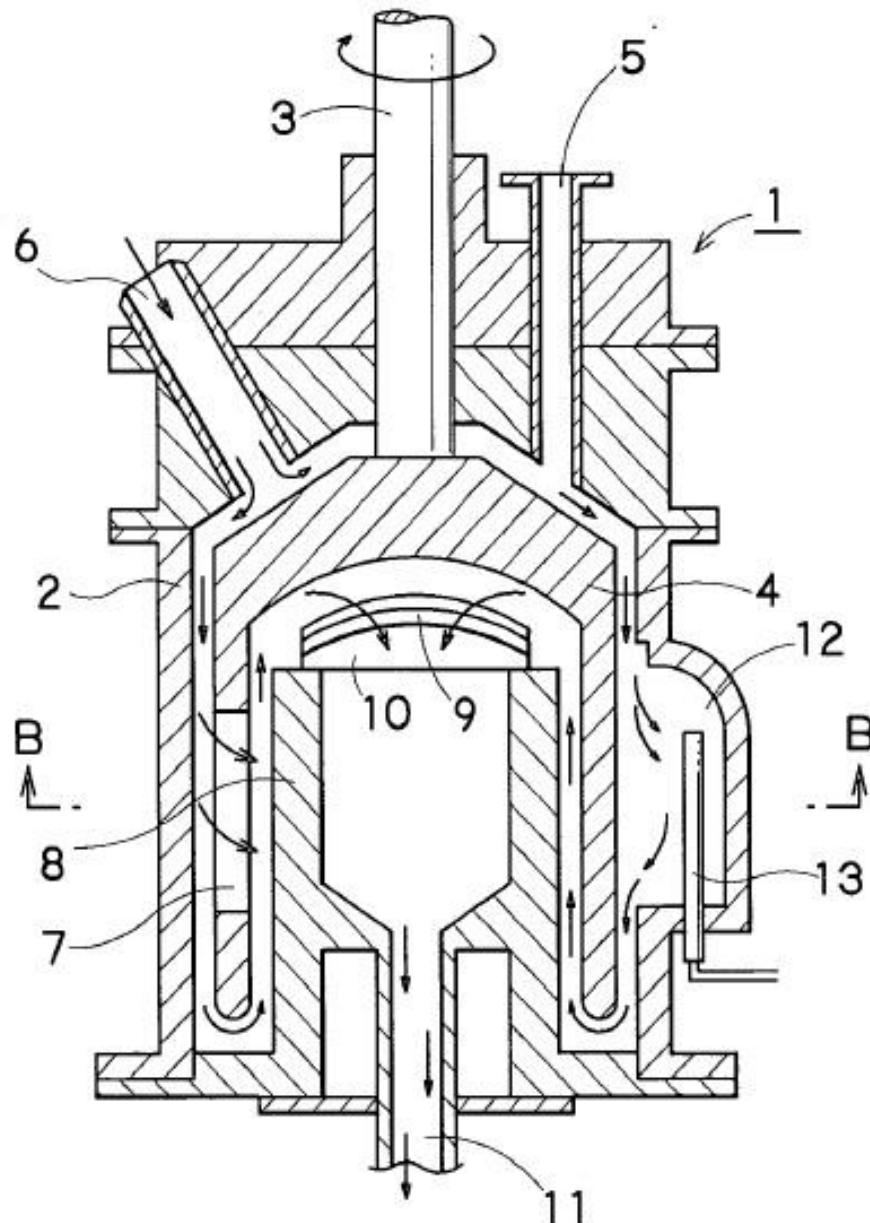
Мета (задача) винаходу:Покращення якості готового продукту на виході та інтенсифікувати процес [16].

Формула винаходу:Матеріал, що підлягає обробці, що містить тверді частинки в рідині, перемішують разом із мелючими середовищами і опромінюють ультразвуковими хвилями (13) під час перемішування (4), щоб тонко розмелити тверді частинки до нанометрових розмірів і розподілити тверді частинки в рідині. Ультразвукові хвилі (13) створюють кавітацію в рідині, і при розпаді кавітації утворюються ударні хвилі, які змушують тверді частинки енергійно стикатися між собою та з фрезеруючим середовищем, і ці зіткнення, а також сили зсуву, створювані зіткненням фрезеруючих середовищ, можуть виробляти в комерційному масштабі наночастинки, що мають середній розмір частинок не більше 100 нм [16].

Опис малюнків:Бісерний млин має посудину 2, в якій обертається ротор 4. Ротор 4 з'єднаний з ведучим валом 3, який приводиться в обертання будь-яким відповідним джерелом приводу (не показано) для обертального ротора 4. Посудина 2 має порт 5 для ведення подачі подрібнювального середовища (бісер, кульки) у посудину та матеріал порту подачі 6 для введення матеріалу, що підлягає обробці, наприклад, суспензія у вигляді суміші твердої речовини та рідини у посудину 2 [16].

Ротор 4 має порожнисту, трубчасту форму з суцільно гладкою внутрішньою та зовнішньою поверхнею. За бажанням можуть бути передбачені внутрішня та зовнішня поверхня ротора 4 з проекцією відповідної форми для сприяння переміщенню дисперсного середовища та матеріалу, що підлягає обробці. Ротор 4 забезпечений одним або більше отворами 7 ротора для відкривання відповідних

мість для забезпечення циркуляції дисперсного середовища ззовні всередину, і навпаки [16].



Технічний результат:За допомогою даного типу конструкції бісерного млина в поєднанні з ультразвуковою обробкою можливе значне покращення та інтенсифікування процесу подрібнення суспензії [16].

Номер патенту, країна:RU 2065331 C1 (Росія) [39]

Назва патенту:Сепаратор для тіл, що мелють, в бісерному млині, який призначений для подрібнення продуктів, диспергованні у рідині

Рецензент: Акціонерна промислово-комерційна компанія "Новисо"

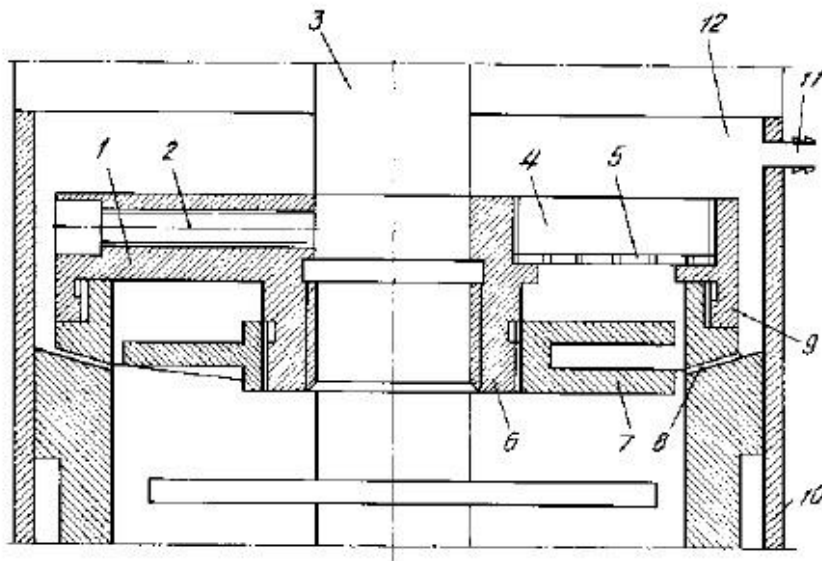
Автор: Ульянцев А.С. (RU), Третьяков В.А. (RU)

Мета (задача) винаходу: Розробка більш простого по конструкції і надійного в експлуатації сепаратора з регульованим щілинним зазором для відділення тіл, що мелють, в бісерному млині без розбирання самого млина, призначеного для помелу продуктів, які дисперговані в рідині, що забезпечує високу ступінь якості відділення тіл, що мелють, і їх відколів від готового продукту [39].

Формула винаходу: Сепаратор для тіл, що мелють в бісерному млині, призначений для помелу продуктів, які дисперговані в рідині, що містить корпус, закріплений на вертикальному валу, з відбивним елементом, розташованим нижче щілинного зазору, утвореного зовнішньою поверхнею корпусу сепаратора і внутрішньої поверхнею корпусу млина, який відрізняється тим, що корпус виконаний у формі чаші, закріплений з можливістю вертикального переміщення, фіксований на вертикальному валу за допомогою радіального відносно валу елементу і забезпечений фільтрувальною сіткою і втулкою, на якій встановлений елемент, що відображає, виконаний у вигляді шнека, при цьому зовнішній обід корпусу сепаратора є циліндричний стакан [39].

Опис малюнків: Сепаратор складається з корпусу 1, виконаного у вигляді чаші, закріпленого з можливістю поздовжнього регулювання. Елемент закріплення 2 корпусу 1 розміщений радіально до валу 3. Корпус забезпечений отворами 4 під сітку 5 і втулкою 6, на якій встановлений диск 7, виконаний у вигляді шнека і розташований нижче зони виходу готового продукту, що представляє собою регульований щілинний зазор 8. Зовнішній обід 9 корпусу 1 виконано у вигляді циліндричного склянки. У верхній частині корпусу 10

бісерної млини розташований отвір 11 виходу готового продукту із зони накопичення 12 [39].



Технічний результат: За допомогою даного типу конструкції сепаратору досягається висока якість відділення тіл, що мелють від готового продукту, можливість регулювання щільного зазору в міру

збільшення його в процесі роботи без розбирання млину, надійності в експлуатації, поєднання з простотою конструкції пропонованого сепаратора і технологічності його виготовлення [39].

Номер патенту, країна: RU 2 523 289 C1 (Росія) [40]

Назва патенту: Лабораторний бісерний млин

Рецензент: Товариство з обмеженою відповідальністю "науково-дослідний інститут полімерних матеріалів" (RU)

Автор: Новохрещених Андрій Іванович (RU), Чернов Михайло Андрійович (RU), замахав Юрій Васильович (RU), Іванова Асія Ахметзяновна (RU), Петров Віталій Васильович (RU)

Мета (задача) винаходу: Створення лабораторного бісерного млина зі збільшеним завантаженням для тонкого і надтонкого подрібнення твердих матеріалів із забезпеченням зручності в обслуговуванні при виконанні технологічних операцій, збирання та розбирання і підвищенням ефективності подрібнення [40].

Формула винаходу: Лабораторний бісерний млин, що містить розмельну камеру з сорочкою охолодження і кришкою, ротор з дисками, привід обертання

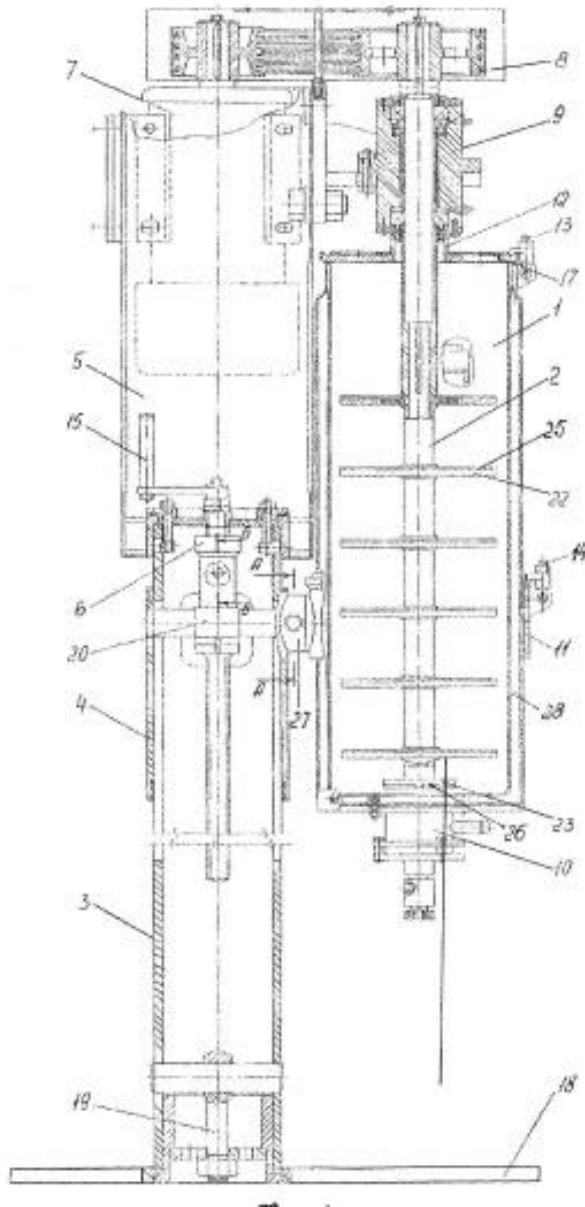
ротора, що відрізняється тим, що розмельних камера з сорочкою охолодження розташована співвісно ротору і закріплена відкидними болтами в поворотній обоймі, зчленована з рухомою гільзою і траверсою гвинтового механізму, підтискає до кришки розмельних камеру з можливістю опускання і підйому її, привід ротора встановлений на поворотній стійці, яка разом з рухомою гільзою змонтована на загальній несучій порожнистій циліндричній колоні з пазами для ходу траверси, при цьому поворотні стійки і обойму при крайніх положеннях фіксують, диски ротора, виконані з радіальними ребрами, розташованими під кутом 90° , а у відбійнику диску радіальні ребра звернені в бік зливного клапана [40].

Опис малюнку: Технологічний процес подрібнення продукту проводять наступним чином. У розмельних камеру 1 (закриту кришкою) через люк в кришці 12 завантажують бісер (скляні кульки). Потім заливають приготовану суспензію, що подрібнюється, компонента в рідкому середовищі і люк закривають заслінкою 17. Включають подачу охолоджуючого середовища в сорочку 28 розмельних камери 1. Включають привід 7 обертання ротора 2. При обертанні ротора 2 з дисками 22 і 23 скляні кульки приходять в інтенсивний рух і компонент, що подрібнюється, між кульками піддається тертю, ударної дії та відбувається подрібнення. Після закінчення заданого часу подрібнення вимикають привід 7 обертання ротора, відключають подачу охолоджуючої середовища в сорочку 28 розмельних камери 1. За допомогою відкидних болтів 13 звільняють з'єднання розмельних камери 1 від кришки 12. Використовуючи гвинтовий механізм 6 і рукоятку 15, поступово опускають в нижнє положення розмельну камеру 1. Опускання розмельної камери 1 відбувається за рахунок зв'язку її з поворотною обоймою 11, з'єднаної з відкидними болтами 14,

траверсой 20, рухомою гільзою 4. Траверса 20 з'єднана з цапфою 27 поворотною обоймою 11, які фіксують стопорним гвинтом 21 [40].

Технічний результат: Заявлені відмітні ознаки і їх застосування, а саме поворотною обойми, поворотної стійки, стикування розмельних камери з

кришкою, можливість опускання і підйому за допомогою гвинтового механізму, забезпечують зручні умови експлуатації при виконанні технологічних операцій, під час розбирання, складання і переході подрібнення від однієї порції до інший. Застосування гвинтового механізму в порожнині колони дозволяє збільшити об'єм розмельної камери і забезпечити зручність розвантаження [40].



1.7. Висновки

1. Вибір способу подрібнення залежить від фізичних властивостей і розмірів матеріалу. Неможливо використовувати лише один спосіб, потрібно їх комбінувати. Для подрібнення твердих та крихких

матеріалів застосовують роздавлювання; для отримання шматків – розколювання та розламування; тонкого та надтонкого подрібнення – стирання в комбінації з роздавлюванням та ударом.

2. Всі існуючі теорії подрібнення не відображають правильно процес тонкого та надтонкого подрібнення. Вони враховують тільки геометричні

розміри та характеристики матеріалу, незважаючи на умови та спосіб подрібнення.

3. Серед проаналізованих установок, найбільш компактні, універсальні, продуктивні, енергозберігаючі, з можливістю впровадження в безперервну виробничу лінію, мають просте конструктивне рішення, ефективні в процесі диспергування та гомогенізації, з високими вимогами до подрібнення (до 1 мкм), являються бісерні млини. Незважаючи на недоліки, бісерний млин один з найпопулярніших установок для подрібнення пігментних паст, кремів в косметичній промисловості та для виробництва мазей, гелів, паст, лініментів у фармацевтичній промисловості.

4. Серед проаналізованих сепараторів для відділення готового продукту від робочих тіл найбільш адаптивними та перспективними являються класифікувальний сепаратор (динамічний класифікувальний картридж) за рахунок того, що він використовує відцентрову силу аналогічній повітряному класифікатору, а щілинний фільтр запобігає виходу бісеру з млина під час запуску і при виключенні установки.

Отже, на основі проведеного аналітичного огляду встановлено такі мету і завдання досліджень:

Мета досліджень - модернізувати обладнання для надтонкого подрібнення компонентів косметичних та лікарських засобів.

Завдання досліджень:

1. Провести аналіз способів подрібнення;
2. Провести аналіз теорій подрібнення;
3. Провести аналіз наявного обладнання для надтонкого подрібнення;
4. Провести аналіз сепараторів для відділення готового продукту від робочих тіл;
5. Розробити методику досліджень та експериментальну установку;

6. Провести експериментальні дослідження та опрацювати їх результати, а саме:

- залежність потужності, розміру частинок, температури від часу подрібнення;

- розрахувати енергетичні параметри процесу та порівняти їх.

5. Застосувати результати досліджень для модернізації наявного обладнання.

Розділ 2

Методи досліджень та експериментальна установка

2.1. Об'єкт і предмети досліджень

Об'єкт досліджень – процес надтонкого подрібнення компонентів косметичних та лікарських засобів.

Предмети досліджень:

1. Компоненти лікарських препаратів, а саме, паст, мазей, лініментів;
2. Компоненти косметичних засобів – субпродукти (пігментні пасти) для виробництва блисків для губ, лаків для нігтів, помад.
3. Процес надтонкого подрібнення;
4. Млини для надтонкого подрібнення: трьохвалковий, бісерний, струменевий, колоїдний, вібраційний.
5. Гранулометричний склад продукту;

6. Робота і потужність подрібнення;
7. Зміна температури холодоагента під час подрібнення;
8. Енергетичні параметри процесу подрібнення;
8. Критерії вибору обладнання для надтонкого подрібнення.

2.2. Дослідна лабораторія і лабораторна база

Дослідження проводилося на базі Національного університету харчових технологій у лабораторіях кафедри машин та апаратів харчових та фармацевтичних виробництв.

2.3. Методика аналізу технологічного обладнання. Визначення переваг і недоліків обладнання

Аналіз роботи, недоліків та переваг технологічного обладнання проводився на прикладі таких машин для надтонкого подрібнення:

1. трьохвалковий млин;
2. бісерний млин;
3. колоїдний млин;
4. струминний млин
5. вібраційний млин.

Оцінка роботи обладнання проводилася на основі аналізу сучасної закордонної та української літератури (статей наукових журналів і тез доповідей конференцій), патентного аналізу, аналізу веб-ресурсів.

2.4. Матеріали досліджень та підготовка зразків

Для проведення дослідження було взято рицинову олію та пігмент залізоокисний «червоний 120».

Рицинова олія - рослинна олія з плодів рицини звичайної, натуральний продукт, суміш гліцеридів трьох жирних кислот: лінолевої, рицинолевої та олеїнової. Густа, прозора, в'язка, безбарвна або жовтуватого кольору рідина; смак своєрідний, неприємний, запах слабкий. Змішується у всіх співвідношеннях з льодяною оцтовою кислотою, етером, безводним спиртом, хлороформом і метанолом; вільно розчиняється петролейному етері (1:1) та в етиловому спирті (95%). Надлишок відшаровується при збільшенні кількості розчинника; практично нерозчинна у воді та мінеральних оліях. Не прогрівається, якщо не піддається надмірному нагріванню, є стабільною речовиною. При нагріванні до 300 °С протягом декількох годин олія полімеризується, стає розчинною в мінеральних маслах. При охолодженні до 0 °С густішає.

Табл.2.3.2.

Специфікація рицинової олії

Динамічна в'язкість при 20°C, мПа×с при 40°C, мПа×с	1000 мПа×с 200 мПа×с
Температура кипіння, °C	313 °C
Температура обуглення, °C	449 °C
Температура замерзання, °C	-16 °C
Температура займання, °C	229 °C
Температура плавлення, °C	12 °C
Кислотне число (не більше)	1,5
Вміст води (не більше), %	0,25%
Число омилення	176-186
Йодне число	82-88
Відносна густина при 25°C, кг/м ³	955-968 кг/м ³

Широко застосовується у косметології, фармації та харчовій промисловості. У фармації найчастіше використовується в мазях та кремах у концентрації 5–12,4% і розчинник для багатьох АФІ та в/м ін'єкцій, а також як пластифікатор при виробництві капсул і таблеток. Входить до складу багатьох косметичних

препаратів. Раніше використовувалася в терапії як проносна речовина. У харчовій промисловості — для оброблення поверхні сирів з метою запобігання плісняві, просочення пакувального паперу.

Пігмент червоний 120 залізоокисний- дисперсна система оксиду заліза (III) гексогональної структури (гематит), порошкоподібний матеріал темно-червоного або червоно-коричневого кольору. Пігмент має високі пігментні властивості, не розчинний у рослинних оліях та воді, світлостійкий та атмосферостійкий.

Табл 2.3.3.

Специфікація Залізоокисний червоний 120

Колор-інекс	P.R. 101
Хімічна формула	Fe_2O_3
Вміст основної речовини, %	95
Стійкість до світла, од. BWS	8
Втрати при нагріві 105°C, %	1,00
Розчинних у воді речовин	0,3
Термостійкість, °C	800
Маслопоглинання, %	825
Залишок на ситі (45 μm)	0,3
Вологість, %	8 1
pH водної витяжки	3,5-7
Форма частинок	сферична
Насипна густина, г/см ³	1,0-1,1
Густина, г/см ³	5,0-5,1
Переважаючий розмір частинок, μm	0,11
Фарбуюча здатність, %	100±5
Гарантія стійкості до світла	30 років

Групу пігментів червоних залізоокисних широко застосовують для виготовлення лакофарбової продукції, а також заповнювачів, підкладок та іншого. Широко застосовують в будівельній промисловості для приготування штукатурки на основі цементу, сухих сумішей, фарбування виробів з бетону (покрівельна черепиця, тротуарна плитка, кольорова плитка для підлоги). Може бути використаний для фарбування шкіри, каучукових сумішей, гум; виготовлення скла, склотари, фарб, кераміки, поліруючих засобів. Крім того, ця група пігментів застосовується в чорній металургії та електротехніці.

Підготовка зразків відбувалася за такою рецептурою:

	Композиція А	Композиція Б
Рицинова олія	100%	60%
Червоний 120	-	40%

Суміш готували на аналітичних вагах з точністю наважки 0,01 г. Композиції Б перевірялися на розмір часток. Після перевірки, композиції по черзі приймали участь у досліді.

2.5. Порядок проведення досліджень

1. Підготовка обладнання та зразків до роботи [28]:

1.1. Підготовка композицій А та Б і вимірювання розміру частинок.

1.2. Підготовка лабораторного стенду та вимірювання потужності холостого ходу двигуна.

2. Дослід з композицією А (рициновою олією):

2.1. завантаження композиції у стакан та проведення досліду (вимірювання потужності, температури холодоагенту протягом часу);

2.2. миття обладнання.

3. Дослід з композицією Б (суспензія на основі рицинової олії та пігменту залізоокисний Червоний 120).

3.1. завантаження композиції у стакан та проведення досліду (вимірювання потужності, температури холодоагенту, розміру частинок суспензії протягом часу подрібнення);

3.2. миття обладнання.

4. Аналіз отриманих даних.

1. Підготовка лабораторного стенду та зразків до роботи [28]

1.1. Підготовка композицій А та Б та вимірювання температури, розмір частинок.

1.1. Підготовка композицій А та Б та вимірювання на розмір частинок

Підготовка зразків відбувалася таким чином: робили наважку пігменту червоний 120 залізоокисний та рицинової олії за такою рецептурою[28]:

	Композиція А	Композиція Б
Рицинова олія	200 г	120 г
Червоний 120	-	80 г

Композиції Б перевірялася на розмір частинок гріндометром «Клин». Після перевірки, композиції по черзі приймали участь у досліді.

1.2. Підготовка лабораторного стенду та вимірювання потужності холостого ходу двигуна [28]

Перед початком робіт необхідно оглянути устаткування на наявність видимих дефектів. Впевнитись у справності заземлення. Вручну провернути вал двигуна на предмет заклинювань.

Вмикали млин та за допомогою трьохфазного мультиметру знімали показники потужності для того, щоб дізнатися, яка потужність йде на холостий хід двигуна. Після цього млин вимикають.

2. Налаштування експериментального стенду із використанням рицинової олії як предмета досліджень

2.1. Завантаження композиції А у стакан та проведення досліду

Композицію А завантажували у стакан бісерного млина. Щільно закривали кришку та засипали робочі тіла (бісер) через пробовідбірник, одночасно вручну повертаючи вал робочого органу для рівномірного розподілення бісеру. Потім стакан з'єднували з валом двигуна через шпонкове з'єднання. Під'єднують патрубки водопостачання та водовідведення, вмикають млин та запускають секундомір. Частота обертання валу з дисками - 1350 об/хв, температура води охолодження – 16,9°C. Потужність вимірювали за допомогою трьохфазного мультиметру; температуру циркуляційної води вимірювали за допомогою термометрів ТРМ-10. Покази приладів знімали протягом 33 хвилин [28].

2.2. Миття обладнання

Після закінчення досліду млин вимикають. Стакан з бісером та композицією А від'єднують від двигуна. Патрубки водопостачання та водовідведення від'єднують від стакану, зливаючи воду з сорочки стакану. Через пробовідбірник через сито з розміром пор 0,8 мм зливають композицію А у тару

готового продукту. Потім розбирають стакан: знімають сито, відкручують кришку з валом дисками, бісер під сильним напором води збивають з кришки з дисками та стакану на поверхню сита. Миють бісер та стакан лужним засобом для миття [28].

3. Дослідження процесу подрібнення суспензії на основі рицинової олії з додаванням пігменту Червоний 120 залізоокисний [28]

3.1. Завантаження композиції Б у стакан та проведення досліду

Композицію Б завантажували у стакан бісерного млина. Щільно закривали кришку та засипали робочі тіла (бісер) через пробовідбірник, одночасно вручну повертаючи вал з направляючими дисками для рівномірного розподілення бісеру. Потім стакан з'єднували з ротором двигуна через шпонкове з'єднання.

Під'єднують патрубки водопостачання та водовідведення, вмикають млин та запускають секундомір. Частота обертання валу з дисками - 1350 об/хв, температура води охолодження – 16,9°C. Потужність вимірювали за допомогою трьохфазного мультиметру; температуру циркуляційної води вимірювали за допомогою термометрів ТРМ-10; розмір часток перевіряли за допомогою гріндометру «Клин». Покази приладів знімали протягом 33 хвилин.

4.2. Миття обладнання

Після закінчення досліду млин вимикають, патрубки водопостачання та водовідведення від'єднують, зливаючи воду з сорочки стакану. Стакан з бісером та композицією Б від'єднують від двигуна. Через пробовідбірник через сито з розміром пор 0,8 мм зливають композицію Б у тару готового продукту. Потім розбирають робочий стакан: знімають сито, відкручують кришку з валом та дисками, бісер під сильним напором води збивають з кришки з дисками та

стакану на поверхню сита. Миють бісер, стакан та гриндометр «Клин» засобом для миття посуду «Fairgy».

5. Аналіз отриманих даних [28]

Отримані результати записуються у Microsoft Office Excel, де розраховуються потужність, розмір частинок суспензії і т.д.

2.6. Опис експериментальних стендів

Бісерний млин лабораторний (рис. 2.6.2. та рис. 2.6.3. та додаток 1) Складається зі станини 1, асинхронного двигуна 2, валу двигуна 3, до якого під'єднується робочий стакан 5 з кришкою 6, закріплюється хомутом 4 [28].

Робочий стакан 5 оснащений сорочкою охолодження 8, а також патрубками водопостачання та водовідведення, через які циркулює холодоагент (вода) від циркуляційного насосу 7 через трубки, що з'єднуються з патрубками хомутами [28].

Кришка стакану 6 оснащена валом 9, на якому закріплені диски 10 за допомогою шпонкового з'єднання 11. Диски мають 4 симетрично розташовані отвори. Закріплюється вся конструкція шайбою 12, шайбою Гровера 13 та болтом 14. Вал 9 з дисками 10 (робочий орган) кріпиться до кришки стакану через підшипниковий вузол та з'єднаний з валом двигуна 3 через шпонкове з'єднання (рис. 2.6.4 та рис. 2.6.6).

Кришка оснащена пробовідбірником із ситовим патроном, який загвинчується на різьбу [28].

Робочі тіла – бісер зі скла діаметром 2 мм (рис. 2.6.5).

Табл. 2.6.1.

Технічні характеристики асинхронного двигуна бісерного млина

Тип	АИММ 63В4 У2.5
-----	----------------

Напруга	380 В
Ін	1,0 А
Потужність	0,37 кВт
Частота	50 Гц
cosП	0,72
ККД	71,2 %
Частота обертів	1350 об/хв
Вага	14,5 кг
ТУ 16-525-722-87	

Гріндометр «Клин»(рис. 2.6.7 в) призначені для аналізу агломератів та розміру частинок при визначенні ступеня подрібнення під час випробування пігментованих суспензійних матеріалів в різних діапазонах вимірювання [28].

Табл. 2.6.2

Технічні характеристики гріндометр «Клин»

Діапазон вимірювання		0-100 мкм (ISO 1524)
Ціна поділки шкали		10 мкм
Межа абсолютної похибки		+/- 10 мкм
Довжина оцифрованої частини клинчастої вимірювальної шкали		140 мм
Середнє арифметичне відхилення профілю Ra вимірювальної поверхні плити і поверхні кромки леза скребка		від 0,4 до 0,63 за ГОСТ 2789
Габарити	Вимірювальна плита	175×35×20 мм
	Скребок	60×40×6 мм
Вага		1,1 кг

Електронний термометр ТРМ-10(рис. 2.6.7 б)- цифровий термометр, який може використовуватися як в побутових так і в виробничих масштабах [28].

Табл. 2.6.3.

Технічні характеристики електронного термометра ТРМ-10

Розміри(Д х Ш х В), мм	47 х 29 х 15
Діапазон вимірюваних температур	від -50°C до +100°C
Дискретність виміру	0,1°C
Погрішність виміру	2 %
Частота оновлення	200 мс
Джерело живлення	2 батареї LR44
Довжина проводу з датчиком	1 м

Багатофункціональний лічильник потужності (мультиметр) CNFAJ Intelligent Power Meter (рис. 2.6.7 а) здатний виконати трифазне вимірювання електричних параметрів (напруга, струм, активна потужність, реактивна потужність, видима потужність, коефіцієнт потужності, частота тощо). Обладнаний рідкокристалічним дисплеєм розрядністю 3 ½, на який виводяться результати всіх вимірювань [28].

Табл.. 2.6.4

Технічні параметри мультиметру CNFAJ Intelligent Power Meter

Продуктивність	Параметри		
Індикація вхідних вимірювань	Мережа		3РЗW, 3Р4W (трьох фазна трижильна, трьох фазна чотирьох жильна)
	Напруга	Номінальне значення	AC100V, 400V
		Перевантаження	Витримує: 1,2 рази Миттєво: 2 рази / 10 с
		Споживання	<1ВА (за фазу)
		Опір	≥ 300 кОм
		Точність	Вимірювання RMS, клас точності 0,5
	Сила струму	Номінальне значення	Змінного струму 1 В, 5 А
		Перевантаження	Витриманує: 1,2 рази Миттєво: 2 рази / 10 с
		Споживання	<0,4 ВА (на фазу)

		Опір	<20 МОм
		Точність	Вимірювання RMS, клас точності 0,5
	Частота		40-60 Гц, точність 0,1 Гц
	Коефіцієнт потужності		Активні, реактивні, явна, класи точності 0,5
	Електрична енергія		Чотирьохфазне вимірювання мереж, активна точність, клас 0,5, клас реактивної точності 2,0
Габарити	Дисплей		Програмований, перемикається, круговий 2,3,4 рядковий світлодіодний дисплей.
	Розміри		120×120×85 мм; 96×96×85 мм 80×80×85 мм; 72×72×85 мм
	Вага		0,6 кг



Рис. 2.6.2. Фотографія експериментального стенду – бісерного млина зі стаканом для надтонкого подрібнення компонентів лікарських і косметичних засобів та циркуляційний насос для водяного охолодження стакану з

датчиками вимірювання температури вхідної та вихідної води а також блок підключення мультиметру для вимірювання потужності

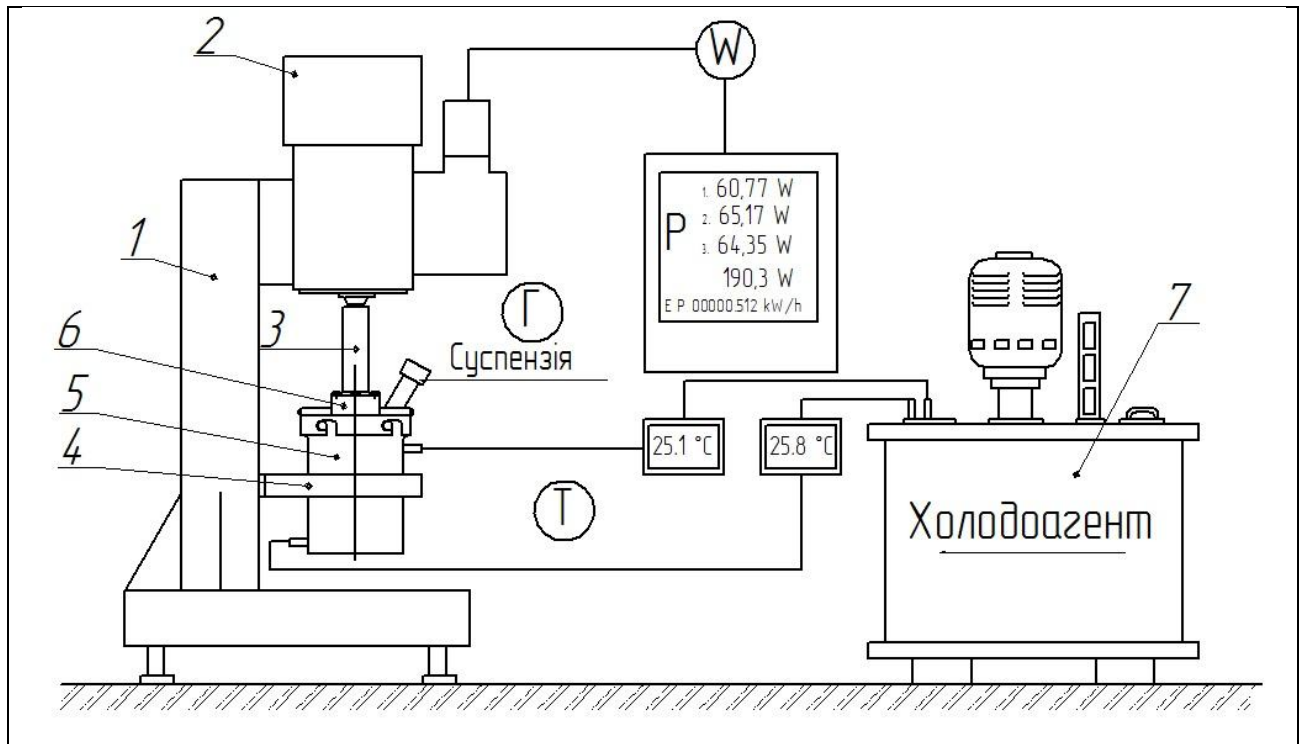


Рис.2.6.3. Експериментальний стенд – бісерний млин лабораторний.

1 – станина; 2 – двигун; 3 – пряма передача; 4 – зажим; 5 - стакан; 6 – кришка стакану; 7 - циркуляційний насос.

А – вимірювання потужності мультиметром; Т – вимірювання температури термометром; Г – вимірювання розміру частинок суспензії гриндометром «Клін».

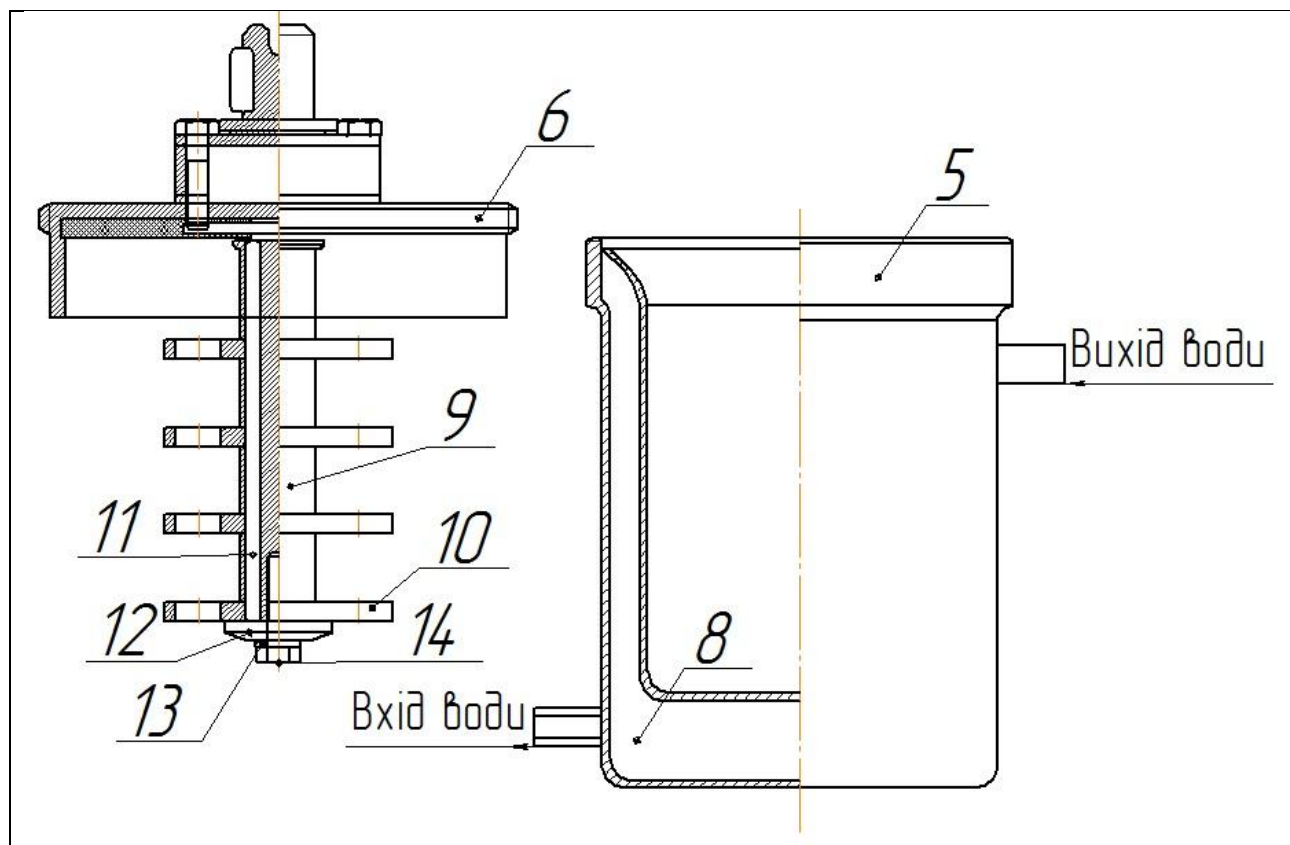


Рис. 2.6.4. Експериментальний стенд – робоча камера: 5 – робочий стакан; 6 – кришка; 8 – сорочка охолодження; 9 – вал; 10 – диски; 11 – шпонка; 12 – шайба; 13 – шайба Гровера; 14 – болт.



Рис. 2.6.5. Робочі тіла – бісер. Скло, діаметр 2 мм.



Рис. 2.6.6. Робочий орган лабораторного бісерного млина

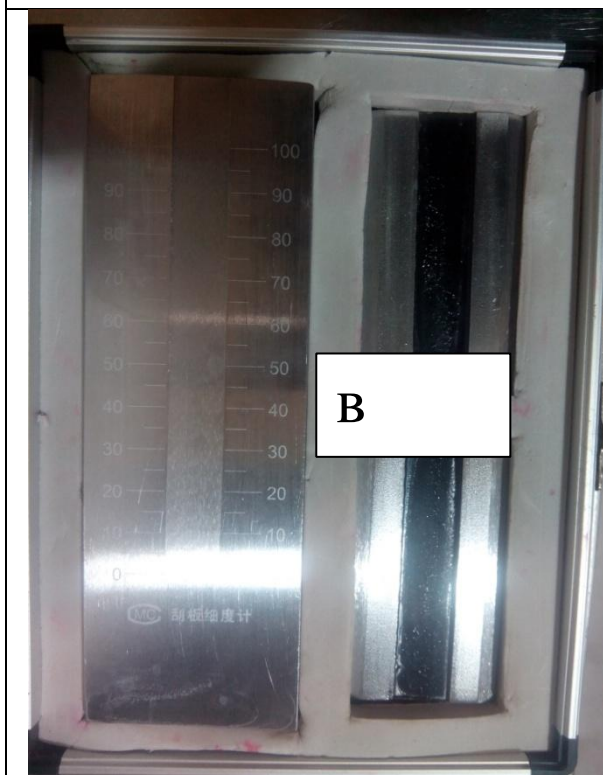
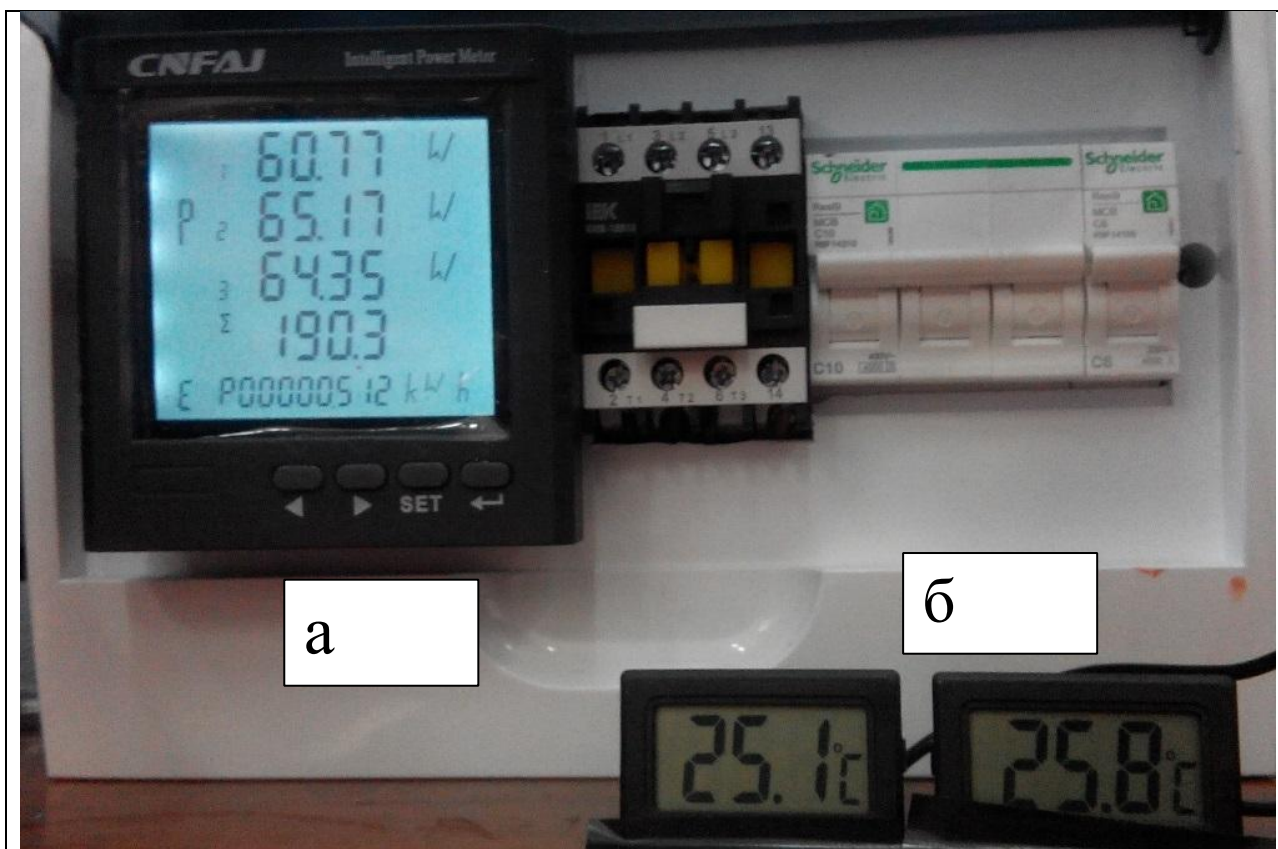


Рис. 2.6.7. Прилади для зняття результатів дослідів:
а – багатофункціональний лічильник потужності (мультиметр) CNFAJ Intelligent Power Meter;
б – електронні термометри ТРМ-10; в – гриндометр «Клин».

2.7. План експерименту та обробка їх результатів

Під час кожного експерименту проводимо 3 паралельні досліди.

За трьома паралельними дослідami визначаємо середнє значення вихідної величини.

Знаходимо суму квадратів відхилень між паралельними дослідami і середнім значенням. Знаходимо суму квадратів відхилень.

За допомогою методу найменших квадратів і з використанням сучасного програмного забезпечення на основі Microsoft Excel 2010 визначаємо вид функції для кожного досліду (будуємо «лінію тренда»).

Визначаємо квадрат відхилення між середнім експериментальним і розрахунковим значенням вихідної величини. Знаходимо суму квадратів відхилень.

Визначали рівняння, яке найкраще описує процес, тобто, те рівняння, критерій достовірності апроксимації R^2 найближчий до одиниці, або сума квадратів відхилень між середнім експериментальним і розрахунковим значенням вихідної величини є найнижчим.

Приклад таблиці результатів експерименту і обробки його результатів показано в таб. 2.7.1.

Таблиця 2.7.1.

Приклад таблиці результатів експерименту і обробки його результатів

N	y_1	y_2	y_3	y_c	$(y_i - y_c)^2$	y_p	$(y_c - y_p)^2$
1							
2							
...							
$\Sigma(y_i - y_c)^2$							

Визначили загальну питому енергію на процес подрібнення: отримане рівняння процесу (функцію залежності потужності від часу) підставлено в інтегральний вираз [6,7,26]:

$$E_{ts} = \int_{\tau_0}^{\tau_k} N(\tau) d\tau$$

Теплову енергію розраховали аналогічним способом, отриманням функції залежності теплоти від часу [6,7,26]:

$$E_H = \int_{\tau_0}^{\tau_k} q(\tau) d\tau$$

2.8. Висновок

Розроблена методика дослідження надтонкого подрібнення компонентів косметичних і лікарських засобів у бісерному млині дозволяє:

1. Визначити фізичні, енергетичні та механічні параметри процесу подрібнення суспензії на основі рицинової олії з додаванням пігменту червоного 120 залізоокисного та енергетичні затрати на перемішування рицинової олії у лабораторному бісерному млині;
2. Виконати аналіз роботи обладнання для надтонкого подрібнення компонентів лікарських і косметичних засобів, визначити його переваги і недоліки, підібрати раціональний режим роботи устаткування.
3. Вибрати раціональний тип обладнання в залежності від технічного завдання.

Розділ 3

Результати теоретичних та експериментальних досліджень

3.1. Аналіз результатів теоретичних досліджень

Табл..3.1.1.

Результат аналізу теоретичних досліджень [2,3,4,5,11,12,13,20,29,36,37,44,48]

Назва обладнання	Переваги	Недоліки	Мінімальний розмір частинок
Трьохвалкові млини	Компактність; пристосовані для переробки продуктів, схильних до налипання; мають запобіжні пристрої на принципі магніту; можливість впровадження в безперервну виробничу лінію.	Порівняно невисока питома продуктивність; інтенсивне і нерівномірне зношування робочих поверхонь; ймовірність зміщення валу через нерівномірність стягуючих пружин; при досягненні максимальної тонкості продуктивність знижується.	менше 3 мкм
Колоїдні млини	Ефективний процес емульгування та диспергування.	Високий знос робочих елементів; Маловивченість процесу.	0,4 мкм
Струменеві млини	Довговічність обладнання у зв'язку з тим, що елементи млина практично не	Велике енергоспоживання, що призводить до великої енергоємності процесу;	2-5 мкм

	зношуються, а тому додають домішок в готовий продукт;; забезпечує отримання порошків високої якості; мінімальні втрати продукту; дозволяє переробляти термолабільні речовини.	необхідність підтримування постійного аеродинамічного режиму роботи та рівномірної подачі матеріалу; необхідність попереднього подрібнення; небезпечність роботи.	
Бісерні млини	Простота обслуговування; надійність та безпечність роботи; універсальність; висока продуктивність; незмінність якості подрібнення, простота конструкції, універсальність, висока продуктивність при незначних розмірах машини, висока ступінь герметизації.	Малий ККД – 15%; неекономне споживання води та миючих засобів на підготовку обладнання до роботи; спікання та «вигоряння» суспензії в разі недостатнього охолодження; не призначені для високов'язких красок та емалей.	менше 1 мкм
Вібраційні млини	Велика дисперсність та однорідність частинок продукту досягаються дуже швидко.	Не підходить для подрібнення порошків; клейких, в'язких паст та термолабільних матеріалів; низька продуктивність (до 1 т/год); швидкий знос робочих поверхонь; важкі умови праці.	1-5 мкм

Висновок

Серед проаналізованих установок, найбільш компактні, універсальні, продуктивні, енергозберігаючі, з можливістю впровадження в безперервну виробничу лінію, мають просте конструктивне рішення, ефективні в процесі диспергування та гомогенізації, з високими вимогами до подрібнення (до 1 мкм), являються бісерні млини. Незважаючи на недоліки, бісерний млин один з найпопулярніших установок для подрібнення пігментних паст, кремів в косметичній промисловості та для виробництва мазей, гелів, паст, лініментів у фармацевтичній промисловості.

3.2. Аналіз результатів експериментальних досліджень

3.2.1. Залежність споживної потужності на час подрібнення у процесі подрібнення суспензії у бісерному млині

Протягом дослідів відбувається зміна потужності, яка йде на подрібнення та перемішування суспензії на основі рицинової олії з додаванням пігменту червоного 120 залізоокисного.

На роботу холостого ходу двигуна без робочої ємкості та робочих тіл (бісеру) витрачається 80,14 Вт.

На роботу лабораторного бісерного млина з робочою ємкістю та робочими тілами (бісером), в якому завантажено *композицію А (рицинова олія)*, яка виконує роль змащувального матеріалу для уникнення зношування установки, витрачається від 203,9 до 159,1 Вт (на 123,76 – 79,0 Вт більше, від потужності холостого ходу двигуна).

На роботу лабораторного бісерного млина, в якому відбувається процес подрібнення *композиції Б (суспензія на основі рицинової олії та пігменту червоного 120 залізоокисного)* витрачається від 293,8 до 190,8 Вт (на 213,7 - 110,7 Вт більше, від потужності холостого ходу двигуна).

Позначення для двох таблиць:

N_0 – потужність холостого ходу двигуна, Вт;

N_i – споживана потужність на перемішування і подрібнення, Вт;

N_c – середня сумарна потужність на перемішування і подрібнення, Вт;

N_E – реальна потужність на перемішування і подрібнення (різниця між сумарною потужністю і потужністю холостого ходу двигуна), Вт;

N_P – розрахункова (за отриманою формулою) потужність на перемішування і подрібнення, Вт;

Π – абсолютна похибка, Вт;

Δ – відносна похибка, %

$$\Delta = \frac{N_P - N_E}{N_P} \cdot 100\%$$

Табл. 3.2.1.1.

**Розрахунок потужності процесу подрібнення та перемішування композиції
Б(суспензія на основі рицинової олії з додаванням пігменту
червоного120залізоокисного) у лабораторному бісерному млині**

Час, хв	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	N _c	N _E	N _P	П	Δ	(N _E -N _P) ²
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,01	80,14	290,8	289,5	301,1	293,8	213,7	214,1	0,4	0,2	0,2
1	80,14	252,9	251,6	263,2	255,9	175,8	156,2	-19,5	-12,5	381,0
2	80,14	223,3	222,0	233,6	226,3	146,2	147,5	1,4	0,9	1,9
3	80,14	216,1	214,8	226,4	219,1	139,0	142,4	3,5	2,4	12,1
4	80,14	213,5	212,2	223,8	216,5	136,4	138,8	2,5	1,8	6,1
5	80,14	208,2	206,9	218,5	211,2	131,1	136,0	5,0	3,7	24,7
6	80,14	204,8	203,5	215,1	207,8	127,7	133,7	6,1	4,5	36,9
7	80,14	203	201,7	213,3	206,0	125,9	131,8	5,9	4,5	35,3
8	80,14	202,4	201,1	212,7	205,4	125,3	130,1	4,9	3,7	23,6
9	80,14	205,9	204,6	216,2	208,9	128,8	128,6	-0,1	-0,1	0,0
10	80,14	200,2	198,9	210,5	203,2	123,1	127,3	4,3	3,3	18,1
11	80,14	198,7	197,4	209,0	201,7	121,6	126,1	4,6	3,6	20,8
12	80,14	197,3	196,0	207,6	200,3	120,2	125,0	4,9	3,9	23,7
13	80,14	200,3	199,0	210,6	203,3	123,2	124,0	0,9	0,7	0,7
14	80,14	197,9	196,6	208,2	200,9	120,8	123,1	2,3	1,9	5,4
15	80,14	197,3	196,0	207,6	200,3	120,2	122,2	2,1	1,7	4,3
16	80,14	198,7	197,4	209,0	201,7	121,6	121,4	-0,1	-0,1	0,0

17	80,14	196,7	195,4	207,0	199,7	119,6	120,7	1,1	0,9	1,2
18	80,14	198,8	197,5	209,1	201,8	121,7	119,9	-1,7	-1,4	3,0
19	80,14	198,5	197,2	208,8	201,5	121,4	119,3	-2,1	-1,8	4,4
20	80,14	195,8	194,5	206,1	198,8	118,7	118,6	0,0	0,0	0,0
21	80,14	196,3	195,0	206,6	199,3	119,2	118,0	-1,2	-1,0	1,3
22	80,14	197,9	196,6	208,2	200,9	120,8	117,4	-3,3	-2,8	11,2
23	80,14	198	196,7	208,3	201,0	120,9	116,9	-4,0	-3,4	16,0
24	80,14	194,1	192,8	204,4	197,1	117,0	116,3	-0,6	-0,5	0,4
25	80,14	193,5	192,2	203,8	196,5	116,4	115,8	-0,5	-0,5	0,3
26	80,14	194,5	193,2	204,8	197,5	117,4	115,3	-2,0	-1,8	4,2
27	80,14	194,9	193,6	205,2	197,9	117,8	114,8	-2,9	-2,5	8,5
28	80,14	194,8	193,5	205,1	197,8	117,7	114,4	-3,3	-2,9	10,7
29	80,14	194	192,7	204,3	197,0	116,9	113,9	-2,9	-2,6	8,5
30	80,14	193,9	192,6	204,2	196,9	116,8	113,5	-3,2	-2,9	10,5
31	80,14	193,6	192,3	203,9	196,6	116,5	113,1	-3,4	-3,0	11,2
32	80,14	190,3	189,0	200,6	193,3	113,2	112,7	-0,4	-0,4	0,2
33	80,14	187,8	186,5	198,1	190,8	110,7	112,3	1,7	1,5	2,8
$\Sigma (N_E - N_p)^2$										689,4

За результатами розрахунків отримано рівняння для визначення потужності на перемішування та подрібнення композиції Б(суспензії на основі рицинової олії з додаванням пігменту червоного 120 залізоокисного) у межах часу від 0 до 33 хвилин та питомої енергії процесу:

$$N = -12,56 \ln \ln(x) + 156,24, \text{ Вт}$$

Де x – час подрібнення;

Максимальна абсолютна похибка – 19,5 Вт;

Максимальна відносна похибка – 12,5 %;

Величина достовірності апроксимації $R^2 = 0,944$

Табл. 3.2.1.2.

Розрахунок потужності процесу перемішування композиції А(рицинова олія) у лабораторному бісерному млині

Час, хв	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	N _c	N _E	N _P	Π	Δ	(N _E -N _P) ²
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,01	80,14	200,8	206,3	204,6	203,9	123,8	214,1	90,3	42,2	8157,9
1	80,14	194	199,5	197,8	197,1	117,0	156,2	39,3	25,1	1542,9
2	80,14	186,5	192,0	190,3	189,6	109,5	147,5	38,1	25,8	1449,6
3	80,14	179,6	185,1	183,4	182,7	102,6	142,4	39,9	28,0	1590,5
4	80,14	176,3	181,8	180,1	179,4	99,3	138,8	39,6	28,5	1565,6
5	80,14	173,4	178,9	177,2	176,5	96,4	136,0	39,7	29,2	1573,3
6	80,14	171,6	177,1	175,4	174,7	94,6	133,7	39,2	29,3	1534,7
7	80,14	170,7	176,2	174,5	173,8	93,7	131,8	38,1	28,9	1454,6
8	80,14	169,5	175,0	173,3	172,6	92,5	130,1	37,7	28,9	1418,4
9	80,14	168,6	174,1	172,4	171,7	91,6	128,6	37,1	28,8	1375,1
10	80,14	167,7	173,2	171,5	170,8	90,7	127,3	36,7	28,8	1343,9
11	80,14	168	173,5	171,8	171,1	91,0	126,1	35,2	27,9	1236,4
12	80,14	167,3	172,8	171,1	170,4	90,3	125,0	34,8	27,8	1208,9
13	80,14	166,8	172,3	170,6	169,9	89,8	124,0	34,3	27,6	1174,0
14	80,14	166,3	171,8	170,1	169,4	89,3	123,1	33,8	27,5	1144,7
15	80,14	165,7	171,2	169,5	168,8	88,7	122,2	33,6	27,5	1126,7
16	80,14	165,3	170,8	169,1	168,4	88,3	121,4	33,2	27,3	1099,3
17	80,14	164,2	169,7	168,0	167,3	87,2	120,7	33,5	27,8	1121,9
18	80,14	161,9	167,4	165,7	165	84,9	119,9	35,1	29,2	1230,4
19	80,14	161,1	166,6	164,9	164,2	84,1	119,3	35,2	29,5	1238,9
20	80,14	161,8	167,3	165,6	164,9	84,8	118,6	33,9	28,5	1146,1
21	80,14	161,4	166,9	165,2	164,5	84,4	118,0	33,6	28,5	1131,7
22	80,14	160,7	166,2	164,5	163,8	83,7	117,4	33,8	28,7	1139,5
23	80,14	160	165,5	163,8	163,1	83,0	116,9	33,9	29,0	1149,1
24	80,14	159,1	164,6	162,9	162,2	82,1	116,3	34,3	29,5	1174,0
25	80,14	158,2	163,7	162,0	161,3	81,2	115,8	34,7	29,9	1200,7

26	80,14	158,1	163,6	161,9	161,2	81,1	115,3	34,3	29,7	1173,6
27	80,14	157,8	163,3	161,6	160,9	80,8	114,8	34,1	29,7	1161,7
28	80,14	157,7	163,2	161,5	160,8	80,7	114,4	33,7	29,5	1137,5
29	80,14	157,4	162,9	161,2	160,5	80,4	113,9	33,6	29,5	1128,1
30	80,14	157	162,5	160,8	160,1	80,0	113,5	33,6	29,6	1126,3
31	80,14	156,6	162,1	160,4	159,7	79,6	113,1	33,5	29,7	1125,5
32	80,14	156,2	161,7	160,0	159,3	79,2	112,7	33,6	29,8	1125,6
33	80,14	156	161,5	159,8	159,1	79,0	112,3	33,4	29,7	1113,1
$\Sigma (N_E - N_p)^2$										49620,8

За результатами розрахунків отримано рівняння для визначення потужності на перемішування композиції А (рицинова олія) у межах часу від 0 до 33 хвилин та питомої енергії процесу:

$$N = -6,623 \ln \ln (x) + 105,2, \text{ Вт}$$

Де x – час подрібнення;

Максимальна абсолютна похибка – 90,3 Вт;

Максимальна відносна похибка – 42,2 %;

Величина достовірності апроксимації $R^2 = 0,8671$.

Всі результати експерименту графічно зображені на рис. 3.2.1.1.

Сумарна величина потужності на перемішування і подрібнення композиції Б (суспензія на основі рицинової олії та пігменту червоного 120 залізоокисного) зображені на рис. 3.2.1.2.

Сумарна величина потужності на перемішування композиції А (рицинова олія) зображені на рис. 3.2.1.3.

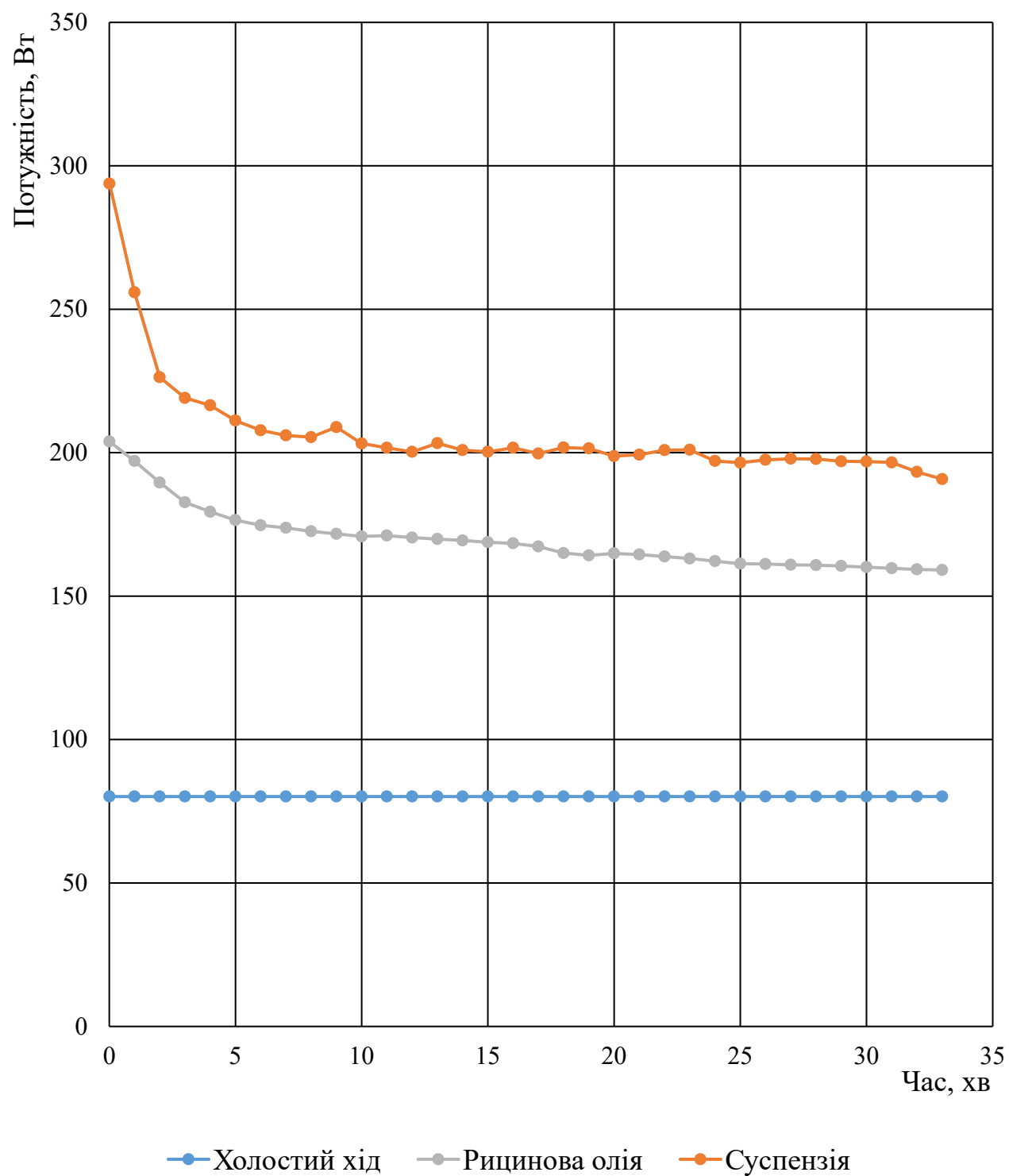


Рис. 3.2.1.1.Зміна потужності, Вт протягом часу

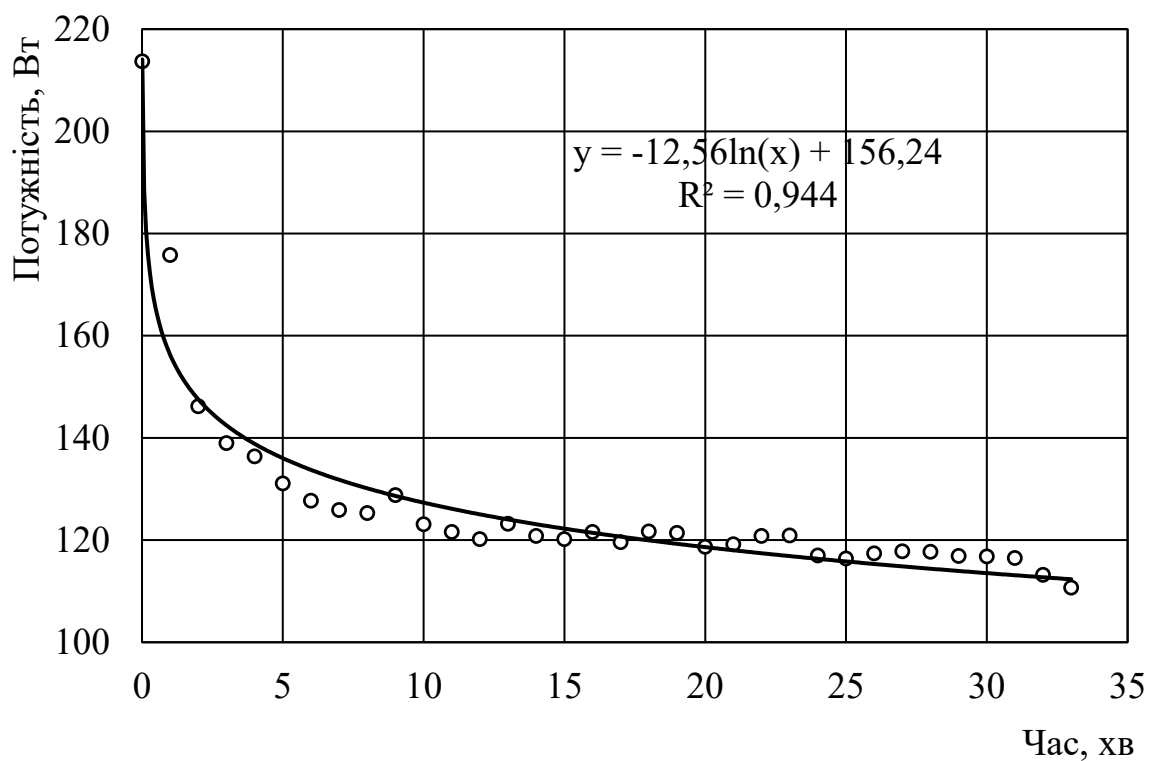


Рис. 3.2.1.2. Сумарна величина потужності на змішування і подрібнення композиції Б (суспензія на основі рицинової олії та пігменту червоного 120 залізоокисного)

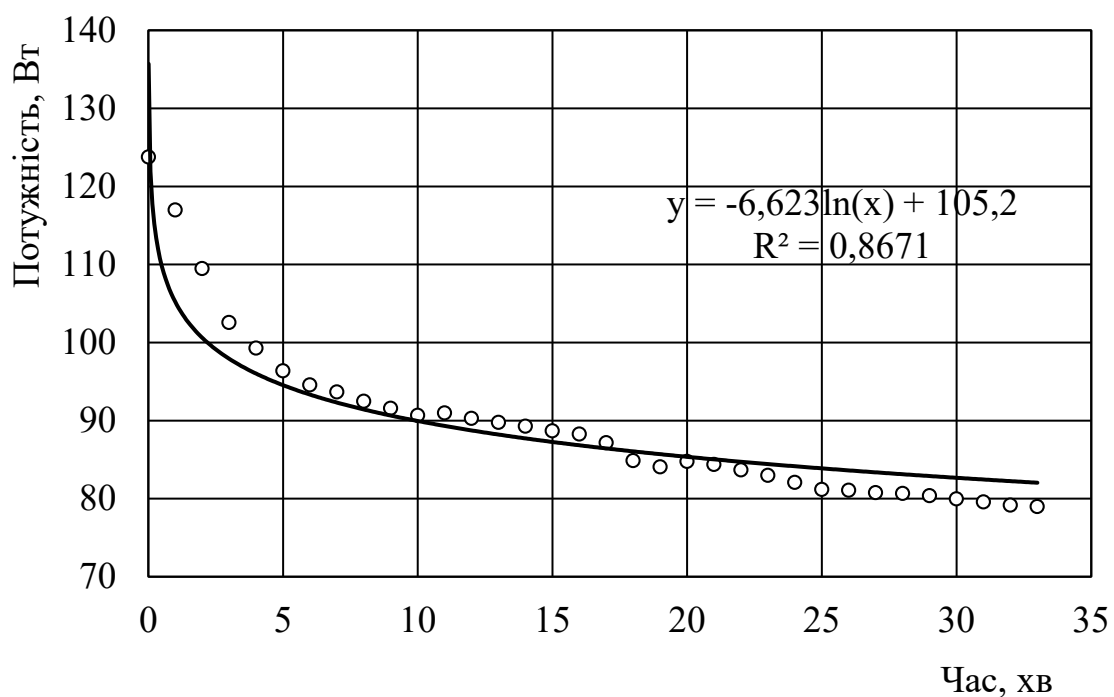


Рис. 3.2.1.3. Сумарна величина потужності перемішування композиції А (рицинова олія)

Загальну питому енергію на процес подрібнення та перемішування композицій А та Б рахували так: отримане рівняння процесу (функцію залежності потужності від часу) підставляємо в інтегральний вираз[6,7,26]:

$$E_{ts} = \int_{\tau_0}^{\tau_k} N(\tau) d\tau$$

В результаті отримуємо та вирішуємо рівняння:

$$E_A = \int_0^{33} -6,623 \ln \ln (\tau) + 105,2 d\tau$$

$$E_A = 2,926 \times 10^3 \text{ Дж};$$

$$E_B = \int_0^{33} -12,56 \ln \ln (\tau) + 156,24, d\tau$$

$$E_B = 4,121 \times 10^3 \text{ Дж.}$$

де E_A – питома енергія на процес перемішування композиції А (рицинова олія);

E_B - питома енергія на процес подрібнення та перемішування композиції Б (суспензія на основі рицинової олії та пігменту червоного 120 залізоокисного);

τ – час, протягом якого проводили дослід, хв[6,7,26].

Отже, зі збільшенням часу подрібнення потужність зменшується. Причому найбільш інтенсивне зменшення потужності відбувається на ділянці від 0 до 5 хвилин. Це пояснюється тим, що під час запуску установки необхідно подолати сукупність шкідливих опорів, пов'язаних із опорами самого продукту та моментами інерції. Атакож найбільш інтенсивне подрібнення відбувається в перші 5 хвилин (див. розділ 3.2.2.).

3.2.2. Залежність часу подрібнення на розмір частинок суспензії

Композиція Б (суспензія на основі рицинової олії та пігменту червоного 120 залізоокисного) на початку дослідів мала розмір частинок в середньому 150

µm, а в кінці досліді – менше 3 µm. Найбільш інтенсивне подрібнення відбувається в перші 5 хвилин (від 150 до 47 µm в середньому). Найменш інтенсивне подрібнення відбувалося в кінці досліді, з 25-ї хвилини – подрібнення майже не відбувалося (від 9 до менше ніж 3 µm до 33 хвилини).

Табл. 3.2.2.1.

Розрахунок розміру часток компонентів суспензії на основі залізоокисного червоного 120 під час процесу надтонкого подрібнення у бісерному млині

Час, хв	G ₁	G ₂	G ₃	G _c	G _p	Π	Δ	(G _c -G _p) ²
0	151	147	152	150	165,5	15,5	9,4	241,7
1	91	87	92	90	75,1	-14,9	-19,9	223,3
2	73	69	74	72	61,4	-10,6	-17,2	111,6
3	61	57	62	60	53,5	-6,5	-12,2	42,7
4	53	49	54	52	47,8	-4,2	-8,8	17,5
5	48	44	49	47	43,4	-3,6	-8,2	12,7
6	44	40	45	43	39,8	-3,2	-7,9	9,9
7	41	37	42	40	36,8	-3,2	-8,6	10,1
8	38	34	39	37	34,2	-2,8	-8,2	7,9
9	34	30	35	33	31,9	-1,1	-3,5	1,3
10	31	27	32	30	29,8	-0,2	-0,6	0,0
11	30	26	31	29	27,9	-1,1	-3,8	1,1
12	28	24	29	27	26,2	-0,8	-2,9	0,6
13	27	23	28	26	24,7	-1,3	-5,5	1,8
14	25	21	26	24	23,2	-0,8	-3,5	0,6
15	23	19	24	22	21,8	-0,2	-0,7	0,0
16	22	18	23	21	20,6	-0,4	-2,1	0,2
17	21	17	22	20	19,4	-0,6	-3,2	0,4
18	19	15	20	18	18,3	0,3	1,4	0,1
19	17	13	18	16	17,2	1,2	7,0	1,4
20	16	12	17	15	16,2	1,2	7,3	1,4
21	15	11	16	14	15,2	1,2	8,1	1,5
22	14	10	15	13	14,3	1,3	9,2	1,7
23	12	8	13	11	13,4	2,4	18,2	6,0

24	11	7	12	10	12,6	2,6	20,7	6,8
25	10	6	11	9	11,8	2,8	23,8	7,9
26	9	5	10	8	11,0	3,0	27,5	9,2
27	8	4	9	7	10,3	3,3	32,0	10,8
28	8	4	9	7	9,6	2,6	26,9	6,6
29	7	3	8	6	8,9	2,9	32,5	8,3
30	6	2	7	5	8,2	3,2	39,2	10,4
31	5	1	6	4	7,6	3,6	47,2	12,8
32	4	1	4	3	7,0	4,0	56,9	15,6
33	4	1	1	2	6,3	4,3	68,5	18,9
$\Sigma (G_c - G_p)^2$								803,1

Позначення в таблиці:

G_i – розмір частинок композиції Б, μm ;

G_c – середній сумарний розмір частинок, μm ;

G_p – розрахунковий (за отриманою формулою) розмір частинок, μm ;

Π – абсолютна похибка, μm ;

Δ – відносна похибка, %

$$\Delta = \frac{G_p - G_c}{G_p} \cdot 100\%$$

За результатами розрахунків отримано рівняння для визначення розміру часток на подрібнення Композиція Б (суспензія на основі рицинової олії та пігменту червоного 120 залізоокисного) у межах часу від 0 до 33 хвилин:

$$G = -19,65 \ln \ln(x) + 75,056, \mu\text{m}$$

Де x – час подрібнення

Максимальна абсолютна похибка – 15,5 μm ;

Максимальна відносна похибка – 68,5 %

Величина достовірності апроксимації $R^2 = 0,9725$.

Всі результати експерименту графічно зображені на рис. 3.2.2.1..

Отже, протягом дослідів зі збільшенням часу подрібнення розмір частинок стає все меншим, де найбільш інтенсивне подрібнення відбувається протягом перших 5 хвилин. Це пояснюється тим, що в суспензії присутні такі утворення, як агломерати (зліплені частинки пігменту), які мають досить низьку міцність, порівняно з окремими частинками пігменту червоного 120 залізоокисного. Крім того, витрачається більше енергії на подолання взаємного зчеплення частинок пігменту. Твердий матеріал піддається спочатку об'ємній деформації, а потім руйнується за ослабленими дефектами.

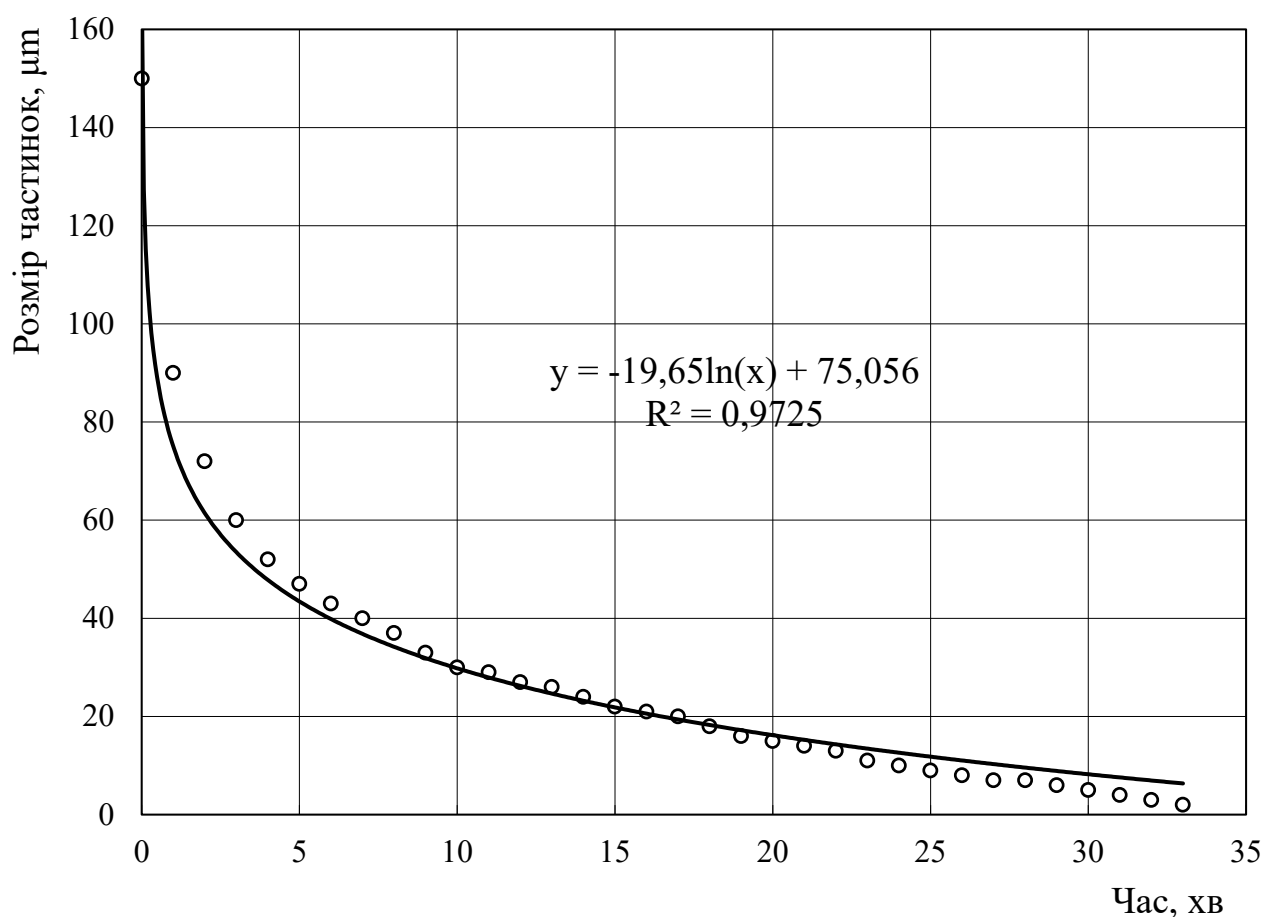


Рис.3.2.2.1. Зміна розмір частинок Композиція Б (суспензія на основі рицинової олії та пігменту червоного 120 залізоокисного), мкм

3.2.3. Залежність температури від часу подрібнення

Протягом дослідів відбувалося збільшення температури холодоагенту, який застосовувався для охолодження робочої ємності під час процесу за допомогою циркуляційного насоса та баку з водою.

Під час перемішування композиції А (рицинова олія) відбувся зріст температури з 22,3 °С до 34,6 °С (на 12,1 °С). Найбільш інтенсивне збільшення температури відбувався в перші 3 хвилини дослідів.

Під час подрібнення композиції Б (суспензії на основі рицинової олії та пігменту червоного 120 залізоокисного) відбувся зріст температури з 15,1 °С до 27,2 °С (на 12,3 °С). Найбільш інтенсивне збільшення температури відбувався в перші 5 хвилин дослідів.

Позначення для обох таблиць:

T_i – температура, °С;

T_c – середня сумарна температура, °С;

ΔT_c – різниця між тепловими показниками входу та виходу води з сорочки охолодження робочої ємності, °С

q – теплота, Дж

q_p – розрахункова (за отриманою формулою) теплота, Дж;

Π – абсолютна похибка, °С;

Δ – відносна похибка, %

$$\Delta = \frac{T_p - T_E}{T_p} \cdot 100\%$$

За результатами розрахунків отримано рівняння теплоти, яке йде на перемішування композиції А (рицинова олія) у межах часу від 0 до 33 хвилин та теплової енергії процесу:

$$q = 5,8331 \ln(x) + 19,084 \text{ Дж}$$

Де x – час подрібнення

Максимальна абсолютна похибка – 6,7 Дж;

Максимальна відносна похибка – 122,9 %

Величина достовірності апроксимації $R^2 = 0,8363$.

За результатами розрахунків отримано рівняння теплоти, яке йде на подрібнення та перемішування композиції Б (суспензії на основі рицинової олії та пігменту червоного 120 залізоокисного) у межах часу від 0 до 33 хвилин та завальної теплової енергії процесу:

$$q = 19,939 \ln(x) + 39,653 \text{ Дж}$$

Де x – час подрібнення

Максимальна абсолютна похибка – 15,7 Дж;

Максимальна відносна похибка – 101,3 %

Величина достовірності апроксимації $R^2 = 0,9489$.

Всі результати експерименту графічно зображені на рис. 3.2.3.1.

Загальну теплову енергію на процес подрібнення та перемішування композицій А та Б рахували так: отримане рівняння процесу (функцію залежності теплоти від часу) підставляємо в інтегральний вираз [6,7,26]:

$$E_H = \int_{\tau_0}^{\tau_k} q(\tau) d\tau$$

В результаті отримуємо та вирішуємо рівняння:

$$E_A = \int_0^{33} 5,8331 \ln \ln(\tau) + 19,084 d\tau$$

$$E_A = 1,11 \times 10^3 \text{ Дж};$$

$$E_B = \int_0^{33} 19,939 \ln \ln (\tau) + 39,653, d\tau$$

$$E_B = 2,951 \times 10^3 \text{ Дж.}$$

де E_A – теплова енергія на процес перемішування композиції А (рицинова олія);

E_B – теплова енергія на процес подрібнення та перемішування композиції Б (суспензія на основі рицинової олії та пігменту червоного 120 залізоокисного);

τ – час, протягом якого проводили дослід, хв[6,7,26].

Табл. 3.2.3.1.

Розрахунок теплоти холодоагенту протягом подрібнення композиції Б у бісерному млині

Швидкість руху води в трубках – 0,03 кг/сек; теплоємність води – 4200 Дж/кг*град														
	Вхід води				Вихід води									
Час, хв	T ₁	T ₂	T ₃	T _c	T ₁	T ₂	T ₃	T _c	ΔT _c	q	q _p	Π	Δ	(q _c -q _p) ²
0,1	15,2	19,2	16,3	16,9	15,1	19,1	16,2	16,8	-0,1	-12,6	-6,3	6,3	-101,3	40,2
0,5	15,2	19,2	16,3	16,9	15,4	19,4	16,5	17,1	0,2	25,2	25,8	0,6	2,4	0,4
1,0	15,3	19,3	16,4	17,0	15,6	19,6	16,7	17,3	0,3	37,8	39,7	1,9	4,7	3,4
2,0	15,5	19,5	16,6	17,2	15,8	19,8	16,9	17,5	0,3	37,8	53,5	15,7	29,3	245,7
3,0	15,6	19,6	16,7	17,3	16,1	20,1	17,2	17,8	0,5	63,0	61,6	-1,4	-2,3	2,1
4,0	15,9	19,9	17,0	17,6	16,5	20,5	17,6	18,2	0,6	75,6	67,3	-8,3	-12,3	69,0
5,0	16,2	20,2	17,3	17,9	16,8	20,8	17,9	18,5	0,6	75,6	71,7	-3,9	-5,4	14,9
6,0	16,4	20,4	17,5	18,1	17,0	21,0	18,1	18,7	0,6	75,6	75,4	-0,2	-0,3	0,0
7,0	16,6	20,6	17,7	18,3	17,3	21,3	18,4	19,0	0,7	88,2	78,5	-9,7	-12,4	95,0
8,0	16,9	20,9	18,0	18,6	17,6	21,6	18,7	19,3	0,7	88,2	81,1	-7,1	-8,7	50,2
9,0	17,2	21,2	18,3	18,9	17,9	21,9	19	19,6	0,7	88,2	83,5	-4,7	-5,7	22,4
10,0	17,4	21,4	18,5	19,1	18,1	22,1	19,2	19,8	0,7	88,2	85,6	-2,6	-3,1	6,9
11,0	17,6	21,6	18,7	19,3	18,3	22,3	19,4	20,0	0,7	88,2	87,5	-0,7	-0,8	0,5
12,0	17,9	21,9	19,0	19,6	18,6	22,6	19,7	20,3	0,7	88,2	89,2	1,0	1,1	1,0
13,0	18,1	22,1	19,2	19,8	18,9	22,9	20	20,6	0,8	100,8	90,8	-10,0	-11,0	100,1

14,0	18,3	22,3	19,4	20,0	19,1	23,1	20,2	20,8	0,8	100,8	92,3	-8,5	-9,2	72,7
15,0	18,6	22,6	19,7	20,3	19,4	23,4	20,5	21,1	0,8	100,8	93,6	-7,2	-7,6	51,1
16,0	18,8	22,8	19,9	20,5	19,6	23,6	20,7	21,3	0,8	100,8	94,9	-5,9	-6,2	34,4
17,0	19,1	23,1	20,2	20,8	19,9	23,9	21	21,6	0,8	100,8	96,1	-4,7	-4,8	21,7
18,0	19,3	23,3	20,4	21,0	20,1	24,1	21,2	21,8	0,8	100,8	97,3	-3,5	-3,6	12,4
19,0	19,5	23,5	20,6	21,2	20,3	24,3	21,4	22,0	0,8	100,8	98,4	-2,4	-2,5	5,9
20,0	19,7	23,7	20,8	21,4	20,5	24,5	21,6	22,2	0,8	100,8	99,4	-1,4	-1,4	2,0
21,0	19,9	23,9	21,0	21,6	20,7	24,7	21,8	22,4	0,8	100,8	100,4	-0,4	-0,4	0,2
22,0	20,2	24,2	21,3	21,9	21,0	25,0	22,1	22,7	0,8	100,8	101,3	0,5	0,5	0,2
23,0	20,4	24,4	21,5	22,1	21,2	25,2	22,3	22,9	0,8	100,8	102,2	1,4	1,3	1,9
24,0	20,6	24,6	21,7	22,3	21,4	25,4	22,5	23,1	0,8	100,8	103,0	2,2	2,2	4,9
25,0	20,8	24,8	21,9	22,5	21,6	25,6	22,7	23,3	0,8	100,8	103,8	3,0	2,9	9,2
26,0	21,0	25,0	22,1	22,7	21,8	25,8	22,9	23,5	0,8	100,8	104,6	3,8	3,6	14,6
27,0	21,2	25,2	22,3	22,9	22,0	26,0	23,1	23,7	0,8	100,8	105,4	4,6	4,3	20,9
28,0	21,4	25,4	22,5	23,1	22,2	26,2	23,3	23,9	0,8	100,8	106,1	5,3	5,0	28,0
29,0	21,6	25,6	22,7	23,3	22,4	26,4	23,5	24,1	0,8	100,8	106,8	6,0	5,6	35,9
30,0	21,7	25,7	22,8	23,4	22,5	26,5	23,6	24,2	0,8	100,8	107,5	6,7	6,2	44,5
31,0	21,9	25,9	23,0	23,6	22,7	26,7	23,8	24,4	0,8	100,8	108,1	7,3	6,8	53,6
32,0	22,2	26,2	23,3	23,9	23,0	27,0	24,1	24,7	0,8	100,8	108,8	8,0	7,3	63,3
33,0	22,4	26,4	23,5	24,1	23,2	27,2	24,3	24,9	0,8	100,8	109,4	8,6	7,8	73,4
$\Sigma (q_c - q_p)^2$														1202,8

Табл. 3.2.3.2.

Розрахунок теплоти холодоагенту протягом подрібнення композиції Б у бісерному млині

Швидкість руху води в трубках – 0,03 кг/сек; теплоємність води – 4200 Дж/кг*град														
	Вхід води				Вихід води									
Час, хв	T ₁	T ₂	T ₃	T _c	T ₁	T ₂	T ₃	T _c	ΔT _c	q	q _p	Π	Δ	(q _c -q _p) ²
0,1	22,3	26,3	23,4	24,0	22,4	26,4	23,5	24,1	0,1	12,6	5,7	-6,9	-122,9	48,3
0,5	22,3	26,3	23,4	24,0	22,4	26,4	23,5	24,1	0,1	12,6	15,0	2,4	16,2	6,0
1,0	22,4	26,4	23,5	24,1	22,5	26,5	23,6	24,2	0,1	12,6	19,1	6,5	34,0	42,0
2,0	22,6	26,6	23,7	24,3	22,8	26,8	23,9	24,5	0,2	25,2	23,1	-2,1	-9,0	4,3
3,0	22,8	26,8	23,9	24,5	23,0	27,0	24,1	24,7	0,2	25,2	25,5	0,3	1,1	0,1
4,0	23,1	27,1	24,2	24,8	23,3	27,3	24,4	25,0	0,2	25,2	27,2	2,0	7,3	3,9
5,0	23,2	27,2	24,3	24,9	23,4	27,4	24,5	25,1	0,2	25,2	28,5	3,3	11,5	10,7
6,0	23,4	27,4	24,5	25,1	23,6	27,6	24,7	25,3	0,2	25,2	29,5	4,3	14,7	18,8
7,0	23,6	27,6	24,7	25,3	23,8	27,8	24,9	25,5	0,2	25,2	30,4	5,2	17,2	27,4
8,0	23,8	27,8	24,9	25,5	24,0	28,0	25,1	25,7	0,2	25,2	31,2	6,0	19,3	36,2
9,0	24,1	28,1	25,2	25,8	24,3	28,3	25,4	26,0	0,2	25,2	31,9	6,7	21,0	44,9
10,0	24,2	28,2	25,3	25,9	24,5	28,5	25,6	26,2	0,3	37,8	32,5	-5,3	-16,3	27,9
11,0	24,4	28,4	25,5	26,1	24,7	28,7	25,8	26,4	0,3	37,8	33,1	-4,7	-14,3	22,4
12,0	24,6	28,6	25,7	26,3	24,9	28,9	26	26,6	0,3	37,8	33,6	-4,2	-12,6	17,8
13,0	24,9	28,9	26	26,6	25,2	29,2	26,3	26,9	0,3	37,8	34,0	-3,8	-11,0	14,1
14,0	25,0	29,0	26,1	26,7	25,3	29,3	26,4	27,0	0,3	37,8	34,5	-3,3	-9,6	11,0

15,0	25,2	29,2	26,3	26,9	25,5	29,5	26,6	27,2	0,3	37,8	34,9	-2,9	-8,4	8,5
16,0	25,5	29,5	26,6	27,2	25,8	29,8	26,9	27,5	0,3	37,8	35,3	-2,5	-7,2	6,5
17,0	25,8	29,8	26,9	27,5	26,1	30,1	27,2	27,8	0,3	37,8	35,6	-2,2	-6,1	4,8
18,0	26,1	30,1	27,2	27,8	26,4	30,4	27,5	28,1	0,3	37,8	35,9	-1,9	-5,2	3,4
19,0	26,5	30,5	27,6	28,2	26,8	30,8	27,9	28,5	0,3	37,8	36,3	-1,5	-4,2	2,4
20,0	26,8	30,8	27,9	28,5	27,1	31,1	28,2	28,8	0,3	37,8	36,6	-1,2	-3,4	1,5
21,0	27,1	31,1	28,2	28,8	27,4	31,4	28,5	29,1	0,3	37,8	36,8	-1,0	-2,6	0,9
22,0	27,4	31,4	28,5	29,1	27,7	31,7	28,8	29,4	0,3	37,8	37,1	-0,7	-1,8	0,5
23,0	27,6	31,6	28,7	29,3	27,9	31,9	29	29,6	0,3	37,8	37,4	-0,4	-1,1	0,2
24,0	28,0	32,0	29,1	29,7	28,3	32,3	29,4	30,0	0,3	37,8	37,6	-0,2	-0,5	0,0
25,0	28,2	32,2	29,3	29,9	28,5	32,5	29,6	30,2	0,3	37,8	37,9	0,1	0,2	0,0
26,0	28,5	32,5	29,6	30,2	28,8	32,8	29,9	30,5	0,3	37,8	38,1	0,3	0,8	0,1
27,0	28,7	32,7	29,8	30,4	29,0	33,0	30,1	30,7	0,3	37,8	38,3	0,5	1,3	0,3
28,0	29,0	33,0	30,1	30,7	29,3	33,3	30,4	31,0	0,3	37,8	38,5	0,7	1,9	0,5
29,0	29,3	33,3	30,4	31,0	29,6	33,6	30,7	31,3	0,3	37,8	38,7	0,9	2,4	0,9
30,0	29,5	33,5	30,6	31,2	29,8	33,8	30,9	31,5	0,3	37,8	38,9	1,1	2,9	1,3
31,0	29,8	33,8	30,9	31,5	30,1	34,1	31,2	31,8	0,3	37,8	39,1	1,3	3,4	1,7
32,0	30,1	34,1	31,2	31,8	30,4	34,4	31,5	32,1	0,3	37,8	39,3	1,5	3,8	2,2
33,0	30,3	34,3	31,4	32,0	30,6	34,6	31,7	32,3	0,3	37,8	39,5	1,7	4,3	2,8
Σ (q c- q p)²													374,3	

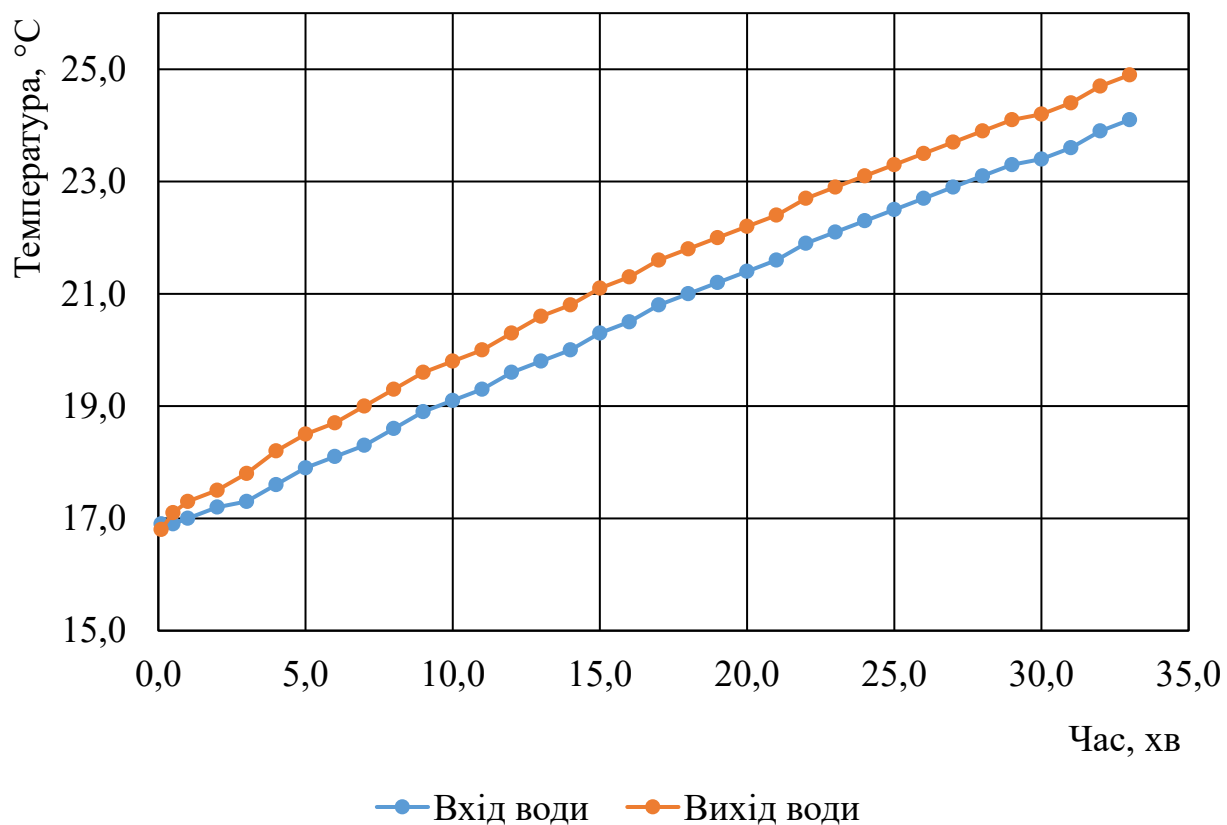


Рисунок 3.2.3.1. Зміна температури холодоносія композиції Б

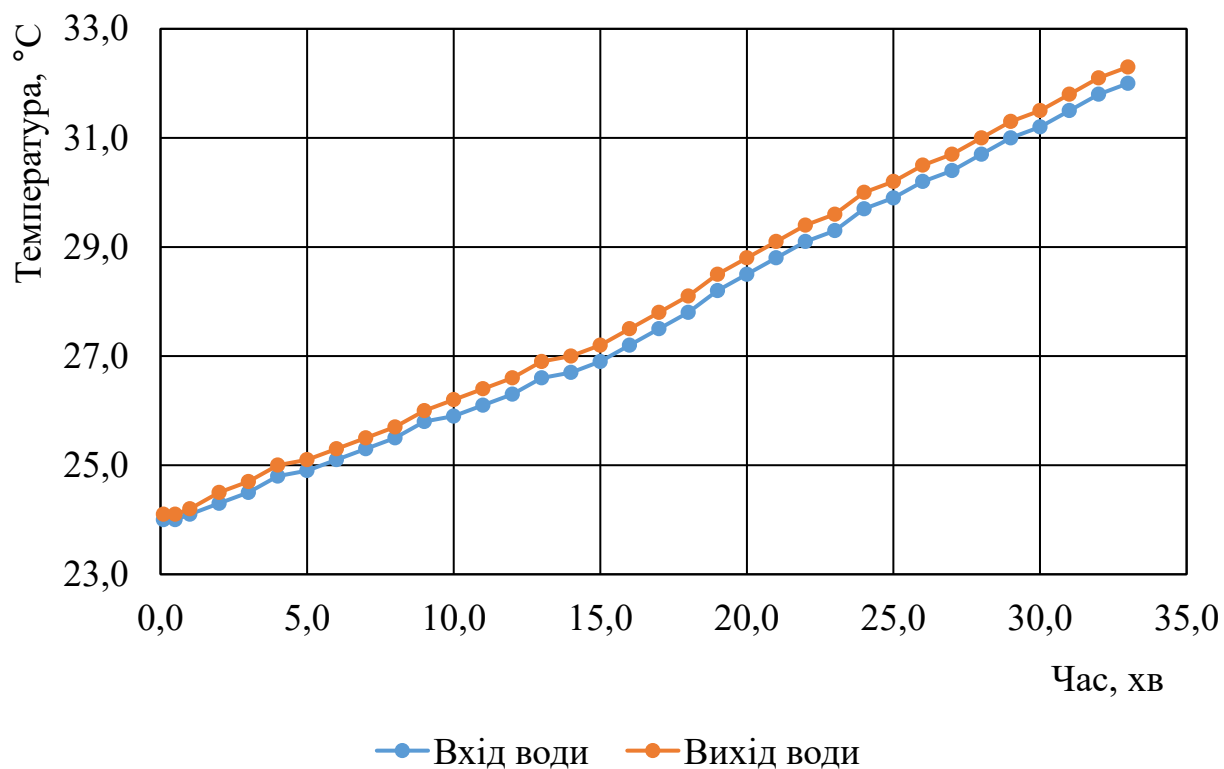


Рисунок 3.2.3.2. Зміна температури холодоносія композиції А

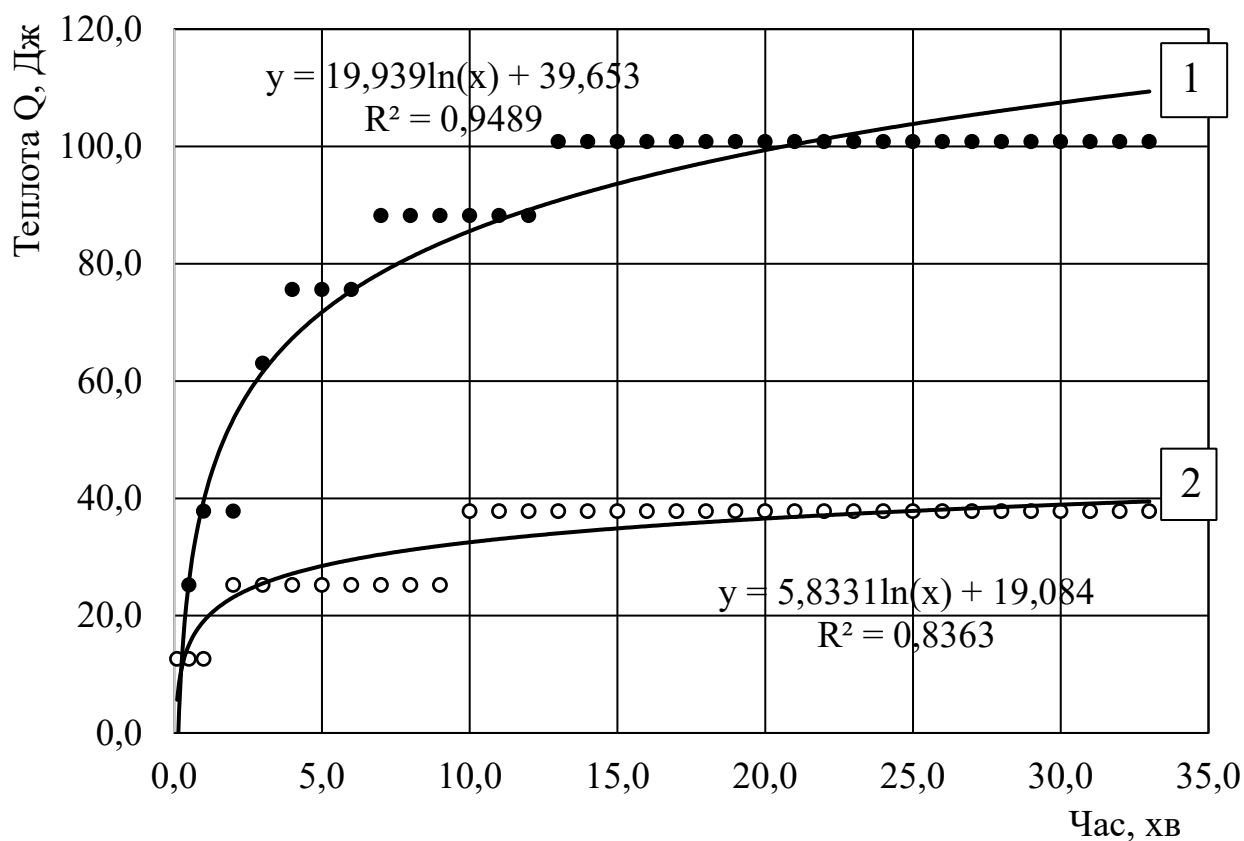


Рисунок 3.2.3.3. Зміна теплоти: 1 – композиція Б (суспензія на основі рицинової олії з додаванням пігменту червоного 120 залізоокисного); 2 – композиція А (рицинова олія).

Отже, виділення теплоти протягом процесу подрібнення та перемішування стає все більше. Причому найбільше теплоти виділяється в перші 3-5 хвилин для обох композицій. Це пояснюється тим, що відбувається найбільш інтенсивне подрібнення в цей період часу, внаслідок чого виділення надлишкової енергії, а також подолання сукупності шкідливих опорів, пов'язаних з опорами самого продукту.

Висновки

Найбільш інтенсивні зміни відбуваються протягом перших 25 хвилин досліду, де спостерігається інтенсивне зменшення частинок пігменту червоного 120 залізоокисного, що входить до складу суспензії на основі рицинової олії, внаслідок чого виділення надлишкової енергії, а також подолання сукупності шкідливих опорів, пов'язаних з опорами самого продукту та моментами інерції. Крім того, в суспензії присутні такі утворення, як агломерати (зліплені частинки пігменту), які мають досить низьку міцність, порівняно з окремими частинками пігменту червоного 120 залізоокисного. Крім того, затрачується більше енергії на подолання взаємного зчеплення частинок пігменту. Твердий матеріал піддається спочатку об'ємній деформації, а потім руйнується за ослабленими дефектами.

Порівняльний аналіз енергетичних параметрів представлений в табл. 1

Табл.1

Назва композиції	Питома енергія, Дж	Загальна теплова енергія, Дж
Рицинова олія (100%)	$2,926 \times 10^3$	$1,11 \times 10^3$
Рицинова олія (60%) +пігмент червоний 120 залізоокисний (40%)	$4,121 \times 10^3$	$2,951 \times 10^3$

Розрахунки питомої енергії та загальної питомої енергії для композицій А та Б демонструють, що процес надтонкого подрібнення – це дуже високоенергетичний процес. Безпосередньо на сам процес подрібнення твердої фази у суспензії, енергії витрачається менше 1%. Ці витрати знаходяться в межах похибки приладів і її складно врахувати окремо. Більша частина енергії припадає на роботу, що витрачається на перемішування системи «бісер-продукт» та роботу, що витрачається на подолання сукупності шкідливих опорів, пов'язаних з опорами самого продукту. Це обов'язково потрібно враховувати під час моделювання та ведення процесу від одного типу продукту до іншого.

Розділ 4

Застосування результатів

4.1. Удосконалення конструкції обладнання

4.1.1. Опис устаткування

В якості об'єкта модернізації було обрано горизонтальний бісерний млин, який широко використовується для помелу матеріалу фармацевтичної, хімічної, косметичної, лакофарбової та в деяких інших галузях промисловості, для отримання матеріалу мікро і нанорозмірів частинок.

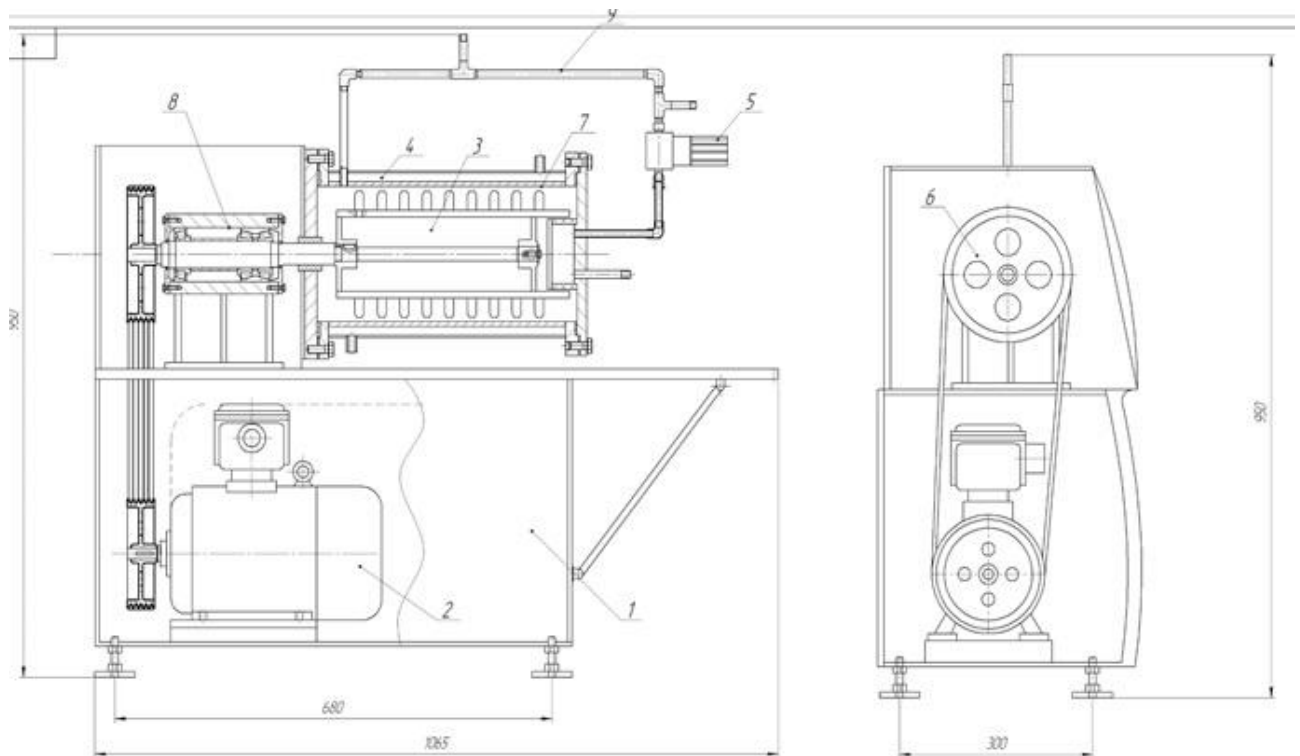


Рис 4.1.1.1. Горизонтальний бісерний млин

1 – станина млина; 2 - двигун; 3 –робочий орган; 4 - обертові диски (мішалки); 5–циркуляційний насос; 6 - шків; 7 - сепаратор; 8 -підшипниковий корпус; 9 – циркулярний контур.

Корпус бісерного млина спирається на підставі 1 і має дві кришки.

Суспензія, яка підлягає подрібненню, надходить в бісерний млин через отвори в кришці, з ємності диспергатора, після чого він перемелюється за рахунок удару і стирання об бісер і обертові диски 4. Обертові диски також грають роль мішалок. Після досягнення заданого розміру матеріал проходить через сепаратор 7 і сітчастий фільтр і видаляється з млина. Сітчастий фільтр грає роль додаткового класифікатора і для того щоб дрібний бісер не віддалився з млина. Обертові диски і сепаратор розташовані на валу (робочий орган) 3, який закріплений в підшипниковому вузлі 8. Вал приводиться в обертання за рахунок шківів 6, який по засобу ременя отримує обертання від шківів електродвигуна.

Підшипниковий вузол складається з корпусу, лівої і правої кришки. У середині корпусу встановлено підшипники, на яких встановлено вал млина. Підшипниковий вузол кріпиться на підставі підшипникового вузла.

Після перевірки комплектації бісерного млина і інструменту здійснюємо відкручування кришки млина. Після чого здійснюємо засипку бісеру в кількості 10 кг, закручуємо кришку бісерного млина назад і закриваємо пробку вихідного отвору сітчастого фільтра. Потім через отвір подають суспензію, яку необхідно подрібнити. Після чого включаємо електродвигун, який приводить в обертання ротор-вал. Мішалка обертається з частотою 1500 об/хв.

При помелі в якості подрібнюючих тіл застосовується бісер з сталі 45 окисом цирконія Ø5 мм.

При проектуванні установки необхідно забезпечувати оптимальний розподіл функцій між людиною і машиною з метою забезпечення безпеки, обмеження важкості та напруженості праці, а також забезпечення високої ефективності функціонування системи «людина - виробниче обладнання» .

Конструкція всіх елементів машини, з якими в процесі трудової діяльності безпосередньо контактує людина, повинна відповідати його антропометричними властивостями.

4.1.2. Модернізація

В роботі модернізується бісерний млин для виробництва мазей та фарбувальних матеріалів. Модернізацію доцільно провести за рахунок удосконалення процесу відділення готового продукту від робочих тіл (бісеру).

Пропонується до вже встановленого щілинного сепаратору, який розташований на валу 3 з обертовими дисками, додатково встановити сітчастий фільтр, який буде затримувати сколи робочих тіл та зношені тіла.

Модернізований сепаратор використовує відцентрову силу аналогічній повітряному класифікатору. Диск мішалки млина, найближчий до вихідної сторони млина, перекачує бісер назад до вхідної сторони млина, в той час як відцентрова сила, створювана ротором і дисками, виштовхують суспензію з випускного отвору. Щілинний фільтр запобігає виходу бісеру з млина під час запуску установки до того, як він досягне робочої швидкості, і при виключенні, поки він сповільнюється.

Після досягнення заданого гранулометричного складу (розміру частинок), готовий продукт видаляється з бісерного млина через щілинний сепаратор 6 і сітчастий фільтр 7, який грає роль додаткового класифікатора, в результаті чого, в готовому продукті мінімізується кількість сторонніх фізичних домішок у вигляді робочих тіл та їх сколів. Розмір отворів фільтру становить від половини до однієї третини діаметра робочого тіла.

Модернізація дозволить:

1. забезпечити високий рівень якості готового продукту;
2. збільшити чистоту готового продукту від фізичних факторів забруднення;
3. Забезпечити стабільність та однорідність готового продукту.
4. Автоматизувати процес, частково замінити ручні операції на автоматичне завантаження, вивантаження суспензії і миття робочої камери і бісеру.

4.1.3. Розрахунки

4.1.3.1. Розрахунок продуктивності

Необхідна продуктивність млина – 15 кг/год.

Час подрібнення – 60 хв.

Час допоміжних операцій – 25 хв.

Маса бісеру – 10 кг.

Густина пасти – 900 кг/м³

Насипна густина бісеру – 4100 кг/м³

Загальний об'єм бісеру і пасти:

$$V = m_p / \rho_p + m_b / \rho_b = 15 / 900 + 10 / 4100 = 0,0191 \text{ м}^3$$

Отже, вільний об'єм барабана має становити 0,00191 м³

Приймаємо внутрішній діаметр барабана 200 мм.

Діаметр валу – 70 мм.

Тоді довжина барабану для забезпечення заданої продуктивності:

$$L = \frac{4V}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0.0191}{\pi \cdot 0.2^2} = 0.6 \text{ м}$$

4.1.3.2. Розрахунок потужності приводу

Для розрахунку роботи, витраченої на подрібнення матеріалу, рекомендується використовувати теорію Ребіндера [31,36,38,41,42]:

$$A = \delta \Delta F + k \Delta V,$$

де δ – питома поверхнева енергія; ΔF – площа новоутвореної поверхні; k – коефіцієнт пропорційності; ΔV – деформований об'єм тіла.

У разі тонкого та колоїдного подрібнення переважає перший доданок, оскільки утворена поверхня велика і її втрати енергії пропорційні їй.

Але, цією формулою неможливо користуватись для практичних розрахунків. Тому що в млині частинка не руйнується одразу, а багатократно

деформується. Лише 1% енергії використовується на утворення нової поверхні (тобто на подрібнення). Все інше – на багатократне деформування, тертя та теплоутворення. Крім того, значна частина роботи витрачається на перемішування суспензії[31,36,38,41,42].

Тому для розрахунку потужності приводу бісерного млина зробимо припущення, що потужність витрачається на:

1. N_1 – розганяння ротора (вал, диски, штифти та шків);
2. N_2 – на розгін залитої суспензії та бісеру.

Робота на надання ротору потрібної швидкості[31,36,38,41,42]:

$$A_1 = \frac{m_p \cdot R^2 \cdot \omega^2}{2} = \frac{12 \cdot 0,01^2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 1000}{30}\right)^2}{2} = 644 \text{ Дж.}$$

Тоді потужність на розгін ротору:

$$N_1 = \frac{A_1}{1000\tau} = \frac{644}{1000 \cdot 1} = 0,65 \text{ кВт,}$$

де m_p – маса ротора, кг;

R – радіус центра мас ротора;

ω – кутова швидкість ротора, рад/с;

$\omega = \frac{\pi n}{30}$, де n – об/хв..

τ – час розгону ротора, сек.

Робота на надання кінетичної енергії суспензії та бісеру[29, 36, 39,40]:

$$A_2 = \frac{m_c \cdot (R^2 - r^2) \omega^2}{4} = \frac{9 \cdot (0,12^2 - 0,025^2) \cdot \left(\frac{\pi \cdot 1000}{30}\right)^2}{4} = 333 \text{ Дж.}$$

Тоді

$$N_2 = \frac{A_2}{1000\tau\eta} = \frac{333}{1000 \cdot 1 \cdot 0,5} = 0,67 \text{ кВт,}$$

де R і r – зовнішній і внутрішній радіуси розміщення суспензії;

η – коефіцієнт, що враховує перемішування;

$\eta = 0,5$.

Загальна потужність [31,36,38,41,42]:

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta_{\text{пр}}} = \frac{0,65 + 0,67}{0,9} = 1,46 \text{ кВт.}$$

Враховуючи ряд рекомендацій щодо проектування бісерних млинів, для млину малої продуктивності ($m = 15 \text{ кг/год}$) приймаємо $N_{\text{двигуна}} = 5,5 \text{ кВт.}$

4.1.3.3. Кінематичний розрахунок

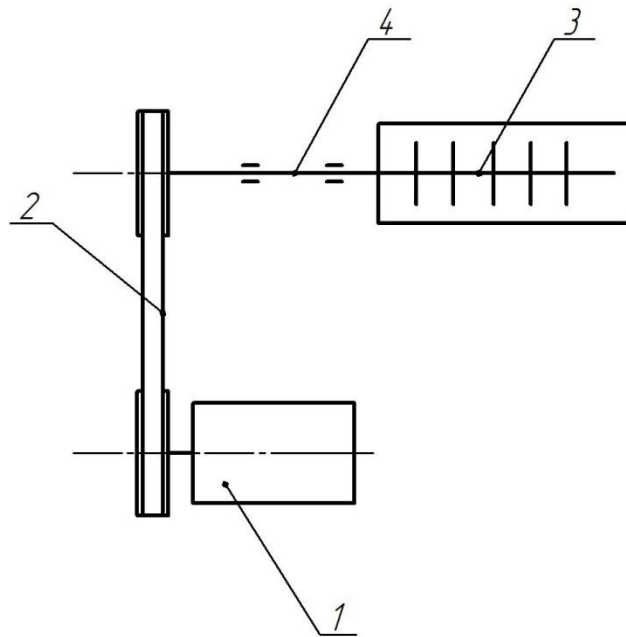


Рис. Кінематична система: 1 – двигун; 2 – пасова передача; 3 – ротор; 4 – підшипниковий вузол

$n_2 - 1000 \text{ об/хв.}; n_1 - 1000 \text{ об/хв.}$

Тоді $U_{\text{пас}} = \frac{n_2}{n_1} = 1;$

Потужність на валу ротора: $N_p = 1,5 \text{ кВт.}$ Тоді крутний момент на валу ротора[29, 36, 39,40]:

$$T = \frac{9580 N}{n} = \frac{9580 \cdot 1,5}{1000} = 14,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

4.1.3.4. Розрахунок вузлів і деталей на міцність

4.1.3.4.1. Розрахунок пасової передачі

Для розрахунку візьмемо наступні початкові дані $N_{\text{дв}}=0,285 \text{ кВт}$, $n_{\text{дв}}=1485 \text{ об/хв}$, $U_{\text{н.н.}}=2$.

Крутний момент на валу двигуна[31,36,38,41,42]:

$$T_1 = \frac{9550 \cdot N_{\text{дв}}}{n_{\text{дв}}} = \frac{9550 \cdot 0,266}{985} = 14,3 \text{ , Н}\cdot\text{м};$$

де $N_{\text{дв}}$ – потужність на валу двигуна (14,3 кВт);

$n_{\text{дв}}$ – кількість обертів на валу двигуна (985 об/хв).

Розрахунок ведеться по книзі “Расчет и проектирование деталей машин” Н.Ф. Киркач , Р.А. Баласанян. Х.1991. Всі табличні дані вибираємо з цієї книги.

При даному крутному моменті по табл. 2.12 вибираємо переріз паса „О” з розмірами : $b_p=8,5 \text{ мм}$, $h=6 \text{ мм}$, $b_0=10 \text{ мм}$, $y_0=2,1 \text{ мм}$, $F_1=0,47 \text{ см}^2$, $q=0,07 \text{ кг/м}$ [31,36,38,41,42].

Діаметр меншого шківів у відповідності з рекомендаціями табл. 2.12, приймаємо $d_{p \text{ min}}=63 \text{ мм}$.

Діаметр більшого шківів, знаходимо за формулою:

$$d_{p2} = d_{p1} \cdot U \cdot (1 - \varepsilon) = 63 \cdot 2,5 \cdot (1 - 0,02) = 154,35 \text{ , мм};$$

де d_{p1} – діаметр ведучого шківів (160 мм);

U – передаточне число пасової передачі (1);

ε – коефіцієнт проковзування пасів по шківів (0,02).

Стандартний діаметр d_{p2} вибираємо з ряду стандартних значень за ГОСТом 17883-73 (табл. 2.21) $d_{p2}=160 \text{ мм}$.

Після знаходження фактичних розмірів шківів, розрахуємо фактичне передаточне число[29, 36, 39,40]:

$$U_p = \frac{d_{p2}}{d_{p1} \cdot (1 - \varepsilon)} = \frac{160}{160 \cdot (1 - 0,02)} = 1,02 ;$$

де d_{p2} – діаметр веденого (другого) шківa (160 мм)

d_{p1} – діаметр ведучого (першого) шківa (160 мм)

ε – коефіцієнт проковзування пасів по шківaх (0,02).

Це передаточне число допускається оскільки його відхилення від заданого $U=1$ в межах 5 %.

Швидкість паса:

$$V = \frac{\pi \cdot d_{p1} \cdot n_1}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 160 \cdot 1485}{60 \cdot 1000} = 4,89 , \text{ м/с} ;$$

де d_{p1} – діаметр ведучого шківa (63 мм);

n_1 – кількість обертів на першому валу (1485 об/хв).

Частота обертання веденого вала:

$$n_{p2} = \frac{d_{p1} \cdot n_1 \cdot (1 - \varepsilon)}{d_{p2}} = \frac{63 \cdot 985 \cdot (1 - 0,02)}{160} = 573 , \text{ об/хв};$$

Значення n_{p2} входить в поле допустимих значень 5 %.

Міжосьову відстань знаходимо відповідно рекомендаціям (табл. 2.14)[31,36,38,41,42]:

$$a = 0,95 \cdot d_{p2} = 0,95 \cdot 160 = 152 , \text{ мм};$$

За таблицею 2.14 вибираємо співвідношення веденого вала да міжосьової відстані – 1,5, тоді приймаємо міжосьову відстань $a=240$ мм.[31,36,38,41,42]

Розрахункова довжина паса:

$$L = 2 \cdot a + \frac{\pi}{2} (d_{p1} + d_{p2}) + \frac{(d_{p2} - d_{p1})^2}{4 \cdot a} = , \text{ мм};$$

де a – міжосьова відстань (240 мм);

d_{p1} – діаметр ведучого шківa (63 мм);

d_{p2} – діаметр веденого шківa (160 мм).

$$L = 2 \cdot 240 + \frac{3,14}{2} \cdot (63 + 160) + \frac{(160 - 63)^2}{4 \cdot 240} = 839 \approx 830, \text{ мм.}$$

Стандартна величина $L=830$ мм.

Початкова потужність при $d_{P1}=63$ мм і $V=4,89$ м/с (табл. 2.15) $N_0=0,285$ кВт.

Кут охоплення на меншому шківу [31,36,38,41,42]

$$\alpha_1^0 = 180^\circ - 60^\circ \cdot \frac{d_{P2} - d_{P1}}{a}$$

де d_{P1} – діаметр ведучого шківа (63 мм);

d_{P2} – діаметр веденого шківа (160 мм);

a – міжосьова відстань (240 мм).

$$\alpha_1^0 = 180^\circ - 60^\circ \cdot \frac{160 - 63}{240} = 155^\circ [\alpha] = 110^\circ$$

Коефіцієнт кута охоплення (табл. 2.18) $C_a=0,925$.

Поправка до крутного моменту на передаточне число (табл. 2.20) $\Delta T_i=0,5$ Н·м.

Поправка до потужності [31,36,38,41,42]:

$$\Delta N_i = 0,0001 \cdot \Delta T_i \cdot n_1 = 0,0001 \cdot 0,5 \cdot 1485 = 0,07425, \text{ кВт};$$

де ΔT_i – поправка до крутного моменту (0,5 Н·м);

n_1 – кількість обертів на першому валу (1485 об/хв).

Коефіцієнт режиму роботи при вказаному навантаженні (табл. 2.8) $C_p=0,87$.

Допустима потужність на один пас:

$$[N] = (N_0 \cdot C_a \cdot C_L + \Delta N_i) \cdot C_p, \text{ кВт};$$

де N_0 – початкова потужність при $d_{P1}=63$ мм і $V = 4,89$ м/с ; $N_0=0,285$ кВт;

C_a – коефіцієнт кута охоплення (0,925);

C_L – коефіцієнт довжини (0,89);

C_p – коефіцієнт режиму роботи (0,87);

N_0 – початкова потужність (0,285 кВт);

ΔN_i – поправка до потужності (0,07425 кВт).

$$[N] = (0,285 \cdot 0,925 \cdot 0,89 \cdot 0,07425) \cdot 0,87 = 0,015, \text{ кВт.}$$

Розрахункове число пасів:

$$Z = \frac{N}{[N]}, \text{ шт.};$$

де N – потужність яку потрібно передати пасовою передачею $N=0,07425$ кВт

$[N]$ – допустима потужність на один пас (0,06 кВт).

$$Z = \frac{0,07425}{0,06} = 1,8, \text{ шт.}$$

Коефіцієнт враховуючий нерівномірність навантаження $C_z=0,9$.

Дійсне число пасів у передачі:

$$Z' = \frac{Z}{C_z} = \frac{1,8}{0,9} = 2, \text{ шт.}$$

Приймаємо число пасів $Z'=2$ шт.

4.1.3.4.2. Розрахунок валу

Виконаємо розрахунок валів, метою якого є визначення дійсних значень діаметрів у небезпечних перерізах. Із попередніх розрахунків маємо такі дані [31,36,38,41,42]:

$$Q_{nac}=750 \text{ Н};$$

$$P_{нат}=500 \text{ Н};$$

$$a=0,94 \text{ мм};$$

$$b=0,6 \text{ мм};$$

$$c=0,7 \text{ мм};$$

Розрахунок проводимо з побудовою епюр згинальних моментів:

Знаходимо реакції в опорах[31,36,38,41,42]:

Вертикальна площина: xz

$$\Sigma M(B)=0 \quad R_{cz} \cdot b + F_i \cdot (b+c)=0 \quad R_{cz} = \frac{F_h \cdot (b+c)}{b} = \frac{500 \cdot (60+70)}{60} = 1083H,$$

$$\Sigma M(c)=0 \quad R_{Bz} \cdot b + F_h \cdot c = 0 \quad R_{Bz} = \frac{F_h \cdot c}{b} = \frac{500 \cdot 70}{60} = 583H$$

Горизонтальна площина: xy

$$\Sigma M(B)=0 \quad F_{nac} \cdot a - R_{cx} \cdot b = 0 \quad R_{cx} = \frac{F_{nac} \cdot a}{b} = \frac{750 \cdot 94}{60} = 1175H$$

$$\Sigma M(C)=0 \quad R_{Bx} \cdot b + F_{nac} \cdot (a+b) = 0 \quad R_{Bx} = \frac{F_{nac} \cdot (a+b)}{b} = \frac{750 \cdot (94+60)}{60} = 1925H$$

Визначаємо момент згинання

$$M_{3z} \text{ площа } xz \quad M_A = M_{|B|} = M_{|\Delta|} = 0Hm \quad M_c = F_h \cdot c = 500 \cdot 70 = 35Hm$$

Визначаємо момент згинання

$$M_{3x} \text{ площа } xy \quad M_A = M_c = M_D = 0Hm \quad M_B = -F_{nac} \cdot a = -750 \cdot 94 = -70,5Hm$$

Сумарна епюра згинальних моментів:

$$M_{сум}^B = \sqrt{0^2 + 70,5^2} = 70,5Hm; \quad M_{сум}^c = \sqrt{35^2 + 0^2} = 35Hm$$

$$\dot{O}_{\dot{e}\dot{o}} = 8,44\dot{H}$$

Розраховуємо сумарна епюра згинальних моментів для характерних точок валу[31,36,38,41,42]:

$$M_{екв}^B = \sqrt{M_{сум}^2 + (IT)^2}; \quad M_{екв}^A = \sqrt{0 + (8,44)^2} = 8,44Hm;$$

$$M_{екв}^B = \sqrt{(70,5)^2 + (8,44)^2} = 71Hm; \quad M_{екв}^C = \sqrt{35^2 + 8,44^2} = 36Hm;$$

Звідки знаходимо значення реакції в опорі А:

$$R_A^{сop} = \frac{Q_{nac} \cdot (a+b+c+d)}{b+c+d} = \frac{750 \cdot 0,771}{0,657} = \frac{578,25}{0,657} = 880,1 \quad H;$$

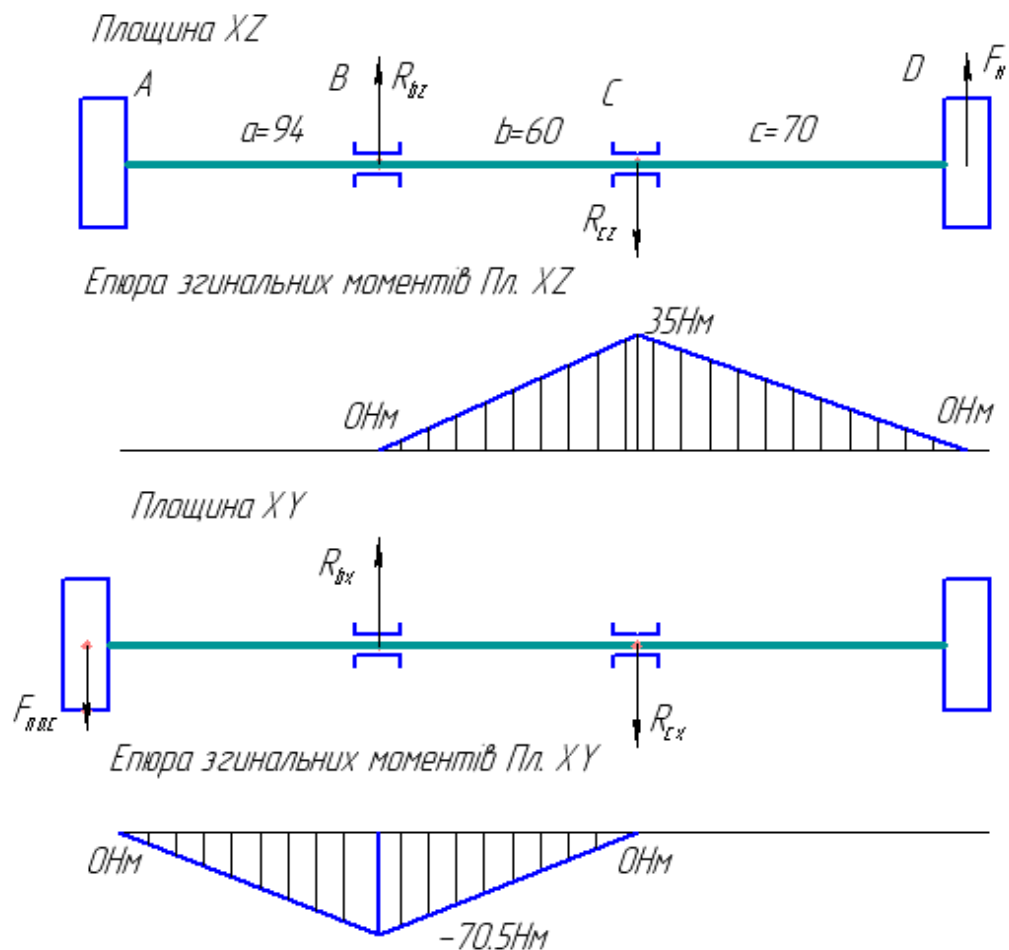
$$M_{екв}^D = \sqrt{0 + 8,44^2} = 8,44 \text{ Нм};$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{екв}}{0,1 \cdot [\sigma]}} d_A = \sqrt[3]{\frac{8,44 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 55}} = 11,5 \text{ мм} \Rightarrow d_A = 25 \text{ мм}$$

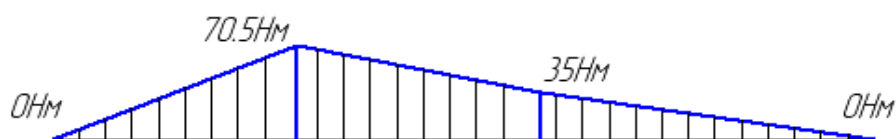
$$d_B = \sqrt[3]{\frac{71 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 55}} = 23,46 \text{ мм} \Rightarrow d_B = 40 \text{ мм}$$

$d_C = d_B = 40 \text{ мм}$ -розмір під підшипники[31,36,38,41,42]

$$d_D = \sqrt[3]{\frac{8,44 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 55}} = 11,5 \text{ мм} \Rightarrow d_0 = 48 \text{ мм}$$



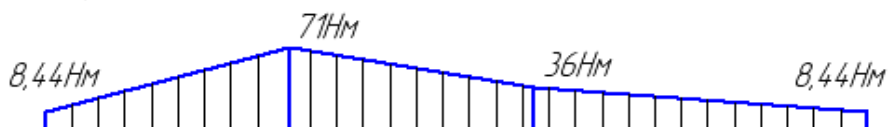
Епюра сумарних згинальних моментів



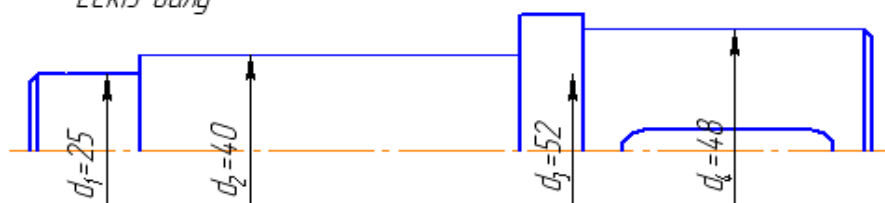
Епюра крутних моментів



Епюра еквівалентних моментів



Ескіз валу



4.1.3.5. Теплотехнічний розрахунок

При диспергування відбувається значний розігрів пасти внаслідок дисипації енергії приводу. Відомо, що в більшості випадків підвищення температури супроводжується інтенсифікацією диспергування за рахунок зростання поверхневої активності молекул плівкоутворювальної речовини і зниження ефективної в'язкості системи. Однак цей процес вимагає регулювання, оскільки необхідно враховувати індивідуальні властивості плівкоутворювальної речовини і летючість застосовуваних розчинників. Для вирішення цього завдання бісерний млин оснащуються сорочкою охолодження. При цьому необхідно розраховувати кількість води, необхідної для підтримки необхідного значення температури пасти на виході[31,36,38,41,42].

Розрахунок кількості води здійснюється на підставі рівняння теплового балансу, виходячи з припущення, що кількості тепла, яке необхідно відводити з

системи являє собою різницю між теплом, еквівалентним потужності приводу і теплом, що витрачається на нагрівання пасти, бісеру, приводу і контейнера диспергатора до заданої температури[31,36,38,41,42].

Розраховуємо кількість води, що використовується для охолодження пасти в бісерному млині.

$$Q_p = C_p \cdot G_p \cdot (T_{p_{\text{кін}}} - T_{p_{\text{поч}}}) = 3,0 \cdot 4 \cdot (80 - 20) = 720 \text{ кДж}$$

Де: C_p - теплоємність пасти, кДж/(кг·К);

G_p - вага пасти, кг; $T_{\text{кін}}$, $T_{\text{поч}}$ — температура пасти на вході і на виході.

Кількість тепла, що йде на охолодження бісеру:

$$Q_b = C_b \cdot G_b \cdot (T_{b_{\text{поч}}} - T_{b_{\text{кін}}}) = 0,796 \cdot 4 \cdot (80 - 20) = 191,04 \text{ кДж}$$

Де: C_b - теплоємність бісеру, кДж/(кг·К); G_b — вага бісеру, кг; $T_{\text{кін бис}}$, $T_{\text{поч бис}}$ — температура бісеру на вході і на виході[31,36,38,41,42].

Кількість тепла, що йде на нагрівання контейнера.

$$Q_k = C_{\text{ст}} \cdot m_k \cdot (T_{\text{кін}} - T_{\text{поч}}) = 0,46 \cdot 12 \cdot (80 - 20) = 331,2 \text{ кДж}$$

$C_{\text{ст}}$ - теплоємність матеріалу контейнера (0,46 кДж/(кг·К);

m_k - маса стакану бісерного млина, кг;

$T_{\text{кін}}$, $T_{\text{поч}}$ — температура бісеру і пасти на вході і на виході.

Загальна кількість води, що виражається у годинах[31,36,38,41,42]:

$$Q_p = Q_p + 1,1 \cdot (Q_b + Q_k) = 720 + 1,1 \cdot (191,04 + 331,2) = 1294,46 \text{ кДж}$$

Де: Q_p -кількість води, що використовується для охолодження пасти в бісерному млині; 1,1- сталий коефіцієнт;

Q_b - кількість тепла, що йде на охолодження бісеру;

Q_k - кількість тепла, що йде на охолодження контейнера.

Тоді кількість води, яке необхідно для охолодження:

$$G_{\text{води}} = \frac{(Q_N - Q_p)}{C_v \cdot (t_{\text{водикін}} - t_{\text{водипоч}})} = \frac{5400 - 1294,46}{4,19 \cdot (23 - 18)} = 196 \text{ кг/год}$$

Де: Q_N - кількість теплоти, що еквівалентне потужності приводу;

C_v — теплоємність води (4,19 кДж/(кг·год))

$t_{\text{води поч.}} = 18^{\circ}$, $t_{\text{води кін.}} = 23^{\circ}$ – температура охолоджуючої води на виході і на вході в рубашку бісерного млина[31,36,38,41,42].

$$Q_N = N_{\text{пр}} \cdot 3600 = 1,5 \cdot 3600 = 5400$$

Отже, максимальна кількість води, яка необхідне для охолодження пасти в стакані бісерного млина = 196 кг/год.

Розділ 5

Техніко економічне обґрунтування

На основі проведених досліджень, як видно з графіків, найбільш інтенсивне подрібнення проходить у перші двадцять п'ять хвилин. Подальше проведення процесу мало ефективне, у порівнянні з енергозатратами. З формул загальної питомої енергії на процес подрібнення та перемішування композицій:

$$E_{ts} = \int_{\tau_0}^{\tau_k} N(\tau) d\tau$$

$$E = \int_0^{\tau} -12,56 \ln \ln (\tau) + 156,24, d\tau$$

А також аналізу розміру частинок, впливає що більшість загальних енергетичних витрат при проведенні процесу після двадцять п'ятої хвилини іде на перемішування продукту.

Тому рекомендується розділити процес на декілька стадій з калібруванням частинок між ступенями. Що дозволить отримати суспензію з вищою концентрацією частинок менших розмірів.

На лабораторній установці:

Сукупні загальні витрати за двадцять п'ять хвилин:

$$E = 3,209 \times 10^3 \text{ Дж} = 0,89 \text{ Ват} \times \text{год};$$

Сукупні загальні витрати за п'ятдесят хвилин безперервного процесу:

$$E = 5,983 \times 10^3 \text{ Дж} = 1,66 \text{ Ват} \times \text{год};$$

Сукупні загальні витрати за п'ятдесят хвилин в дві ступені:

$$E = 6,418 \times 10^3 \text{ Дж} = 1,78 \text{ Ват} \times \text{год}.$$

Технічні характеристики асинхронного двигуна бісерного млина

Тип	АИММ 63В4 У2.5
Напруга	380 В
Ін	1,0 А
Потужність	0,37 кВт
Частота	50 Гц
cosП	0,72
Частота обертів	1350 об/хв
Маса бісеру	250 г

У промислових масштабах ефект буде значно більшим.

Дані наших досліджень дозволяють моделювати процеси з урахуванням ефективності використання енергоресурсів.

Встановлення додаткового фільтру на бісерний млин для виробництва мазей та фарбувальних матеріалів знижує небезпеку потрапляння сторонніх предметів у готову продукцію, а також значно зменшить тривалість допоміжних

операцій, спрямованих на проціджування продукту, та миття додаткового обладнання.

Розділ 6

Безпека життєдіяльності під час роботи з експериментальним обладнанням

Приміщення, в якому проводиться дослідження бісерного млина, відносяться до категорії «Д» по вибухопожежної і пожежної небезпеки.

Будівля, де знаходиться бісерний млин, має III ступінь вогнестійкості.

Характер фізичної роботи оператора, при керуванні бісерним млином, відповідно до СанПіН 9-80-98, відноситься до легких видів робіт, з категорією тяжкості «1а», тобто робота, вироблена сидячи і супроводжується незначним фізичним зусиллям [24,35].

В якості небезпечних виробничих факторів проявляється електрична енергія, від якої живляться електродвигуни. Небезпека ураження електричним струмом виникає при несправності електрообладнання, елементів системи автоматизації, пошкодженні заземлення, а також при порушенні правил експлуатації енергоустановок і правил техніки безпеки.

В якості робочих тіл використовується скляний бісер розміром 1мм.

Шкідливими виробничим факторам також є шум і вібрація, які супроводжують роботу млина. Вони виникають в результаті ударів і тертя шматків матеріалу, що подрібнюється і робочих тіл об обертові диски, корпуси і між собою. Рівень шуму, згідно з СанПіН 2.2.4 / 2.1.8.10-32-2002, знаходиться на межі допустимих значень і становить 80 дБА. Рівень вібрації, згідно з СанПіН 2.2.4.13-29-2006, знаходиться на межі допустимих значень і не перевищує 12дБА[24,35].

При проектуванні машини ставляться такі вимоги до безпеки:

Бісерні млини працюють використанням великої кількості води тому вузли складені з вивантажувальних і завантажувальних пристроїв, вони повинні бути обладнані ущільнювачами, що запобігають протікання води або суміші води з матеріалів у приміщення.

Млини повинні мати блокування, що забезпечує автоматичне відключення обладнання в порядку, зворотньому пуску[24,35].

Забороняється під час роботи млина проводити ремонт допоміжного обладнання млина, витягувати з живильників, шматків матеріалу і сторонні предмети, заходити за огороження млини або знімати їх.

Частини установки, що представляють небезпеку для людей, повинні бути пофарбовані в сигнальні кольори. На них повинні бути нанесені знаки безпеки, встановлені стандартами.

Елементи конструкції млина не повинні мати гострих кутів, крайок і поверхонь з нерівностями, що представляють джерело небезпеки, якщо їх наявність не визначається функціональним призначенням обладнання. В

останньому випадку повинні бути передбачені заходи захисту від можливого отримання травм[24,35].

Конструкцією установки повинен бути передбачений захист від ураження електричним струмом, що відповідає наступним основним вимогам[24,35]:

- струмоведущі частини виробничого обладнання, які є джерелами небезпеки, повинні бути надійно ізольовані або огорожені, або знаходиться в недоступних для людей місцях;

- електрообладнання, що мають бути відокремлені від клем, має бути розміщено всередині корпусів (шаф, блоків) з дверима, що замикаються, або закрито захисними кожухами при розташуванні в доступних для людей місцях,

- конструкція машини повинна виключати накопичення зарядів статичної електрики в небезпечних кількостях.

- в схемі електричних ланцюгів установки повинно бути передбачено влаштування, централізовано відключання від мережі живлення всього ланцюга.

- металеві частини машини, які можуть внаслідок пошкодження ізоляції опинитися під електричною напругою небезпечної величини, повинні бути заземлені (занулені) [24,35].

Висновки

В результаті науково-дослідної роботи були виконані такі задачі:

1. Проведений аналіз методів подрібнення;
2. Проведений аналіз наявного обладнання і його придатності для надтонкого подрібнення певних матеріалів;
3. Розроблено методику досліджень;
4. Проведено експериментальні дослідження та опрацьовано їх результати, а саме:

- залежність потужності подрібнення, розміру частинок, температури від часу подрібнення;
- визначено та проаналізовано енергетичні параметри процесу подрібнення суспензії та енергетичні затрати на перемішування олії;
- надано рекомендації щодо раціонального вибору обладнання для подрібнення компонентів лікарських і косметичних засобів;
- застосовано результати досліджень для удосконалення наявного технологічного обладнання.

Список використаної літератури

1. Chen Y., Lian X., Zheng S. Research on superfine grinding process and kinetics of calcined black talc in planetary mill // Procedia Engineering. – 2015. – Volume 102. – P. 379-387.
2. EXAKT Technologies, Inc. Startseite. – Режим доступу: <https://www.exakt.de/de/startseite.html> (Accessed on 18.10.2020).
3. Fellows P. Food processing technology. Principles and Practice. Second Edition / P. Fellows. – CRC Press, 2000. – 591 p.

4. Hrininh K., Hordeichuk R., Gubenia O. Comparative analysis of equipment and research the superfine grinding process of titanium dioxide and quinacridon red suspensions in the bead mill / K. Hrininh, R. Hordeichuk, O. Gubenia // Ukrainian Journal of Food Science. – 2018. – Vol.6, Issue 1. – pp. 82–94.
5. Hrininh K., Gubenia O. Features of a ultra-fine grinding by wet method in bead mills // Proceedings of University of Ruse. – 2017. – 56(10.2). – pp. 79-85.
6. Hrininh K., Hordeichuk R., Gubenia O. Investigation the process of superfine grinding of components of pharmaceutical and cosmetic products on the bead mill, Proceedings of University of Ruse, – 2018. – 57(10.3), pp. 41-45.
7. Hrininh K., Gubenia O. Energy parameters of ultrafine grinding of pharmaceutical and cosmetic ingredients in the bead mill // Proceedings of University of Ruse. – 2020. – 59(10.3), pp. 40-44.
8. Loh Z.H., Samanta A. K., Heng P.W.S. Overview of milling technigues for improving the solubility of poorly water-soluble drugs // Asian Journal of Pharmaceutical Science. – 2015. – Volume 10. – P. 255-274.
9. Mende S., Stenger F., Peukert W., Schwedes J. Mechanical production and stabilization of submicron particles in stirred media mills // Powder technology. – 2003. – №132. Pp. 64-73.
10. Mende S. Rapl M. Mill performance matched to the task. Throughput enhanced by optimizing cooling and disc configuration // European Coatings Journal. – 2014. – №12. pp. 88–91.
11. Nakach. M. New Approach and Practical Modelling of Bead Milling Process for the Manufacturing of Nanocrystalline Suspensions / M. Nakach, J. Authelin, C. Agut // Journal of Pharmaceutical Sciences. – 2017. - № 106(7). – pp. 1889-1904.
12. Netzsch – компанія виробник обладнання для подрібнення та диспергування Режим доступу: <https://www.netzsch-grinding.com/ru/>

13. Ogonowski S., Wołosiewicz-Clab M., Ogonowski Z., Pawełczyk M. Comparison of Wet and Dry Grinding in Electromagnetic Mill // *mdpi.* – 2018. – Volume 8 (38). – P. 1-19.
14. Ogonowski S., Wołosiewicz-Głab M., Ogonowski Z., Foszcz D., Pawełczyk M. Multi-Objective and Multi-Rate Control of the Grinding and Classification Circuit with Electromagnetic Mill // *Applied sciences*, - 2018, - №8.
15. Pat. 2017/020880 A1 WO. Separating device, agitator bead mill and method for classifying product mixtures / Weiland L.-P., Goller T.. - Publ. 23.07.2016.
16. Pat. 1961486 A2 EP. Dispersing or milling apparatus, and milling method using same / Takashi S., Takamasa I., Li J.-G., Sato K., Kamiya H.. Publ. 21.08.2008.
17. Postma P.R., Suarez-Garcia E., Safi C., Yonathan K., Oliveiri G., Barbosa M.J., Wijffels R.H., Eppink M.H.M. Energy efficient bead milling of microalgae: Effect of bead size on disintegration and release of proteins and carbohydrates // *Bioresource Technology.* – 2017. – Volume 224. – P. 670-679.
18. Stephen M. Using an agitator bead mill for nanoparticle dispersion and comminution // *Nanotechnology.* – 2011. - №11.
19. Toledo R.T. Fundamentals of Food Process Engineering. Third Edition / R.T. Toledo. – Springer, 2007. – 585 p.
20. Rowe W.B. Principles of Modern Grinding Technology / W.B. Rowe. – New York: William Andrew Applied Science Publisher, 2014. – 215 p.
21. Wills B.A. Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. 7th ed. / B.A. Wills– Boston: Amsterdam, 2006. – 583 p.
22. Yiu H. Hui. Handbook of Food Science, Technology, and Engineering. / H. Hui Yiu. – CRC Press, 2006. – 928 p.

23. Акунов В.И. Струйные мельницы. Элементы теории и расчета. / Акунов В.Я. издание 2-е, переработанное. – М.: Издательство «Машиностроение», 1967. – 264 с.

24. Безпека життєдіяльності [Електронний ресурс]: конспект лекцій для студентів усіх напрямів підготовки бакалаврів денної та заочної форм навчання / уклад. О. П. Слободян, В. А. Заєць, С. О. Авдієнко, Л. П. Нещадим. - К. : НУХТ, 2013. – 51 с.

25. Борщев В.Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы: учебное пособие. - Тамбов: издательство Тамбовского Государственного Технического Университета, 2004. - 75 с.

26. Грининг К.Р., Гордейчук Р.В., Михайлишин С.В., Губеня О.О., Телечкун В.И.. Энергетические характеристики процесса сверхтонкого измельчения в лабораторной бисерной мельнице // Материалы XII международной научно-технической конференции «Техника и технология пищевых производств», 23-24 апреля 2020 г. – Могилёв: МГУП, 2020 г. С. 74-75.

27. Грининг К.Р., Гордейчук Р.В., Губеня О.О. Установление энергетических особенностей процесса сверхтонкого измельчения в лабораторной бисерной мельнице // Материалы 16-го Международного научного семинара, проводимого в рамках 18-й Международной научно-технической конференции «наука – образованию, производству, экономике», «Мировая экономика и бизнес-администрирование малых и средних предприятий», 26 марта 2020 г. – Минск: Бестпринт, 2020 г. – С. 214-216.

28. Грінінг К.Р., Гордейчук Р.В., Губеня О.О.. Експериментальний стенд і методика дослідження процесу надтонкого подрібнення компонентів фармацевтичних і косметичних засобів у бісерних млинах // Матеріали VIII міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні

засади її конкурентоздатності», 12 вересня 2019 р. – К.: НУХТ, 2019 р. – С. 166-168.

29. Грінінг К.Р., Губеня О.О., Димитров Ц., Єрмаков А. Вибір обладнання для надтонкого подрібнення компонентів лікарських і косметичних засобів // Матеріали VII міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності», 13 вересня 2018 р. – К.: НУХТ, 2018 р. – С. 97-99.

30. Доровський О.В.. Світовий фармацевтичний ринок: структура, тенденції розвитку, точки зростання // Науковий вісник Херсонського державного університету, - 2014, - Ч.3, Випуск 9-1, с. 34-38.

31. Киркач, Н. Ф. Расчёт и проектирование деталей машин: Учеб. пособие / Н. Ф. Киркач, Р. А. Баласанян. — 3-е изд., перераб. и доп. — Х. : Основа, 1991. — 276 с.

32. Кузнецова М.М., Мараховский М.Б., Алексина А.А. Определение энергозатрат процесса измельчения твердых материалов / М.М. Кузнецова, М.Б. Мараховский, А.А. Алексина // Журнал технической физики. – 2015. – Том 85. - №5. – С. 145–147.

33. Лич І.В. Промислова технологія лікарських засобів [Електронний ресурс]: конспект лекцій для студ. освітнього ступеня бакалавр спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» ден. та заоч. форм навч. / І.В. Лич. – К.: НУХТ, 2017. – 323 с.

34. Михалева З. А. Методы и оборудования для переработки сыпучих материалов и твердых отходов: Учеб. пособие. // Михалева З. А., Коптев А. А., Таров В. П. - Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн.ун-та, 2002. - 64 с.

35. 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.
36. 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.
37. Опарін С.О. Конспект лекцій до розділу «Механічні процеси» з курсу — Процеси та апарати хімічних виробництв» для студентів III-IV курсів механічних спеціальностей / Укл. С.О. Опарін. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. – 112 с.
38. Павлице В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підруч. / В. Т. Павлице. — К.: Вища шк., 1993. — 556 с. — рекомендовано кафедрою. — ISBN 5-11-004099-1
39. Пат. 2 065 331 C1 RU. Сепаратор для мелющих тел в бисерной мельнице, предназначенной для помола продуктов, диспергированных в жидкости / Ульяновцев А.С., Третьяков В.А. - Оpubл. 20.08.1996.
40. Пат. 2 523 289 C1 RU. Лабораторная бисерная мельница / Новокрещенных А.И., Чернов М.А., Замахаяев Ю.В., Иванова А.А., Петров В.В. – Оpubл. 20.07.2014.
41. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / За ред. проф. І. Ф. Малежика. Підручник. – К.: НУХТ, 2003. – 400с.
42. Процеси і апарати харчових виробництв: 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.
43. Прядко Н.С. Развитие теории и технологии тонкого измельчения / Н.С. Прядко, Н.Д. Коваленко, Г.А. Стрельников // Техническая механика. – 2015. - № 4. – С.72–84.

44. Саленко Ю.С. Обладнання для подрібнення матеріалів: дробарки та млини: Навч. посібник. – Кременчук: КДПУ, 2008. – 100 с.
45. Сидоров Ю. І. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості: навч. посіб. / Ю. І. Сидоров, В. І. Чуєшов, В. П. Новіков. — Вінниця : Нова книга, 2009. — 816 с.
46. Сокур М.І. Підготовка корисних копалин до збагачення: монографія / Сокур М.І., Білецький В.С., Єгурнов О. І., Воробйов О. М., Смирнов В.О., Божик Д.П. – Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2017. – 392 с.
47. Страпчук С.І. Стан та тенденції розвитку фармацевтичного виробництва в Україні // Економічна теорія. – 2017. - №1(28). С.54-62.
48. 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.
49. Черевко О. І., Поперечний А. М. Процеси і апарати харчових виробництв. - Х.: Світ Книг, 2014. - 495 с.