

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

**Навчально-науковий інженерно-технічний інститут імені акад. І.С. Гулого
Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв**

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

Сергій Блаженко

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«__» _____ 20__ р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Олександр Гавва

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«__» _____ 20__ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

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

на тему:

**Підвищення технічної ефективності бісерних млинів для надтонкого
подрібнення компонентів лікарських та косметичних засобів**

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОФ-2-6м

Омеляненко Костянтин Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

_____ (підпис)

Керівник Губеня Олексій Олександрович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

_____ (підпис)

Консультанти

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Рецензент

Харченко Євген

(ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

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

Здобувач _____ (підпис)

Київ – 2023 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

Освітньо-професійна програма Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

“ ____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Омеляненко Костянтин Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Підвищення технічної ефективності бісерних млинів для надтонкого подрібнення компонентів лікарських та косметичних засобів».

Керівник роботи Губеня Олексій Олександрович, канд. техн. наук, доцент затверджені наказом закладу вищої освіти від “07”лютого 2022 р. №794-КС

2. Строк подання здобувачем роботи 8 лютого 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: об'єкт дослідень – процес та обладнання для надтонкого подрібнення. Предмети досліджень – бісерні млини; модельні матеріали для досліджень – суспензії на основі рицинової олії та пігменту залізоокисного «Червоний 120»

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Теоретично-методологічний розділ;

Матеріали і методи досліджень;

Результати досліджень та їх пояснення;

Застосування результатів;

Техніко економічне обґрунтування проекту;

Безпека життєдіяльності при проведенні наукових досліджень;

5. Перелік графічного матеріалу

Очікувана презентація: актуальність теми, мета і завдання досліджень, матеріали і методи досліджень (опис матеріалів і експериментального стенду), залежності: вплив часу подрібнення на середній розмір частинок; вплив часу подрібнення на гранулометричний склад суспензії; математично-статистичне оброблення результатів; удосконалення конструкції бісерного млина (2 листи)

Анотація

Омелянєнко Костянтин Анатолійович. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра «**Підвищення технічної ефективності бісерних млинів для надтонкого подрібнення компонентів лікарських та косметичних засобів**». Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування. ОПП - «Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв»

Вступ. Проведені дослідження з метою визначення зміни в гранулометричному складі суспензій лікарських та косметичних засобів під час оброблення в бісерному млині та підвищення ефективності його роботи.

Метериали і методи. Досліджується надтонке подрібнення модельних суспензій на основі рицинової олії та твердих частинок барвника. Дослідження проведені на експериментальному стенді на основі бісерного млина вертикального типу. Гранулометричний склад суспензії визначався методом фотореєстрації збільшених у 100-900 разів зображень та їх подальшим обробленням програмними засобами.

Результати і обговорення. Експериментальні дослідження зміни гранулометричного складу суспензій та аналіз отриманих результатів свідчить, що композиції суспензій у межах досліджуваного діапазону активно подрібнюються та перерозподіляються протягом всього часового проміжку вимірювань.

Отримана крива ступеня перетиру під час подрібнення демонструє активне зменшення розміру частинок в перші 4 хвилини процесу. Крива ступеня перетиру та діаграми розподілу розмірів демонструють, що суспензії з більшим вмістом твердої фази подрібнюються більш інтенсивно, ніж суспензії з меншим вмістом твердої фази.

Отримані результати досліджень розподілу частинок суспензії за класами розмірів дають змогу відслідковувати та коригувати необхідні параметри процесу надтонкого подрібнення для досягнення необхідної якості продукту, а також використовувати для імітаційного моделювання процесу в бісерних млинах.

Відповідно, для виробництва лікарських і косметичних засобів доцільно застосовувати рецептури суспензій, які мають більшу концентрацію твердої фази в своєму складі.

Висновки. Отримані результати є корисними для вибору раціональних режимів роботи бісерного млина та ведення процесу подрібнення, зокрема, вибору конструкції робочих елементів, кінематичних параметрів, часу подрібнення.

Ключові слова: *подрібнення, надтонкий, бісерний млин, суспензія, гранулометричний склад.*

Abstract

Kostyantyn Omelyanenko. Qualification work for obtaining a master's degree "**Increasing the technical efficiency of bead mills for ultra-fine grinding of components of medicinal and cosmetic products**". Specialty 133 – Industrial engineering. Educational program - "Engineering of pharmaceutical and biotechnological productions"

Introduction. Research was conducted with the aim of determining changes in the particle size composition of drug and cosmetic suspensions during processing in a bead mill and improving the efficiency of its operation.

Materials and methods. Ultrafine grinding of model suspensions based on castor oil and solid dye particles is being studied. The research was carried out on an experimental stand based on a vertical type bead mill. The granulometric composition of the suspension was determined by the method of photo registration of images magnified by 100-900 times and their further processing by software.

Results and discussion. Experimental studies of changes in the granulometric composition of suspensions and the analysis of the obtained results show that the composition of suspensions within the investigated range is actively crushed and redistributed during the entire time interval of measurements.

The resulting curve of the degree of grinding during grinding shows an active reduction in the size of the particles in the first 4 minutes of the process. Grinding rate curves and size distribution diagrams demonstrate that slurries with a higher solid phase content are ground more intensively than slurries with a lower solid phase content.

The obtained results of studies of the distribution of suspension particles by size classes make it possible to monitor and adjust the necessary parameters of the ultrafine grinding process to achieve the required product quality, as well as to be used for simulation modeling of the process in bead mills.

Accordingly, for the production of medicinal and cosmetic products, it is advisable to use formulations of suspensions that have a higher concentration of the solid phase in their composition.

Conclusions. The obtained results are useful for choosing rational modes of operation of the bead mill and conducting the grinding process, in particular, choosing the construction of working elements, kinematic parameters, grinding time.

Key words: *bazopol, grinding, ultrafine, bead mill, suspension, granulometric composition.*

Зміст

Вступ	7
Розділ 1. Теоретично-методологічний розділ	8
1.1. Способи подрібнення	8
1.2. Теорія процесу подрібнення	12
1.3. Зміна розміру частинок суспензії і її гранулометричного складу під час подрібнення	18
1.4. Аналіз конструкцій обладнання для надтонкого подрібнення	20
1.5. Аналіз конструкцій бісерних млинів.	22
1.6. Огляд патентів	29
1.7. Аналіз магістерських робіт за темою досліджень за 2018-21 роки.	36
Висновки	42
Розділ 2. Матеріали і методи досліджень	44
2.1. Об'єкт і предмети досліджень	44
2.2. Дослідна лабораторія і лабораторна база	44
2.3. Матеріали досліджень та підготовка зразків	44
2.4. Порядок проведення досліджень	49
2.5. Опис експериментальних стендів	49
2.6. Методика визначення гранулометричного складу	60
2.7. Опис програмного забезпечення	63
Розділ 3. Результати досліджень та їх пояснення	64
3.1. Вплив часу подрібнення у бісерному млині на розмір частинок суспензії	64
3.2. Зміна гранулометричного складу суспензії під час подрібнення	67
3.3. Оброблення результатів досліджень. Вибір закону розподілення для опису зміни гранулометричного складу	79
3.4. Порівняння результатів із результатами інших дослідників	85
3.5. Загальні висновки	88
3.6. Припущення. Питання для подальших досліджень	88
Розділ 4. Застосування результатів	89
4.1. Удосконалення конструкції обладнання.	89
4.2. Пропозиція модернізації	90
4.3. Розрахунки.	91
Розділ 5. Техніко економічне обґрунтування	93
Розділ 6. Безпека життєдіяльності та охорона праці при проведенні наукових досліджень	95
Висновки	99
Список використаної літератури	100
Додатки	108

Вступ

Фармацевтичне виробництво, з кожним роком розвивається стрімкими темпами, а особливо у напрямках створення та впровадження у виробництво найбільш, в першу чергу ефективних та безпечних лікарських препаратів, що являє собою пріоритетом для провідних країн світу у сфері виробництва ліків. Така стрімка позиція обумовлюється, насамперед, соціальною значимістю ліків у житті кожної людини, викликаними у демографічних випадках в різних точках нашої планети, які пов'язуються на сам перед зростанням ступеня епідемічних захворювань, серед земних мешканців. Судячи з аналізу розвитку світового фармацевтичного ринку виробництва можна в впевненість сказати, що оглядаючись назад за останні 10 років виробництво ліків було є і залишається в пріоритеті як одна з критичних галузей виробництва.

Засоби фар виробництва у вигляді м'яких лікарських засобів такі як мазі, гелі, то що, досить часто використовують в отоларингологічній, хірургічній, проктологічній, гінекологічній практиці, а також при захворюваннях які відносяться до дерматологічних та як засіб захисту шкіри від несприятливих зовнішніх факторів.

Через те що м'які лікарські форми знайшли своє застосування в різного роду галузях лікування та профілактики здоров'я, постає закономірне питання в модернізації технології приготування та виробництва, обладнання для процесів дроблення та гомогенізації діючих речовин на мазевій основі.

Актуальність: якісність дроблення та гомогенізації лікарських препаратів не завжди задовольняють вимоги та необхідний колориметричний та фармакологічний ефект внаслідок недосконалого процесу подрібнення обладнанням та технологіям.

Новизна: удосконалення конструкції обладнання для над тонкого подрібнення компонентів лікарських засобів, методом модифікації вже існуючого промислового вертикального бісерного млина.

Пропонується: застосування модернізованих виробничих вертикальних бісерних млинів, для подрібнення та гомогенізації м'яких лікарських засобів.

Розділ 1

Теоретично-методологічний розділ

1.1. Способи подрібнення

Подрібнення це процес який виражається ступенем подрібнення — відносно середню розмірність шматків матеріалу до (D) і після (d) дроблення. Поділяють: лінійну ступінь подрібнення:

$$i = D/d,$$

Шматки продукту до i після процесу дроблення завжди не мають однакових розмірів. Тому для визначення розміру подріблених часточок як правило визначають за допомогою сита, крізь яке просівають сипкий, сухий продукт до та після процесу дроблення..

В залежності від кількості пройдених часточок продукту через різні сита, різних за розмірами комірок дробленого продукту, умовно поділяють на кілька класів. (табл. 1.1).

Табл. 1.1

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

Як правило подрібнення дрібних частинок, тобто тонке та колоїдне дроблення проводиться у середовищах з високим вмістом вологи та навіть в загальні у водному середовищі, саме така методика дозволяє виключити надмірне

пилоутворення, і сприяє більш легкому вивантаженню подрібненого продукту з подрібнюючої камери.

Енерговитратність, навантаження на органи подрібнення і якість подрібнюваного продукту напряму залежить від міцності, крихкості, твердості, пружності, абразивності та густини твердих матеріалів.

Міцності – можливість твердого матеріалу чинити опір процесам дроблення при створенні напружень в середині продукту, що з'являється у результаті будь-якого навантаження.

Крихкість – властивість твердих матеріалів руйнуватися без значних пластичних деформацій. Така залежність визначається на спеціальному маятнику кількістю ударів спеціально розрахованого мірного вантажу.

Абразивність – можливість матеріалу, що дробиться, деформувати робочим органом млина. Її порівнюють у грамах зношення еталонних зразків, прирівняних до однієї тони дробленого продукту .

В залежності від напряму, точки прикладання та тривалості дії зовнішніх сил, які здійснюють дроблення продукту, розрізняють такі головні способи подрібнення: розколювання, роздавлювання, розтирання, розламування, розривання, розбивання, різання та розпилювання. На Рисунок 1.2 наглядно вказані напрямки сили на продукт у випадках застосування тих чи інших способів подрібнення.

Коротка характеристика способів дроблення. В момент роздавлювання (Рисунок 1.2.1 а) під силою навантаження, створеного навантаженням P на нажимну плиту, продукт деформується по всій площинній поверхні. Коли внутрішнє напруження в дослідному зразку перевищить межу міцності на стиск, він роздавлюється. В цей момент створюються частинки різних розмірів та форми.

Процес розколювання (Рисунок 1.2 б) здійснюється за рахунок створення великих концентрацій навантажень у місцях контакту матеріалу з клиноподібними робочими органами, на які діє сила P . Такий спосіб

розколювання досконаліший в порівнянні з роздавлюванням, адже дає можливість регулювання розміру одержуваних подрібнених частинок’.

Метод розламування частинок (Рисунок 1.2 в) здійснюється під впливом згинальних сил P .

Під час розтирання (Рисунок 1.2 г) тіло подрібнюється під впливом стискальних, розтягувальних і зрізувальних сил. Утворюється дрібний порошкоподібний продукт. Процес використовується у тонкому та колоїдному помелах.

Під час подрібнення за рахунок розбивання (Рисунок 1.2 д) об’єкт роздавлюється на часточки під дією динамічних навантажень. У випадках концентрованого навантаження з’являється ефект, схожий на ті, які мають місце під час розколювання продукту, а у разі розподілення зусиль на весь об’єм тіла ефект руйнування схожих на ефект роздавлювання.

Коли відбувається процес розривання (Рисунок 1.2 е) тіло руйнується під дією розтягувальних сил у результаті виникнення напруження у матеріалі, яке перевищує межу міцності на розрив.

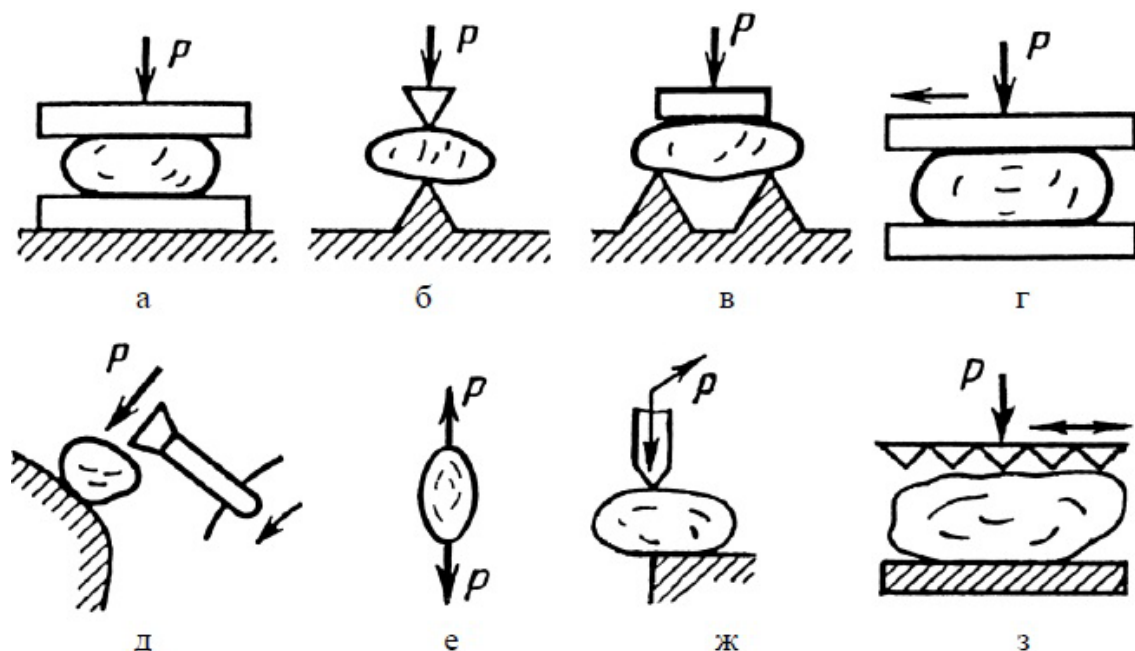


Рисунок 1.2. Способи механічного подрібнення матеріалів

Процес різання (Рисунок 1.2 ж) здійснюється ножами, під дією яких створюється силу P , направлену по заданій траєкторії під визначеним кутом до

продукту, який дробиться. Продукт дробиться на частинки на частинки наперед заданих розмірів і форми. Процес повною мірою керований.

Розпилювання (Рисунок 1.2 з) здійснюється за рахунок використання пили, зубці якої являють собою ножі. Вплив пили здійснюється шляхом натискання її на продукт, що дробиться, та рух пили у площині дроблення. Результати такі ж самі, як і після процесу різання.

На практиці часто комбінують різні способи подрібнення продуктів. Наприклад, розтирання завжди проводиться процесами роздавлюванням чи розбиванням, розламування — розколюванням або роздавлюванням. Це дозволяє з меншою витратою енергії найбільш ефективно здійснювати подрібнення матеріалу [25, 37, 44, 46,49].

При виборі способів дроблення, усе напряму залежить від фізичних якостей і розмірів шматків продукту. Основні значення мають міцність та стійкість матеріалу до зовнішніх факторів. Тверді та крихкі продукти типу кристаликів цукру або сухих зернових культур можна дробити розбиванням або розтиранням. Пластичні продукти, наприклад м'ясо, необхідно кутерувати.

Виходячи із теорії міцності твердих тіл, опір будь-якого матеріалу стиску завжди більший опору розтягання. При проведенні дослідницьких робіт можна побачити таку залежність, що подрібнювальний продукт чинить максимальний опір роздавлюванню, менший — його розколюванню, ще менший — розтиранню, тобто зсуву, а мінімальний — розриванню. Взяти навіть до прикладу вапняк, який використовується у виробництві цукру, він має границю міцності на розтягання — 4,0 МПа, а на стиск — 90 МПа, тобто в 22 рази більшу. Закономірно що і витрати енергії під час розтягання матеріалу буде набагато меншими чим зазвичай. Проте технічна реалізація способу подрібнення шляхом його розривання викликає труднощі.

1.2. Теорія процесу подрібнення

Процес надтонкого подрібнення – складний та високоенергетичний процес, основним завданням якого є зменшення розміру частинок твердої фази у мікрогетерогенних системах, таких як суспензії, емульсії, порошки тощо, який потребує більш глибокого дослідження.

Varinot та ін. проводили дослідження впливу робочих параметрів швидкості мішалки, концентрації твердих частинок, діаметра гранул на гранулометричний склад продукту, отриманого у вологому тонкодисперсному водному розчині.

Результати дослідження показали, що робочі параметри (швидкість мішалки, концентрація твердих частинок у суспензії, діаметр кульок) більшою мірою впливають на контроль середнього діаметра продукту, що отримується під час мокрого тонкого подрібнення в бісерному млині, але не дають змоги контролювати розподілення розміру продукту (Varinot, Berthiaux, & Dodds, 1993).

Flach та ін. досліджували оптимізацію процесів мокрого подрібнення волокнистих рослинних матеріалів. Показано, як зменшується розмір частинок, тенденція до повторної агломерації (злипання) та стабільність суспензії визначає питому енергією, час перебування, температуру та наявність поверхнево-активних речовин під час процесу подрібнення. Було виявлено, що застосований процес мокрого подрібнення визначає стабільність суспензій частинок протягом подальшої переробки, роблячи процес подрібнення основною операцією блоку щодо продуктивності та рецептури харчових та інших продуктів, що містять мікронізовані частинки.

Jimbo демонструють, що за будь-якого процесу подрібнення існує граничний розмір, нижче якого неможливо перейти. Під час сухого подрібнення ця межа оцінюється приблизно 1 мкм, тоді як під час мокрого подрібнення зазвичай, вважається, що його можна знизити приблизно до 0,1 мкм. Нижче цього розміру необхідно вдаватися до хімічних або фізико-хімічних методів подрібнення

твердих тіл (Ogonowski, Wołosiewicz-Głab, Ogonowski, Foszcz, & Pawełczyk, 2018).

Метод визначення розміру частинок за ISO 1524 не дає можливості отримати повний гранулометричний склад суспензії, адже даний метод заснований на вимірюванні ступіня перетиру – це показник, що характеризує розмір найбільших твердих частинок пігментованих лакофарбових матеріалах, диспергованих пігментів і наповнювачів за допомогою гріндометра.

У зв'язку з тим, що досліджений матеріал являє собою мікрогетерогенну систему (суспензію), дослідження проводили за допомогою світової мікроскопії.

Немає чітко встановленої норми мінімального чи максимального розміру частинки твердої фази суспензії для фармацевтичних та/чи косметичних продуктів. У документі Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on cosmetic products та ISO 1524:2020 Paints, varnishes and printing inks — Determination of fineness of grind зазначено, що поверхня декоративної косметики має бути гладкою, однорідною, рівномірно забарвленою або незабарвленою, а покриття рівний та рівномірний, без крупинок. У свою чергу, the 8th Edition of the European Pharmacopoeia теж не зазначає норми розміру частинок фармацевтичних продуктів. В науковій літературі вказано, що суспензії, які складаються з твердих мікрочастинок лікарського засобу, можуть значно покращити дію фармацевтичних препаратів *in vitro* та *in vivo*, включаючи підвищення насичення розчинності та швидкості розчинення, перорального всмоктування, покращення пероральної біодоступності нерозчинних у воді лікарських засобів тощо.

Подрібненням – це процес під час якого проводиться розбивання уламків твердого матеріалу при дії на них критичних внутрішніх напружень, які створюються у результаті прикладання навантаження та перевищують відповідну межу міцності. Напруження в подрібнюваному продукті можуть створюватися механічними напруженнями, температурними діями, ультразвуковими коливаннями та іншими. Як правило найчастіше у виробничих реаліях застосовують механічний спосіб подрібнення продукту.

Щоб змінити в меншу сторону розміри подрібнювального продукту, потрібно провести процес подрібнення і подолати силу взаємного притягання молекул (сили Ван-дер-Вальса). При застосуванні зовнішніх сил, проходить руйнування тіла, при чому повна площа поверхні, яка при цьому створюється, значною мірою перевищує площу вихідного матеріалу. Завдяки чому з'являється можливість збільшити теплові, дифузійні та біохімічні процеси, в яких безпосередньо знаходиться тверда фаза.

Для того щоб подрібнювальний продукт зменшити в розмірах, застосовується велика кількість енергії; і тому з техніко-економічної точки зору слід завжди схилитись до принципу: не подрібнювати. Що це означає, перше, не треба дробити подрібнювальний продукт до менших, ніж потрібно, розмірів частин і, друге, треба відсівати до увімкнення процесу подрібнення частинки продукту менші за ті, що повинні бути отримані в кінцевому подрібненому продукті.

За законом Рітінгера, робота, витрачена на подрібнення, пропорційна утвореній поверхні :

$$A = k\Delta S,$$

де k – коефіцієнт пропорційності; ΔS – площа утвореної поверхня.

За законом Кіка-Кірпічова, витрата енергії пропорційна його об'єму або масі [23, 32, 43]:

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

де k, k_k – коефіцієнти пропорційності; ΔV – деформований об'єм грудки з ребром D .

За законом Бонда, робота, затрачувана 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.

Існує ряд узагальнених формул для визначення роботи дроблення (подрібнення).

Огляд сучасних теорій подрібнення в бісерних млинах

Ідея моделі напруження А. Kwade, яка описує фізичні процеси в млинах з середовищем, що перемішується, заснована на практичному прикладі дроблення каменю на дрібні шматочки. Є різні можливості вдарити по каменю. Можна використовувати маленький або великий молоток. Молотком можна наносити удари по каменю повільно або швидко, і кількість ударів може бути різним. А. Kwade розглянув два різні погляди на злам каменю в цьому прикладі - по-перше, що робить молоток? По-друге, що відбувається з каменем?

► Вид на молот - модель напруги, пов'язаного з млином - наскільки висока частота ударів, незалежно від кількості каменів, і наскільки сильні удари, які представляють енергію, передану часткам молотка?

► Вид каменю - модель напруги, пов'язана з продуктом - як часто відбувається удар по каменю і його частин? Ця кількість ударів, необхідне для досягнення певної міри подрібнення. І, по-друге, наскільки висока інтенсивність напруги, в результаті чого питома енергія передається каменю при кожному ударі?

Kwade переніс цю модель в процес подрібнення в млинах з середовищем, що перемішується.

У моделі напружень млина враховуються такі аспекти:

► Поведінка млина при роздавлюванні визначається видом напруг (таких як сили зсуву, удар і стиснення), частотою подій напруги і енергією, яку млин підводить при кожній події напруги, тобто - названа енергія стресу.

► Загальна кількість напруг і час подрібнення визначають якість продукту.

► Енергія напруження всіх напруг непостійна; це відповідає розподілу енергії напруги.

Модель стресу, пов'язаного з продуктом, включає наступні аспекти:

► Якість продукту, таке як розмір частинок в процесі дроблення або диспергування, визначається видом напруг (поперечні сили, удар і стиснення), частотою напруги кожної частки і зламанною частки, а також величиною питомої енергії або питомою силою кожної стресової події

► Кількість стресових подій і їх інтенсивність не постійні для всіх частинок і можуть бути охарактеризовані тільки розподілом напружень.

► Інтенсивність напружень і властивості матеріалу визначають ефективність питомої енергії, яка передається частці матеріалу, що подрібнюється продукту, і впливають на якість продукту і його крупність.

Комбінація обох моделей призводить до співвідношення між параметрами питомої енергії, споживаної потужності млина і виробничою потужністю. Більш детально це означає, що повна енергія, яка передається частинкам продукту, може бути визначена підсумовуванням всіх енергій напруги. Питома енергія, яка фактично передається тілами, що мелють часткам продукту, виходить шляхом співвіднесення загальної енергії із загальною масою продукту.

Результатом досліджень і роботи Kwade є те, що ефективність подрібнення є продуктом інтенсивності напружень і чисел напружень, а найкраща ефективність подрібнення досягається за рахунок вибору розміру тіл, що мелють, щільності тіл, що мелють і швидкості млина для досягнення оптимальної інтенсивності напружень і збільшити кількість стресів.

На основі моделі процесу подрібнення Kwade можна було проаналізувати виміряні і зібрані дані випробувань. Питома підводиться енергія E_m була розрахована з використанням наступного рівняння [1] в залежності від розміру часток, що утворилися карбонату кальцію, подрібненого у вологому стані:

$$E_m = \frac{N - N_0}{\dot{m}} (J/kg) \quad [1]$$

E_m : Питома енергія [Дж / кг]

N : Необхідна електрична потужність для роботи млина з кульками і суспензією [Вт]

N_0 : Необхідна електрична потужність для роботи порожній млини - холостий хід [Вт]

$N - N_0$: Активна електрична потужність [Вт]

m : Витрата суспензії [кг / с]

$1 \text{ [Дж]} = 1 \text{ [Вт]}$

На основі збору даних під час випробувань подрібнення інтенсивність напружень, що мелють тел SIGM може бути розрахована з використанням рівняння [2].

$$SI_{GM} = d^3 * \rho * v_T^2 \text{ (Nm)} \quad [2]$$

SIGM: інтенсивність напруги тіл, що мелють (Нм)

d : Діаметр бісеру (м)

ρ : Питома вага тіл, що мелють (кг / м³)

v_T : швидкість кінця мішалки (м / с)

Pat. WO 2010/068993 A1. фіг.3 показує схему циркуляції середовища і пульпи (суспензії) в межах дискового бісерного млина в околиці дисків.

На Фіг.3 показані схеми течії потоку (вказуються стрілками), які імовірно виникають в і навколо суміжних дисків 14 млина. Пульпа (суспензія) циркулює через отвори 15 в дисках 14, і частки також проникають між лицьовими поверхнями дисків 14 і стрімко рухаються щодо інших частинок, щодо валу між дисками, щодо поверхонь дисків і щодо стінок млина. Пульпа (суспензія) циркулює в радіальному напрямку між дисками і переважно циркулює, прилягаючи до валу 10. В результаті відбувається тертя частинок речовини, поданих до дискового млина, забезпечуючи в результаті зменшення розміру матеріалу частинок. Млин також має середовище, що подрібнює, для полегшення зменшення розміру. Середовище, що подрібнює, може містити сталеві кульки, керамічні частинки, пісок або звичайно будь-яку іншу середовище, що меле, відому фахівцю в даній області техніки. Якщо млин є

млином самоздрібнювання, спеціальне середовище, що подрібнює, присутнє не буде.

1.3. Зміна розміру частинок суспензії і її гранулометричного складу під час подрібнення

Процес надтонкого подрібнення – складний та високоенергетичний процес, основним завданням якого є зменшення розміру частинок твердої фази у мікрогетерогенних системах, таких як суспензії, емульсії, порошки тощо, який потребує більш глибокого дослідження (Ogonowski, Wołosiewicz-Gław, Ogonowski, Foszcz, & Pawełczyk, 2018).

Varinot та ін. (Varinot, Berthiaux, & Dodds, 1993) проводили дослідження впливу робочих параметрів швидкості мішалки, концентрації твердих частинок, діаметра гранул на гранулометричний склад продукту, отриманого у вологому тонкодисперсному водному розчині.

Результати дослідження показали, що робочі параметри (швидкість мішалки, концентрація твердих частинок у суспензії, діаметр кульок) більшою мірою впливають на контроль середнього діаметра продукту, що отримується під час мокрого тонкого подрібнення в бісерному млині, але не дають змоги контролювати розподілення розміру продукту (Varinot, Berthiaux, & Dodds, 1993).

Flach та ін. (Flach et al., 2019) досліджували оптимізацію процесів мокрого подрібнення волокнистих рослинних матеріалів. Показано, як зменшується розмір частинок, тенденція до повторної агломерації (злипання) та стабільність суспензії визначає питомою енергією, час перебування, температуру та наявність поверхнево-активних речовин під час процесу подрібнення. Було виявлено, що застосований процес мокрого подрібнення визначає стабільність суспензій частинок протягом подальшої переробки, роблячи процес подрібнення основною операцією блоку щодо продуктивності та рецептури харчових та інших продуктів, що містять мікронізовані частинки (Flach et al., 2019).

Jimbo (Jimbo et al., 1992) демонструють, що за будь-якого процесу подрібнення існує граничний розмір, нижче якого неможливо перейти. Під час сухого подрібнення ця межа оцінюється приблизно 1 мкм, тоді як під час мокрого подрібнення зазвичай, вважається, що його можна знизити приблизно до 0,1 мкм. Нижче цього розміру необхідно вдаватися до хімічних або фізико-хімічних методів подрібнення твердих тіл (Ogonowski, Wołosiewicz-Gław, Ogonowski, Foszcz, & Pawełczyk, 2018).

Метод визначення розміру частинок за ISO 1524 не дає можливості отримати повний гранулометричний склад суспензії, адже даний метод заснований на вимірюванні ступіня перетиру – це показник, що характеризує розмір найбільших твердих частинок пігментованих лакофарбових матеріалах, диспергованих пігментів і наповнювачів за допомогою гріндометра.

У зв'язку з тим, що досліджений матеріал являє собою мікрогетерогенну систему (суспензію), дослідження проводили за допомогою світової мікроскопії.

Немає чітко встановленої норми мінімального чи максимального розміру частинки твердої фази суспензії для фармацевтичних та/чи косметичних продуктів. У документі Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on cosmetic products та ISO 1524:2020 Paints, varnishes and printing inks — Determination of fineness of grind зазначено, що поверхня декоративної косметики має бути гладкою, однорідною, рівномірно забарвленою або незабарвленою, а покриття рівний та рівномірний, без крупинок. У свою чергу, the 8th Edition of the European Pharmacopoeia теж не зазначає норми розміру частинок фармацевтичних продуктів. В науковій літературі вказано, що суспензії, які складаються з твердих мікрочастинок лікарського засобу, можуть значно покращити дію фармацевтичних препаратів *in vitro* та *in vivo*, включаючи підвищення насичення розчинності та швидкості розчинення, перорального всмоктування, покращення пероральної біодоступності нерозчинних у воді лікарських засобів тощо (Li et al., 2019; Pazesh, Grasjo, Berggren, & Alderborn, 2017; Skrotska, Kharchenko, Laziuka, Marynin, & Kharchuk, 2021; Avramia & Amariei, 2022).

Зважаючи на вищезазначене, розглянемо розподіл частинок в межах від 0 до 5 мкм як умовно максимально допустимий розмір частинки твердої фази у суспензії.

1.4. Аналіз конструкцій обладнання для надтонкого подрібнення

Трьохвалкові млини. Валки, які обертаються назустріч один одному з різною швидкістю, забезпечують переміщення продукту з валу на вал. Вали виготовляються з порцеляни, металу або базальту. Для підтримання оптимальних температур подрібнювального продукту, вали роблять порожніми щоб подати охолоджувальну рідину в середину. Суспензії роздавлюється в зонах контакту валків і знімаються з валка скребком.

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.

Використання: для подрібнення пігментних паст, кремів, лініментів в косметичній промисловості та для виробництва мазей та гомогенізації гелів у фармацевтичній промисловості.

Вібраційні млини. Подрібнення проводиться за допомогою вібраційного пристрою, який розташований на одній осі з електродвигуном, за рахунок чого барабан вібрує. Кулі виробляються з порцеляни, твердих сплавів та сталі. Барабан наповнений кульками на 80-90%.

Розмір подрібненого продукту становить 1-5 мкм.

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

Недоліки: не застосовується для дроблення порошків; клейких, в'язких паст та термолабільних матеріалів; досить низька продуктивність (до 1 т/год); швидкий знос робочих поверхонь; важкі умови праці.

Використання: для дрібнозернистого подрібнення матеріалів низької міцності.

Бісерний млин. Подрібнення відбувається мокрим способом. Складається з камери подрібнення з сорочкою охолодження, у яку бісер завантажуються разом із компонентами суміші, та ротора, який обертає всю систему і складається з валу, де закріплені диски або пальці. Робоча камера заповнюється бісером зі скла, сталі або базальту на 70-80%. Процес дроблення проходить 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.

Крупність подрібненого продукту може досягти менше 1 мкм.

Переваги: простота конструкції та обслуговування; надійна та безперечна робота; універсальність; високий рівень ККД; універсальність, висока продуктивність при незначних розмірах машини; досить непогана герметизація.

Недоліки: 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.

Використання: для подрібнення пігментних паст, кремів в косметичній промисловості та для виробництва мазей, лініментів, паст та гелів у фармацевтичній промисловості.

Колоїдні млини. Пропонується багато конструкцій цих млинів. Для запобігання злипанню частинок подрібнення проводять у дисперсійному середовищі. Колоїдне подрібнення застосовують в дослідницьких цілях, воно є маловивченим і складним процесом.

Розмір подрібненого продукту - менше 0,4 мкм.

Переваги: ефективний процес емульгування і диспергування.

Недоліки: великий знос робочих елементів; процес невивчений.

Використання: у фармацевтичній промисловості їх використовують для виробництва мазей, паст і лініментів, у хімічній - для одрібнення мінеральних пігментів.

1.5. Аналіз конструкцій бісерних млинів



Рисунок 1.3. Занурювальний бісерний млин MILL-ENNIUM

[<https://tecsa.com.ua>]

Занурювальний бісерний млин.

Високоєфективний млин занурювального типу (рисунок 1.3), призначений для перетирання продуктів, що важко піддаються диспергуванню у випадках, коли високий ступінь перетирання, а потрібний колір необхідно отримати швидко.

Трансмійний вузол, змонтований на головці, що приводить в дію систему ротор-статор в середині робочої камери. Вал виготовлений із пружної, стійкої до робочого середовища сталі з твердим хромовим покриттям. На валу жорстко закріплені пальці, які виконані з тієї самої сталі, що і сам вал. Ці ж самі пальці розміщені на стінках робочої камери, що дозволяє збільшити ступінь подрібнення продукту.

Переваги млинів занурювального типу:

- Невелике співвідношення об'єму робочої камери до об'єму продукту;
- Короткий час подрібнення;
- Широкий ряд допустимих в'язкостей;
- Використання однієї робочої камери при диспергуванні та подрібненні;
- Швидке і легке очищення
- Відсутність насосів, шлангів, переносних посудин тощо
- Гідропневматична система підйому колонки.

Недоліки:

- Млин періодичної дії;
- Відсутність плавного пуску мішалки;
- Висока вартість деталей і вузлів млина;
- Використання в якості основної передачі пасову передачу.

Бісерний млин барабанного типу. Бісерний млин Turbo Type кошикового типу (рисунок 1.4) призначений для подрібнення продукту до надтонких частинок за допомогою крильчаток, на одній насадці розміщено два ряди по 11 крильчаток на одну сторону. На робочому валу знаходиться три насадки для більш ефективного подрібнення. Така конструкція дозволяє збільшити площу контакту з робочою масою, та за рахунок кута нахилу крильчатки з'являється можливість циркуляції продукту в середині робочої камери та відповідно до сепаратора відділювача.

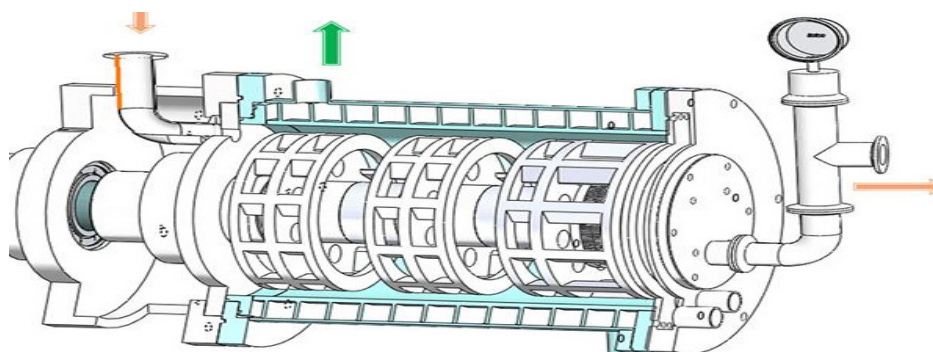


Рисунок 1.4. Бісерний млин барабанного типу Turbo Type

[<https://ua.ele-beadmил.com>]

Процес охолодження проходить за рахунок робочої камери, між стінками якої спеціальними секціями спірального типу циркулює охолоджувальна вода.

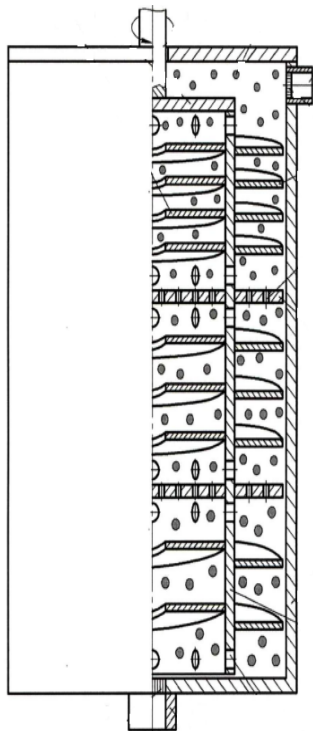


Рисунок 1.5.

Бісерний млин

вертикального типу

Переваги:

- Млин подрібнює продукт безперервно;
- Охолодження робочої камери проходить по всій площі;
- Висока ефективність подрібнення продукту за рахунок високих обертів ротора та великої площі подрібнювальних насадок;

Недоліки:

- Складність процесу очищення робочих органів та камери млина;
- Обов'язковий контроль в'язкості подрібнювального продукту перед завантаженням до робочої камери.

Бісерний млин вертикального типу (Рисунок 1.5,

Патент UA 148281, 2021). Вертикальний бісерний

млин (рисунок 3) складається з циліндричної камери із засобами для завантаження матеріалів і вивантаження готового продукту, заповнену бісером.

У камері розміщена обичайка, виконана із зовнішньою і внутрішньою гвинтовими спіралями з протилежно спрямованими витками, і з'єднана за допомогою диска з приводним валом. Водночас, обичайка обладнана горизонтальними перфорованими перегородками, що розділяють камеру на секції, і виконана з вікнами у верхній і нижній частинах кожної секції. Крок спіралей в межах однієї секції виконаний постійним, а по секціях в напрямку знизу вгору – зменшується, що надає процесу подрібнення більшої ефективності.

Переваги:

- Обичайка обладнана горизонтальними перфорованими перегородками, що розділяють камеру на секції це дозволить збільшити інтенсивність подрібнення;
- Можливість регулювати ступінь подрібнення продукту за рахунок зміни робочих органів мішалки робочої камери.

Бісерний млин пальцевого типу. Даний млин безперервної дії (рисунок 1.6). В якості зрошувального пристрою застосовується напівтрубовал, з закріпленими на ньому жорстко подрібнювальними пальцями. В середині трубовалу розміщується циліндричне сито, яке відділяє бісер від продукту. Відцентровий сепаратор має велику площу, відцентрове колесо відштовхує бісер від розвантажувального сита. Інтенсивний процес охолодження проходить за рахунок робочої камери, між стінками якої по секціях спірального типу циркулює охолоджувальна вода.

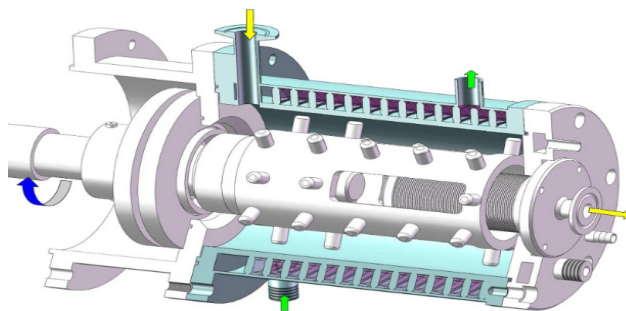


Рисунок 1.6. Бісерний млин пальцевого типу

[<https://ua.ele-beadmill.com>]

Бісерний млин дискового типу (горизонтальний). Даний млин (рисунок 1.7), безперервної дії. Зрошувальним органом є диски, які чергуються між собою за різновидністю своєї форми, між якими обов'язково знаходяться проміжні втулки. Сито циліндричне відділює бісер від подрібненого продукту. Робоча камера охолоджується за допомогою охолоджувальної води, яка циркулює спіральною охолоджувальною сорочкою.

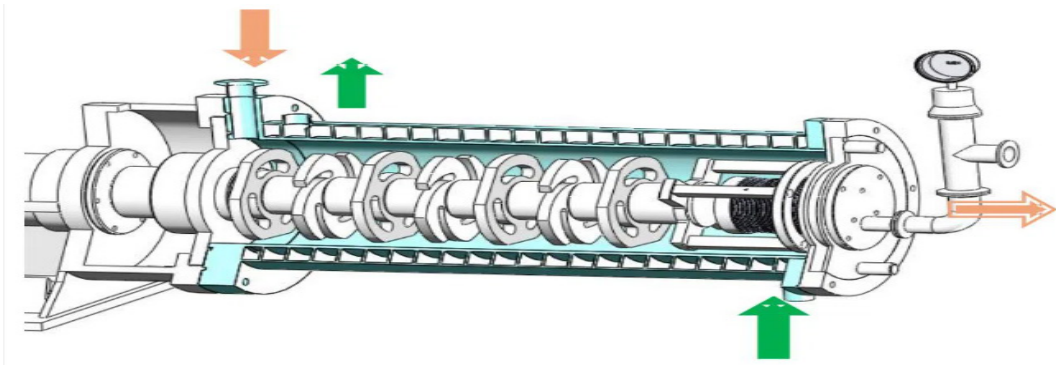


Рисунок 1.7. Бісерний млин дискового типу (горизонтальний).

[<https://ua.ele-beadmill.com>]

Переваги:

- Робоча камера та усі її складові виконані з надтвердої сталі, твердість досягає HRC62;
- Безперервна дія млина,

Бісерний млин горизонтальний DYNO. Дана конструкція млина (рисунок 1.8) має повністю закритий зовнішній контур і унікальну поверхневу структуру з бісерними каналами.

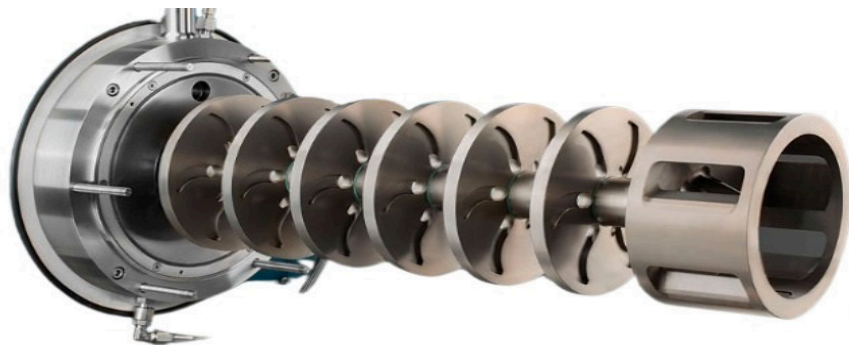


Рисунок 1.8. Бісерний млин горизонтальний

DYNO [<https://www.zto.com.ua>]

Бісерні канали, що закриті зсередини та радіально виходять із центру диска, прискорюють змішування бісеру і продукту. Стінка каналу чинить імпульс на бісеринки перпендикулярно осі машини. У поєднанні з полем потоку сусіднього

диска між кожною парою дисків утворюється подрібнювальна камера з прискореними контурами бісеринок. Оскільки диски повністю закриті, за винятком невеликих отворів біля осі, бісеринки залишаються на місці між двома дисками, утворюючи окремі комірочки для подрібнення.

Переваги:

- Висока продуктивність та зносостійкість матеріалу;
- Охолоджувальна вода тече по спіралі навколо подрібнювального циліндра;
- Бісерні канали закриті зсередини та радіально виходять із центру диска.

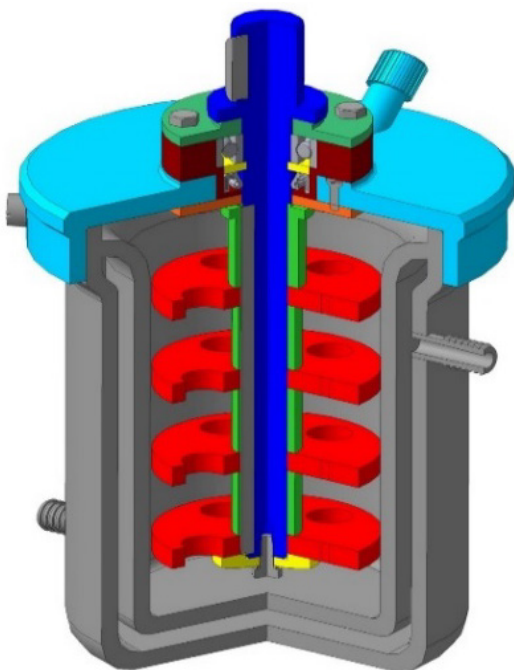


Рисунок 1.9. Бісерний млин вертикальний ЗТО

Бісерний млин вертикальний ЗТО (рисунок 1.9). Бісерний млин виконаний у вигляді вертикальної чаші, в середині якого знаходиться вал з набором робочих дисків, між якими знаходяться проміжні втулки. Маса бісеру надає високий абразивний тиск на дно ємності, що дозволяє подрібнювати міцні матеріали, наприклад, для виробництва кераміки, а також пігменти для декоративної косметики і лакофарбових матеріалів, шоколаду. Таке додаткове

навантаження має позитивний характер, так як процес подрібнення має сильну енергозатратність.

Переваги:

- Можливість зміни набору дисків, їх варіація та зміна кількості;
- Простота конструкції;
- Можливість швидкого очищення чаші.

Недоліки

- Мала продуктивність;

- Відсутність плавного пуску;
- Млин періодичної дії.

Бісерний млин вертикальний Discus Intensive Rotor. Рециркуляційний бісерний млин (рисунок 1.10) призначений для всіх типів суспензій з низькою і середньою в'язкістю, де потрібний високий ступінь подрібнення (пігментних паст, емалей, спеціальних фарб). Принцип дії – великий потік і багаторазове проходження матеріалу через камеру розмелювання. За такої умови, енергія, необхідна для руйнування агломератів пігментів і наповнювачів, передається безліччю маленьких порцій із кожним черговим проходженням.

Перевагами рециркуляційних млинів:

- Висока продуктивність в порівнянні з іншими конструкціями;
- Зниження температури продукту в процесі подрібнення;
- Безперервний процес роботи.



Рисунок 1.10. Бісерний млин вертикальний Discus Intensive Rotor

[<https://6825-ua.all.biz/uk>]

Висновок. Подрібнення продукту за допомогою бісеру – складний процес, який вимагає спеціальних умов – параметрів обертання ротора, циркуляції бісеру і продукту, взаємодії бісеру з продуктом, охолодження робочої камери тощо.

Найбільш вдалим та доцільним з точки зору якості подрібнення продукту є млини горизонтального типу. Завдяки безперервній роботі вони мають найбільший ККД, а особливості конструкції знижують застійні зони.

Бісерні млини вертикального типу мають застійні зони, яких складно уникнути зміною конструкції насадок ротора, в яких рух бісеру з продуктом практично не спостерігається. Внаслідок чого на виході продукт має нерівномірний гранулометричний склад. Для вирішення цієї проблеми варто додатково дослідити конфігурацію ротора зі зменшеним кільцевим зазором, що забезпечить зменшення часу на подрібнення твердих матеріалів у суспензії, за меншого об'єму робочої камери.

1.6. Огляд патентів

Номер патенту, країна: WO 2017020880 A1 (Німеччина)

Назва патента: Розподільчий пристрій, робочий орган для бісерного млина та способи класифікацій сумішей матеріалів

Рецензент: Netzsch-Feinmahltechnik GMBH (DE)

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

Мета (задача) винаходу: Винахід відносять до розділювачів пристрою для класифікацій сумішу продукту, що складає щонайменше з двох або трьох різних за складом компонентів.

Формула винаходу: Розподільний пристрій має вал, жорстко закріплений екранну частину і щонайменше один класифікуючий ротор. Частинку щонайменше одних компонентів суміші матеріалу можуть проходити крізь ситові блоки до певного діаметру. Класифікуючі ротори містять опорну пластину, вона встановлена на валу без його обертання, а також одні або кілька кріплень, механічно з'єднаних між опорною пластиною. Усі насадки мають впливати на поведінки потоків сумішів матеріалу в області екранних блоків. Одні або кілька кріплень мають змогу бути закріпленими в різних положеннях на опорних пластин відносно обертового ротору таким чином, що, в залежності від відповідного положення, можуть бути досягнуті різні поведінки потоків сумішів продукту в області екранного блока. Винахід також відноситься до

мішалок для бісерного млина, що має розділювач, і спосіб класифікації суміші матеріалу за рахунок розділювача.

Опис малюнків: На Рисунок 1.11 зображено розділювач 5. На Рисунок 2-4 зображений вигляд екранної плити в проекціях та роторних дисків розділювального пристрою 5 згідно з загальним відомим положенням.

Бісерні млини мають мішалку, що складається з валу 3. На цьому валу розташовані перемішувальний елемент, при чьому перемішувальний вал 3 часто є коаксіальним до розташованих поздовжня вісь циліндричних подрібнювальних камер (не показано) і з боку приводу бісерного млина мішалка в напрямку випускного отвору 4. Робочий орган забезпечує обертання відповідним перемішувальним елементом навколо валу 3 для інтенсивних рухів подрібнювального середовища. Злиття достатніх кількостей подрібнених продуктів відбувається через отвори 4 в нижній частині млина, причому подрібнюючі тіла (бісер) отримують розділювальним пристроєм 5.

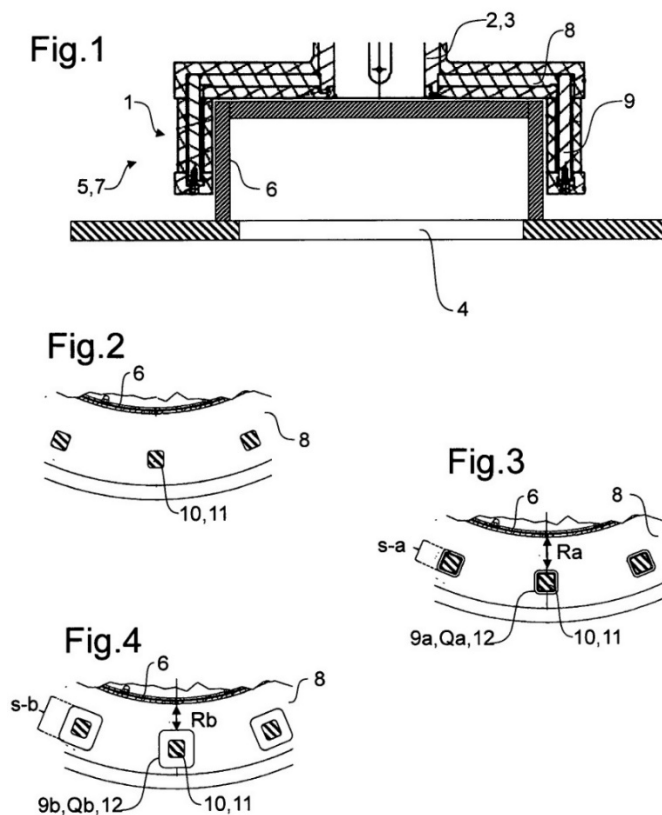


Рисунок 1.11. Розділювальний пристрій бісерного млина

Розділювач 5 проходить через роздільний екран 6, вал 2 і класифікатора 1. Класифікаційний ротор 1 під'єднаний до початку валу мішалки біля випускного отвору, а саме навколо розділювального екрану 6.

Технічний результат: За рахунок даного типу конструкції розділювального пристрою можливо значно покращити розподілення суміші дроблиної суспензії від бісеру.

Номер патенту, країна: EP 1961486 A2 (Японія)

Назва патенту: Диспергуючий або дроблячий агрегат та спосіб диспергування або дроблення з використанням того самого бісеру

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

Мета (задача) винаходу: Збільшення якості готової продукції на виході та інтенсифікувати проце.

Формула винаходу: Продукт, що підлягає подрібнюванню, що містить тверді частинки в рідині, подрібнюють разом із бісером і опромінюють ультразвуковими хвилями (13) під час подрібнення (4), щоб тонко розмелити тверду частинку до нанометрових розмірів і рівномірно розділити тверді частинки в рідині. Ультразвукові хвилі (13) створюють кавітацію в рідинному середовищі, що при розпаду кавітації утворюються ударні хвилі, які змушують тверду частинку енергійно здавлюватися один між одним та з фрезеруючим середовищем, і ці зіткнення, а також сили зсуву викликанні перемішуванням, створювані зіткненням фрезеруючих середовищ, можуть створювати в наночастинки, що мають середній розміри частинок не більше 100 нм.

Опис винаходу: Млин має ємність 2 (Рисунок 1.12), в якій обертається ротор 4. Ротор 4 з'єднаний напряму з ведучим валом 3, який приводить в обертання будь-яким відповідним джерелом приводу для обертання ротора 4. Ємність 2 має порт 5 для введення подачі подрібнювального середовища (бісерні, кульки) у ємність та продукт порту подачі 6 для введення суспензії, що

підлягає обробці, наприклад, суспензія у вигляді твердих речовин та рідини у посудину 2.

Ротор 4 має порожнисту, трубчасту форму з суцільним гладким внутрішнім та зовнішнім поверхностями. За можливістю можуть бути передбачені внутрішні та зовнішні поверхні ротора 4 з проекціями відповідної форми для сприяння переміщенню дисперсних середовищ та суспензії, що підлягає обробці. Ротор 4 оснащений одним або більше отворами 7 ротора для відкриття спеціальних місць для надання циркуляції дисперсного середовища ззовні всередину, і навпаки.

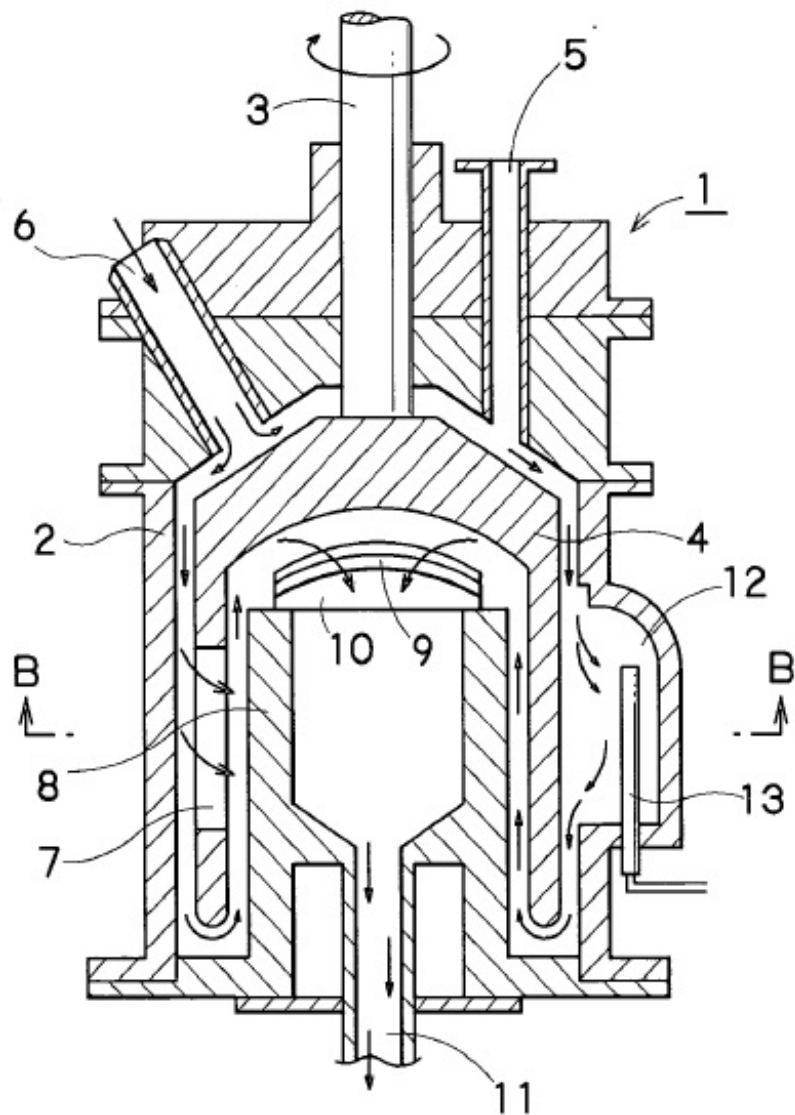


Рисунок 1.12. Диспергувальний апарат

Технічний результат: За рахунок даного типу конструкції бісерного млина в поєднанні з ультразвуковою оброблення можливо значно покращити та інтенсифікувати процес дроблення суспензії.

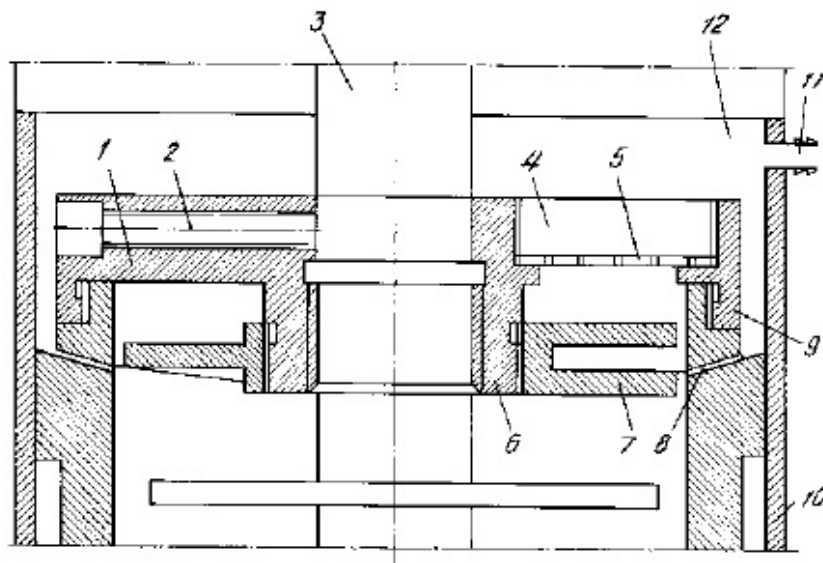


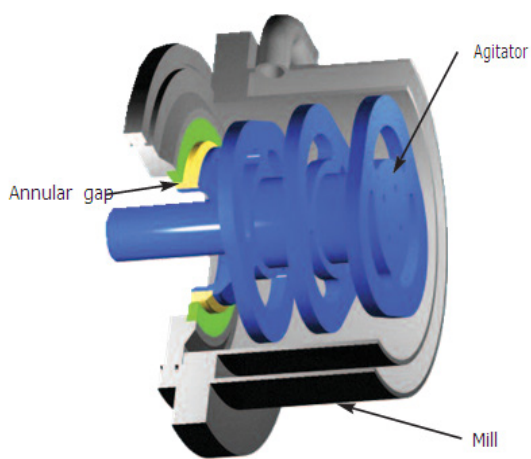
Рисунок 1.13. Сепаратор

Опис винаходу: Сепаратор (Рисунок 1.13) має будову з корпусу 1, виготовленого у вигляді чашки, зафіксованого з можливим поздовжнім регулюванням. Елементи закріплення 2 корпусу 1 розміщені радіально до валу 3. Корпус має отвори 4 під сітку 5 і втулку 6, на який встановлений диск 7, виготовлений у вигляді шнеку і розташований нижче зон виходу готового матеріалу, що представляє собою регулюючий щілинний зазор 8. Зовнішній обід 9 корпусу 1 виготовлений у вигляді циліндричного стакану. У верхній частині корпусу 10 бісерної млини розміщені отвори 11 для виходу готового матеріалу із зони накопичення 12.

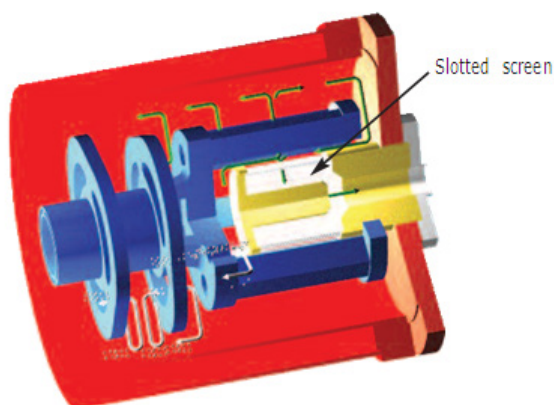
Технічний результат: За рахунок даного типу конструкції сепаратору ми маємо можливість досягти високої якості відділення тіл, що мелють від готового матеріалу, можливість регулювати щілинного зазору в межах збільшення його в процесі роботи без демонтажу млина, надійності в експлуатації, поєднання з простотою конструкції та експлуатацією розглянутого сепаратора і технологічності його виготовлення.

При досяганні потрібного гранулометричного складу (розміру частинок) суспензія виводиться з бісерного млина за рахунок сепаратору-відділювачу. Відділювачі можуть бути декількох типів: обертовий, класифікувальний типу, класифікувальний ротор без фільтра та з фільтром, ротаційного типу, або інші різновиди ротора сепаратора.

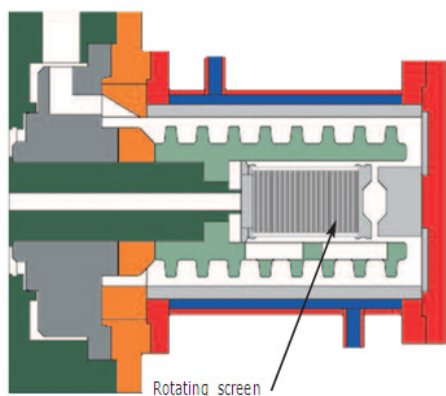
Найпростішим та найбільш поширеним є обертовий сепаратор (Рисунок 1.5.1. а), в яких використовують кільцеві зазори між обертовим внутрішнім кільцем та нерухомим зовнішнім, виробництво з твердих керамічних матеріалів.



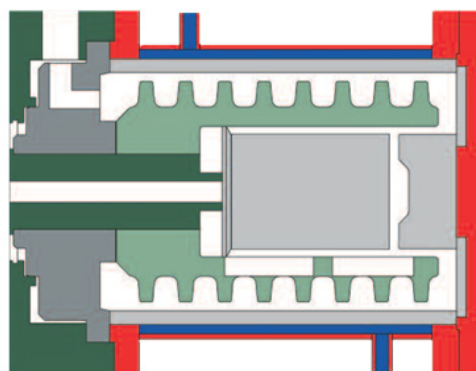
а. Обертальний сепаратор



б. Класифікувальний (динамічний класифікувальний насадковий)



в. Класифікувальний вал (ротаційного типу)



г. Класифікувальний без фільтру (класифікатор з відкритою динамікою).

Рисунок 1.14. Види конструкцій сепараторів для відділення продукту від бісеру

Класифікувальний ротор, так званий динамічний класифікувальний сепаратор (рисунок 1.5.1. б), закріплений до ротору млина і має нерухомий жорстко закріплений щілинний фільтр. Апарат застосовує відцентрові сили аналогічним повітряному класифікатору. Диск робочого органу млина,

найближчий до вихідної сторони млина, подає бісер назад до вхідного жолоба млина, в той час як за рахунок відцентрової сили, викликана робочим органом і дисками, виштовхують подрібнювальний матеріал з вихідного отвору. Щілинний фільтр не дозволяє виходити бісеру з млина під час увімкнення млина до того, як він досягне робочих обертів, і при виключенні, поки він сповільнюється. Фільтр також не допускає виходу з млина побитих кульок. Розмір отворів фільтруючого елементу напряму залежить від розміру робочих тіл: як правило кожен отвір фільтруючого елементу становить від половини до однієї третини діаметра кульки. Так, якщо розмір бісеринки зміниться, фільтр також повинен бути замінений на відповідний.

Одна зміна класифікувального робочого органу ще більше збільшує відцентрову силу, обертаючи фільтр з валом мішалки (Рисунок 1.5.1. в). Це надає гарантії поділу системи «бісер-суспензія», навіть в тих випадках коли в'язкість збільшується під час процесів диспергування або дроблення. Це особливо корисно при застосуванні дуже малих робочих тіл і відносно низьких швидкостей робочого органу, для процесів м'якого диспергування.

Як варіант класифікувального ротора можуть бути використані для суспензій з низькою в'язкістю, в яких бісеринки з малою ймовірністю будуть виділятися разом з продуктом. Цей сепаратор являє собою класифікувальний ротор без фільтруючого елементу, відомий як класифікатор з відкритою динамікою (Рисунок 1.5.1. г). В таких типових сепараторах є кількість очевидних переваг: на самперед змінні розміри бісеру, таким чином можна використовувати без змін розміри фільтра; зменшення розміру робочих тіл від зносу при тривалій експлуатації не є для такого виду сепараторів вагомою проблемою; підключення фільтру неможливо; значною мірою менше збільшується тиск в млині, що призведе до підвищення продуктивності; частини пристрою легко розбираються і очищається, за рахунок простоти конструкції.

1.7. Аналіз магістерських робіт за темою досліджень за 2018-21 роки

Процес надтонкого подрібнення компонентів лікарських та косметичних засобів досліджується магістрантами ОП «Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв» із 2017 року.

Першим вказав на актуальність цієї тематики та запропонував її як тему для кваліфікаційних робіт доцент кафедри Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв Микола Десик.

Перший дослідник та першопроходець – магістрант Катерина Грінінг. Починаючи із 2018 року, Катерина Грінінг провела аналіз наукової та практичної проблеми надтонкого подрібнення компонентів лікарських та косметичних засобів, розробила методику досліджень, провела розяснювальну роботу із підприємствами косметичної галузі щодо передачі Університету експериментального обладнання – бісерного млина та вимірювальних приладів – універсального вимірювача потужності, сили струму та напруження, система автоматичного керування експериментальним стендом, систем вимірювання температури охолоджувальної рідини та подрібнювальної системи тощо.

Ще будучи магістранткою, Катерина Грінінг апробувала результати роботи на міжнародних конференціях в Україні, Болгарії, Румунії та Білорусі, налагодила творчі зв'язки із молодими вченими цих країн, та домовилася про використання лабораторної бази закордонних університетів для проведення досліджень. Крім того, Катерина провела курс лекції із тонкого та надтонкого подрібнення англійською мовою для магістрантів із Південно-Африканської республіки, які навчалися в одній із сусідніх країн (нині – країні-агресорі) за ОП «Технологія та технічне забезпечення процесів перероблення сільськогосподарської сировини».

Вступивши до аспірантури, Катерина Грінінг постійно залучала до виконання досліджень творчу позитивну молодь.



Рутинна робота над дослідженнями

Слід виділити магістрантів, які зробили вагомий внесок у теорію та практику надтонкого подрібнення:

1. Руслан Гордейчук, магістрант у 2019-20 роках. Нині – фахівець фармацевтичної компанії «Артеріум». Визначив вплив часу подрібнення і режимних параметрів процесу на розмір частинок подрібнювальної суспензії, а також провів попередні дослідження із визначення енергетичних параметрів процесу.



Магістрант Руслан Гордейчук і аспірант Катерина Грінінг налаштовують експериментальний стенд на основі бісерного млина

2. Святослав Михайлишин. Магістрант у 2019-20 роках. Визначив вплив складу суспензії та часу подрібнення на реологічні властивості суспензії. Вклав значний внесок у налагодження та випробування експериментальних стендів для надтонкого подрібнення та визначення реологічних властивостей.



Магістрант Святослав Михайлишин виконує дослідження реологічних властивостей подрібнювальних суспензій (фарбувальних матеріалів для косметики)

3. Анатолій Яцюк. Магістрант у 2020-21 роках. Налагоджував експериментальні стенди, опрацьовував результати досліджень, написав багато тез доповідей і статей. Пізніше зрозумів, що наукова робота йому не цікава. Нині успішно працює на фармацевтичному підприємстві «Фарма Старт».



**Магістрант Анатолій Яцюк збирає переданий фірмою «Астра Косметик» бісперний
млин**

4. Олександр Запорожець. Проводив визначення реологічних показників подрібнювальної суспензії, налаштовував експериментальний стенд. За пропозицією румунських колег робив спроби подрібнити (зруйнувати) стінки клітин пивних дріжджів, але робота була не завершена. Отримав диплом другого ступеня за найкращу доповідь на міжнародній конференції в Університеті «Штефан чел Маре», Румунія. Після цього зрозумів, що наукова робота йому не цікава і більше до неї не повертався.



Магістрант Олександр Запорожець вивчає руйнування стінок клітин пивних дріжджів у бісерному млині

Нині дослідженням процесу надтонкого подрібнення займаються магістранти Костянтин Омеляненко і Павло Яремчук під керівництвом та моральною підтримкою асистента кафедри МАХФВ Катерини Грінінг. Серед невирішених задач, які вони досліджують, слід виділити:

- Вплив часу подрібнення, геометричних параметрів (виду робочих органів та їх розташування, розміру бісерінок) та режимних параметрів (швидкість обертання ротора) на гранулометричний склад подрібнювальної суспензії, енергетичні параметри (виділення теплоти), роботу і потужність процесу.

– Удосконалення конструкції бісерних млинів



**Вивчення досвіду із визначення гранулометричного складу суспензій у лабораторії
Університету «Штефан чел Маре» (м. Сучава, Румунія) під керівництвом Йонуца
Аврамії**

Наукова команда секції інжинірингу фармацевтичних та біотехнологічних виробництв вдячна магістрантам минулих років – Руслану Гордейчуку, Святославу Михайлишину, Олександрю Запорожцю за підтримку, відповідальну роботу та отримані вагомні результати.



Проектування та складання робочих вузлів бісерного млина. Магістрант Костянтин Омеляненко

Окрема подяка всім причетним до процесу досліджень:

- Фірмі «Астра Косметик» за передачу експериментального стенду та можливість впровадження результатів досліджень;
- Доценту **Уляні Кузьмик** – за консультації щодо визначення реологічних властивостей;
- Професору **Олександру Гавві** – за консультативну та організаційну підтримку;
- Професору **Володимиру Теличку** – за консультативну та організаційну підтримку;
-
- Доценту **Юлії Теличкун** – за допомогу та оригінальні ідеї щодо оброблення результатів досліджень;
- Аспіранту **Борису Михайлику** – за технічну підтримку;
- Аспіранту **Йонуцу Аврамії** (Університет «Штефан чел Маре», Румунія) – за ознайомлення із сучасними методами досліджень;

- професорам **Станці Дамяновій та Цветану Димитрову** (Болгарія), **Мірча Орояну, Соні Амарісї, Донні Габріелі** (Румунія) – за моральну підтримку, консультації, доступ до лабораторій передових університетів та виробничих баз передових підприємств фармацевтичної та біотехнологічної галузей.
- **Колективу кафедри біотехнології та мікробіології НУХТ** – за доступ до лабораторної бази із визначення гранулометричного складу подрібнювальної суспензії.
- **Асоціації фахівців парфумерної та косметичної галузі** – за позитивні відгуки та розгляд пропозицій технічних рішень процесу надтонкого подрібнення;
- **Експертній групі із акредитації ОПП «Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв»** - за якісний аналіз лабораторної бази кафедри МАХФВ та багаторазове відмічення у звітах ЕК експериментального стенду для надтонкого подрібнення;
- Асистенту кафедри МАХФВ **Катерині Грінінг** – за організацію всього вищезгаданого.

Висновки

1. Вибір способів подрібнення продукту напряду залежить залежить від фізичних властивостей і розмірів подрібнювальних матеріалів. Неможливо застосовувати лише один спосіб, треба їх комбінувати. Для дроблення твердих та крихких продуктів використовують роздавлювання; для отримання шматків – розколювання та розламування; тонкого та надтонкого дроблення – стирання в комбінації з роздавлюванням та методом ударів.

2. Усі ці існуючі теорії дроблення не відображають на собі правильно процес тонкого та надтонкого подрібнення. Вони враховують в собі тільки геометричні розміри та характеристики подрібнювального матеріалу, незважаючи на ті умови та способи подрібнення.

3. Серед проаналізованих лабораторних стендів, найбільш компактні, універсальні, продуктивні, та енергозберігаючі, з можливим впровадженням у виробництво, мають прості конструктивні рішення, та ефективні в процесі диспергування та гомогенізації, з високими вимогами до дроблення продукту (до 1 мкм), такими являються саме бісерні млини. Незважаючи на їх недоліки, бісерні млини являється популярним для дроблення пігментних паст, кремів в косметичному виробництві та для виробництва мазей, гелів, паст, лініментів у фармацевтичній промисловості.

4. Серед проаналізованих сепараторів відділювачів готової продукції від робочих тіл найбільше зарекомендували себе класифікувальні сепаратор (динамічний класифікувальний картридж) за рахунок того, що він застосовує відцентрову силу аналогічну тій що застосовується у повітряному класифікатору, а щільний фільтр не дозволить виходити бісеру з млина під час набирання або скидання швидкості робочого органу.

Таким чином, на основі проведених аналітичних оглядів встановлено таку мету і завдання досліджувальних робіт:

Мета: визначити зміни в гранулометричному складі суспензій лікарських та косметичних засобів під час оброблення в бісерному млині.

Завдання дослідження:

1. Зробити аналіз способів дроблення;
2. Зробити аналіз теорій дроблення;
3. Зробити аналізи наявних обладнань для надтонкого дроблення;
4. Зробити аналіз сепараторів для відділення готової суспензії від робочих тіл;
5. Зробити методіку дослідження та експериментальну установку;
6. Провести експериментальні дослідження та прорахувати їх результати, а саме:
 - залежності розміру частинок та гранулометричного складу суспензії під час подрібнення;
5. Застосувати результати досліджень для модернізації наявного обладнання.

Розділ 2

Матеріали та методи досліджень

2.1. Об'єкт і предмети досліджень

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

Предмети досліджень:

1. Зміна гранулометричного складу продукту під час подрібнення;
2. Бісерні млини для надтонкого подрібнення
3. Компоненти лікарських та косметичних засобів, які потребують надтонкого подрібнення.

2.2. Дослідна лабораторія і лабораторна база

Досліди проводилися на базі Національного університету харчових технологій в лабораторії інжинірингу фармацевтичних та біотехнологічних виробництв кафедри машин та апаратів харчових та фармацевтичних виробництв.

2.3. Матеріали досліджень та підготовка зразків

В якості модельних тіл було обрано суспензії на основі рицинової олії та пігменту залізоокисного «Червоний 120».

Використання рицинової олії в якості компонента модельного тіла обумовлено тим, що вона входить у склад багатьох кремів та мазей як складова речовина і розчинник для АФІ. Крім того, рицинова олія активно використовується в якості складової речовини для багатьох косметичних продуктів декоративного та доглядового призначення.

Пігмент залізоокисний «Червоний 120» був обраний як замітник наповнювачів м'яких лікарських засобів, таких як тальк, діоксид титану та інших порошкоподібних матеріалів. За рахунок низької собівартості, високої покривної здатності, термостійкості, широкому спектрі використання та кольорометричного ефекту, даний продукт оптимально підходить для дослідницьких цілей.

Зважаючи на перераховане вище, вибрані компоненти модельного тіла максимально буде відтворювати технологічний процес в реальному фармацевтичному та/або косметичному виробництвах.

Рицинова олія рафінована Ph. Eur. - натуральний продукт, рослинна олія з плодів рицини звичайної (рисунок 2.1.). Основним компонентом є гліцерид рицинолевої кислоти (цис-12-гідроксіоктадецен-9-інова кислота). До складу також входять гліцерин, протеїни, рицитин, алкалоїди, лектини і вітамін Е.

Олія має такі фізичні якості (таблиця 2.1): прозора, в'язка, безбарвна або світло-жовтого кольору, жирна, легкозаймиста рідина; запах слабкий, особливий, смак своєрідний, неприємний. Цей продукт є невисихаючою олією, розчинною в етанолі, бензолі, хлороформі та сірковуглеці. Низька токсичність декстрази. Має Сильну адгезивну здатність.



Рисунок 2.1

Табл. 2.1.

Специфікація рицинової олії рафінована Ph. Eur (Рисунок 2.1) від виробника «Gustav Heess» (сертифікат якості від 11.12.2020)

1. Властивості	
Хімічна назва	Castor oil
Хімічна формула	C ₅₇ H ₁₀₄ O ₉
Випускна форма	Рідина
Номер CAS	8001-79-4
Назва INCI	Ricinus Communis Seed Oil
Номер EINECS	232-293-8
Харчова добавка	E 1503
Середня молекулярна маса	290-300
2. Технічні характеристики	
Загальний вміст жирних кислот, %	96
Динамічна в'язкість при 20°C, мПа×с	1000
при 40°C, мПа×с	200
Температура кипіння, °C	313
Температура самозаймання, °C	449
Температура замерзання, °C	-12
Температура займання (відкритий тігель), °C	229
Розчинність, г/100 мл при 20 °C	< 0,1
Показник заломлення	0
Кислотне число (не більше)	1,5
Вміст води (не більше), %	0,25
Число омилення, мг КОН/г	176-186
Йодне число	82-88
Відносна густина при 25 °C, кг/м ³	955-968
3. Клас небезпеки	
Звільнено від обов'язкового регулювання згідно з Додатком II № 9 Регламенту Комісії (ЄС) № 987/2008 про внесення змін до Регламенту (ЄС) № 1907/2006 REACH щодо Додатків IV і V. Не класифікується як небезпечний відповідно до Регламенту CLP (ЄС) № 1272/2008, Директиви 67/548/ЄС або Директиви 1999/45/ЄС.	
4. Перевірка якості	
Паспорт безпеки згідно з Регламентом (ЄС) 1907/2006	

Рицинова олія має широке застосування у фармовиробництві, косметології та харчових виробництвах. У фармовиробництві часто застосовується в кремах і мазях у концентрації 5–12,4% як складовий продукт і розчинник для багатьох АФІ (у дерматологічних мазях, в рідинах які мають спиртові включення, лініментах, еластичному колодії, мазі від обмороження та інші) та в/м ін'єкцій, а також як пігмент при виробництві таблеток і капсул. Є складовою багатьох косметичних препаратів, різного роду направлення.

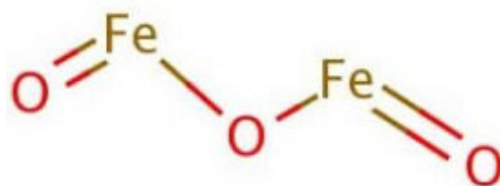
Пігмент червоний 120 залізоокисний (Iron Oxide Red 120) (таблиця 2.2) – неорганічний синтетичний пігмент, темно-червоний або червоно-коричневий порошок трикристалічної системи. Має гексогональну структуру (гематит).

Табл 2.2.

Специфікація пігменту залізоокисний червоний 120 від виробника «РЕАТЕКС» (сертифікат якості від 2021 року)

1. Властивості	
Хімічна назва	Diiron trioxide
Хімічна формула	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Випускна форма	Порошок
С.І. (колер-індекс)	P.R. (Pigment red) 101
CAS	1309-37-1
Молекулярна маса	159,69
2. Технічні характеристики	
Вміст основної речовини, %	96 min
Стійкість до світла од. BWS	8
Втрати при нагріві 105°C. %	1,0
Розчинних у воді складових	0,3
Термостійкість. °C	800
Маслопоглинання. мл/100 г	15-25
Залишок на ситі (325 mesh)	0,3 max
Вологість, %	1,0 max
pH водяної витяжки	3,5-7
Втрати при проколюванні (1000 °C, 0,5 годин), %	1,0 max
Температура плавлення, °C	1538

Форма частинок	Сферична
Насипна густина, г/см ³	0,7-1,1
Густина, г/см ³	5,0-5,1
Диспергуваність (ед. Хекмана), μm	20/25/30
Переважний розмір частинок, μm	0,13
Здатність до фарбування (порівняно зі стандартним зразком), %	95-105
ΔE (порівняно зі стандартним зразком)	1,0 max
Гарантія стійкості до світла	30 років
3. Клас небезпеки	
Продукт не класифікується як небезпечний відповідно до ЕС 1907/2006 та ЕС 1272/2008	
4. Перевірка якості	
Продукт проходить випробовування згідно ISO 787	



Пігмент хімічно стійкий, не розчиняється у воді, розчинний у соляній кислоті, сірчаній кислоті, азотній кислоті та спирторозчинний. Під час горіння виділяється кисень, який може бути відновлений до заліза воднем і чадним газом. Безмасляний і водонепроникний. Термостійкий, світлостійкий, кислотостійкий, лугостійкий. Без запаху, без смаку, нетоксичний і незаймистий. Має сильну тонуючу (покривну) здатність, легко змішується в сухих сумішах. Питома поверхня велика, у 10 разів більша, ніж у звичайного червоного оксиду заліза

Група пігментних включень, таких як червоних залізоокисних широко застосовують для виготовлення лакофарбової продукції (грунтовок, фарби, емалі), поліграфічні фарби, а також заповнювачів, підкладок та іншого. Використовують в будівельній промисловості для виробництва штукатурки на основі цементних сполучень, сухих сумішей, фарбування продукції з бетону (покрівельна черепиця, тротуарна плитка, кольорова плитка для підлоги).

2.4. Порядок проведення досліджень

1. Підготовка лабораторного стенду та зразків до дослідження:

1.1. Підготовка композицій А та Б і визначення розмірів частинок.

1.2. Підготовка лабораторного стенду та визначення потужності холостого ходу електродвигуна.

2. Дослідні роботи з композицією А (рициною олією):

2.1. завантаження дослідного зразка у стакан для проведення досліду (вимірювання потужностей, температури холодоагентів протягом часу);

2.2. миття обладнання.

3. Дослід з композицією Б (продукт основою якого являється рицинова олія та пігмент залізоокисний Червоний 120).

3.1. загрузка композиції у робочу ємність та проведення досліду (вимірювання потужностей, температурних режимів холодоагенту, розміри частинок суспензії протягом часу дроблення);

3.2. миття обладнання.

4. Аналізування отриманих даних.

2.5. Опис експериментальних стендів

В якості об'єкта модернізації було обрано вертикальний млин, який використовується для дроблення матеріалів фармацевтичної, хімічної, косметичної, лакофарбової та в деяких інших галузях промисловостей, для отримання матеріалу мікро і нанорозмірів частинок (рисунки 2.2 і 2.3).

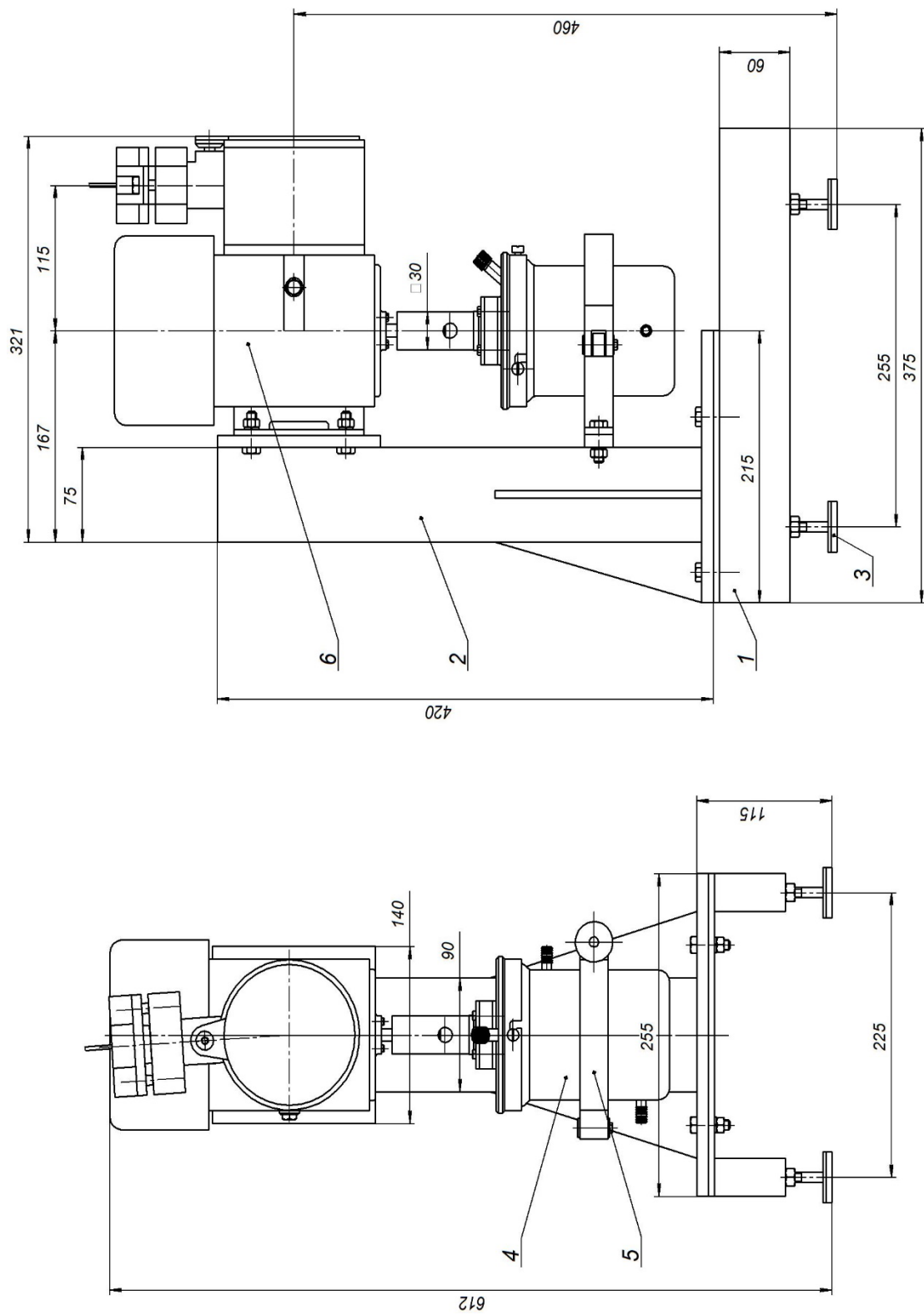


Рисунок 2.2. Лабораторний бісерний млин

1 - станина;

2 - тримач;

3 - стійки;

4 - стакан;

5 - хомут;

6 - двигун асинхронний;

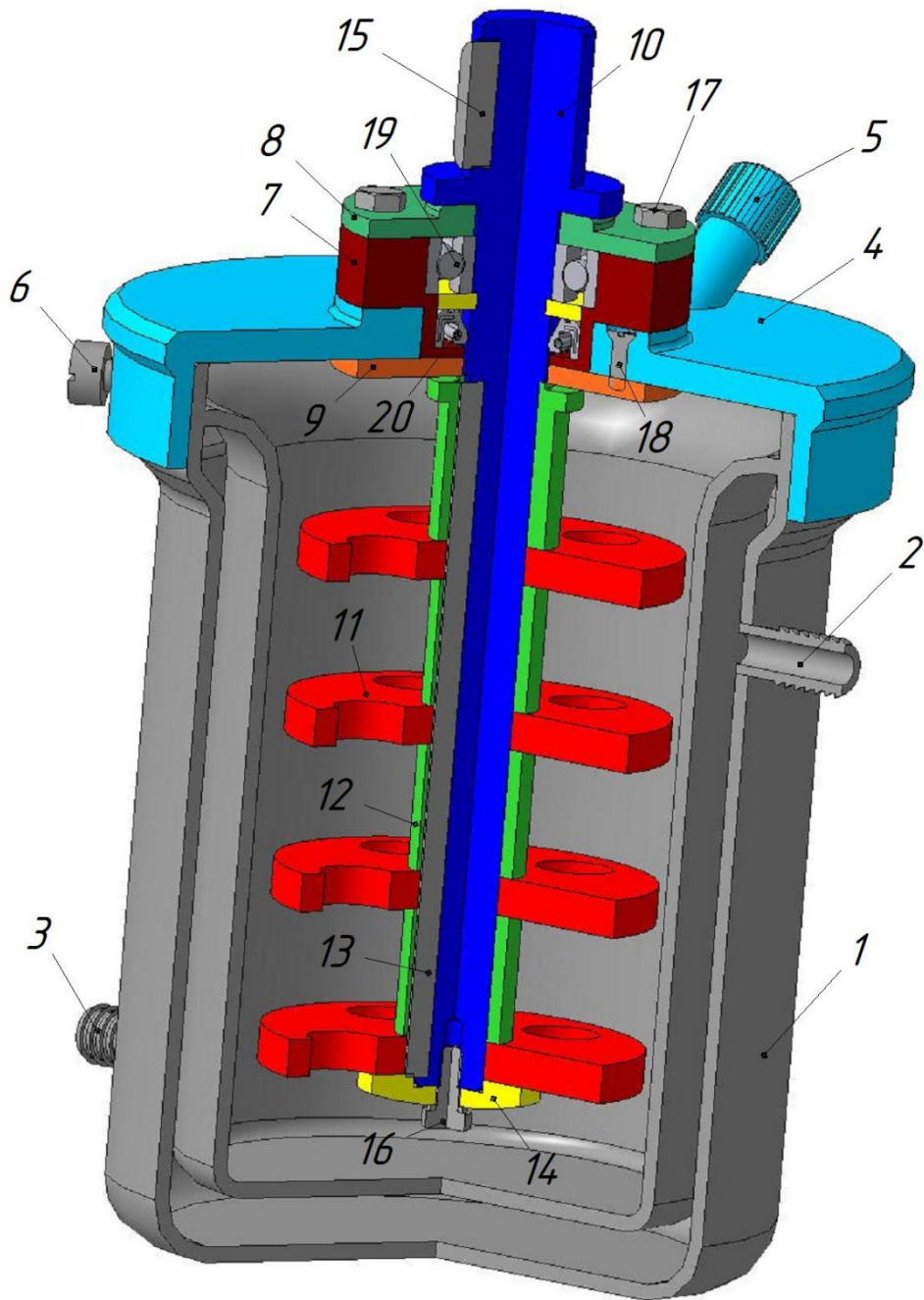


Рисунок 2.3. Вертикальний бісерний млин

1 - корпус; 2 - кришка; 3 - фланець; 4 – кришка сквозна; 5 - вал; 6 - диск; 7 – втулка розпірна; 8 – втулка проміжна; 9 – шайба прижимна; 10 – штопорне кільце; 11 – гумове ущільнення; 12 - шайба; 14 – болт; 15 – болт потайний; 16 – сальник; 17 – підшипник; 18- шпонка 1; 19 – шпонка 2.

Бісерний млин вертикального типу, основною його відмінністю від інших млинів, являється розташування робочого органу вертикально. В даному випадку на Рис 5.1.1.1. зображений млин, не для виробничих потреб малої продуктивності, а млин який ідеально підходить для проведення лабораторних експериментів, по впливу різних факторів на процес подрібнення, це і різноманітні варіації зі швидкостями ротора, різновидністю бісера, диски ротора різних форм та розмірів, час подрібнення, визначення цих залежностей та інші.

Для того щоб краще зрозуміти за рахунок чого відбувається обертання робочого органу млина, як відбувається фіксація робочої камери, та взагалі з чого він складається, розглянемо горизонтальний млин (рисунки 2.2, 2.3). з погляду його механіки та будови його комплектуючих.

Даний млин як усі інші має в своїй будові станину, яка фіксується до плоскої платформи за допомогою болтових з'єднань, а та в свою чергу тримається на чотирьох регулюючих по висоті стійках. Якщо уважно глянути на будову станини можна зрозуміти, що вона має жорстко зафіксовані косинці, у нижній та верхній її частині, для збільшення надійності загальної конструкції.

У верхній частині станини зафіксований асинхронний двигун з допомогою болтових з'єднань, через спеціальні фторопластові проставки для зменшення вібрації. Для того щоб мати можливість регулюванню висоти двигуна, в проставці та самій напрямній пластині зроблені спеціальні сковзні горизонтальні виборки для болтів двигуна.

Під асинхронним двигуном (таблиця 2.3), за допомогою хому та з внутрішньої частини якого зафіксовані фторопластові накладки, фіксується корпус 1 робочої камери. Для передачі крутного моменту від двигуна до ротора, застосовується металева втулка, яка жорстко фіксується на валу двигуна, та легко насаджується на вал ротора через шпонку 1.

Знаючи яким чином передається крутний момент від двигуна до ротора, розглянемо більш детальніше будову робочої камери та її нюанси.

Перш за все стакан в якому відбувається подрібнення продукту, виконаний із нержавіючої сталі, яка з середини відполірована для кращого руху продукту

підчас обертання валу. Сам корпус виконаний по типу «подвійне дно», завдяки такій конструкції можна значною мірою забезпечити відведення надмірного тепла, від сировини що подрібнюється за рахунок підведення охолоджуючої води до проміжного прошарку в корпусі робочої камери. Для правильної циркуляції охолоджуючої речовини, в корпусі зафіксовані вхідний зверху та вихідний з низу трубки, в діаметрі 11мм для підключення відповідних технологічних шлангів. У верхній частині корпусу зафіксовані три штіфти рівномірно розміщені по зовнішньому краю корпусу для фіксації кришки 2.

Най цікавішим в будові вертикального млина являється кришка 2, адже в її будові знаходиться рушійний орган процесу над тонкого подрібнення-ротор, яка фіксується за допомогою відповідних пазів, до штіфтів корпусу герметично.

Почнемо з того, що в центрі кришки насаджений з невеликим натягом фланець 3, для посадки в нього підшипника 17 радіального 102. Зверху над фланцем встановлюється кришка підшипника наскрізна 4 яка разом із фланцем з допомогою чотирьох болтів зтягується до тіла кришки в якій відповідно нарізана різьба, з допомогою чотирьох болтів М4×20. Нижче під підшипником в обов'язковому порядку ставиться штопорне кільце 10, для запобігання руху валу по вертикальній осі під час обертання. Так як подрібнююча маса має рідинну форму, в кришці проведено ряд запобігань попадання рідини до підшипника, у вигляді встановлення сальника 16 та кришки ущільнюючої 11, яка фіксується завдяки чотирьом потайним болтам (15) М4×10.

Коли усі комплектуючі кришки складені на свої місця, можна встановити вал 5 який сідає через верх кришки в підшипниковий вузол 17. З іншої сторони під кришкою по всій довжині валу знаходиться шпонака 19, відносно якої проводиться набір втулок 8 та дисків 6 по чергово (втулка диск), але першою від кришки 11 становиться втулка розпірна 7, аж потім усі інші. Для фіксації набраних по технології рушійних частин ротора, застосовується шайба прижимна 9 та шайба болт 12,14.

Підчас процесу подрібнення велике значення має слідкування за параметрами процесу, для цього даний млин може додатково облаштовуватися

універсальним приладом, який знімає енергетичні параметри. А саме можна спостерігати за швидкістю обертання двигуна, та використаної кількості енергії за час подрібнення продукту, від початку процесу і до його завершення. Також застосовують змінну ємкість з холодоагентом який циркулює за допомогою насосу. Для слідкування за температурою води охолодженої використовуються датчики на вхід та вихід з охолоджуючого прошарку робочої камери.

Після проведення процесу подрібнення продукту, для відділення бісерної маси від продукту застосовується зливна пробка 13 на зовнішній стороні якої розташовану ситовідділюване.

Табл.2.3.

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
cosφ	0,72
ККД	71,2%
Частота обертів	1350 об/хв
Вага	14,5 кг
ТУ 16-525-722-87	

Гріндометр «Клин» (Рисунок 2.7 в) призначені для аналізу агломератів та розміру частинок при визначенні ступеня подрібнення під час випробування пігментованих суспензійних матеріалів в різних діапазонах вимірювання.

Табл. 2.4

Технічні характеристики гріндометр «Клин»

Діапазон вимірювання	0-100 мкм (ІСО 1524)	
Ціна поділки шкали	10мкм	
Межа абсолютної похибки	+/- 10мкм	
Довжина оцифрованої частини клинчастої вимірювальної шкали	140мм	
Середнє арифметичне відхилення профілю Ra вимірювальної поверхні плити і поверхні кромки леза скребка	0.4- 0.63	
Габарити	Вимірювальна плита	175×35×20 мм
	Скребок	60×40×6 мм
Вага	1.1 кг	

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

Табл. 2.5

Технічні характеристики електронного термометра ТРМ-10

Розміри(Д х Ш х В), мм	47 х 29 х 15
Діапазон вимірюваних температур	від -50 °С до +100 °С
Дискретність виміру	0,1 °С
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 (Рисунок 2.93) 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.



Рисунок 2.4. Фотографія експериментального стану .

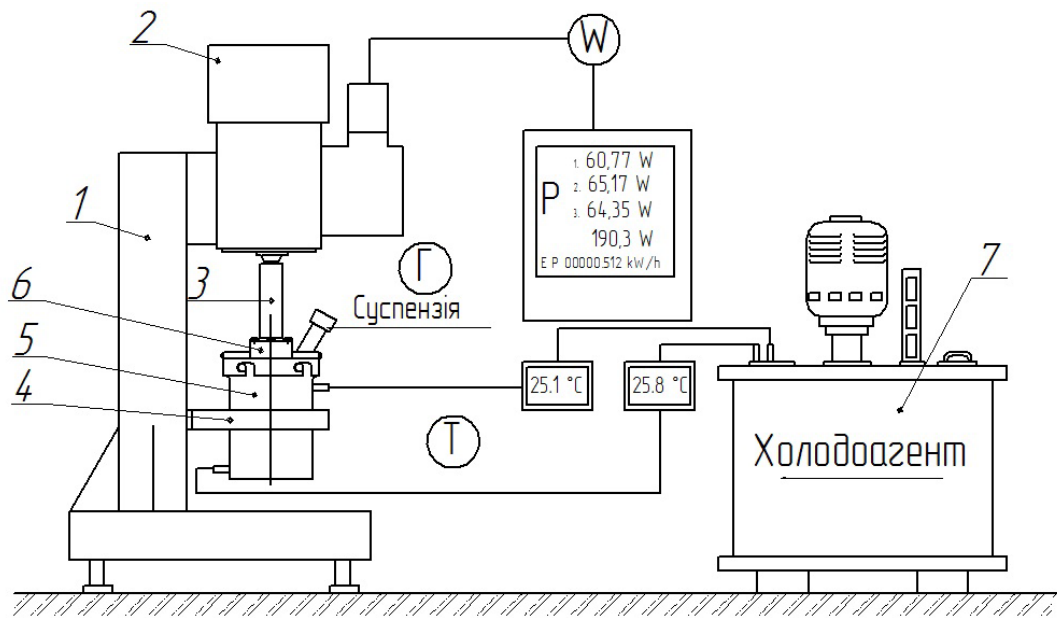


Рис.2.5. Експериментальний станд – бісерний млин лабораторний.
 1 – станина; 2 – двигун; 3 – пряма передача; 4 – зажим; 5 - стакан; 6 – кришка
 стакану; 7 - циркуляційний насос.
 А – вимірювання потужності мультиметром; Т – вимірювання температури
 термометром; Г – вимірювання розміру частинок суспензії гриндометром
 «Клін».

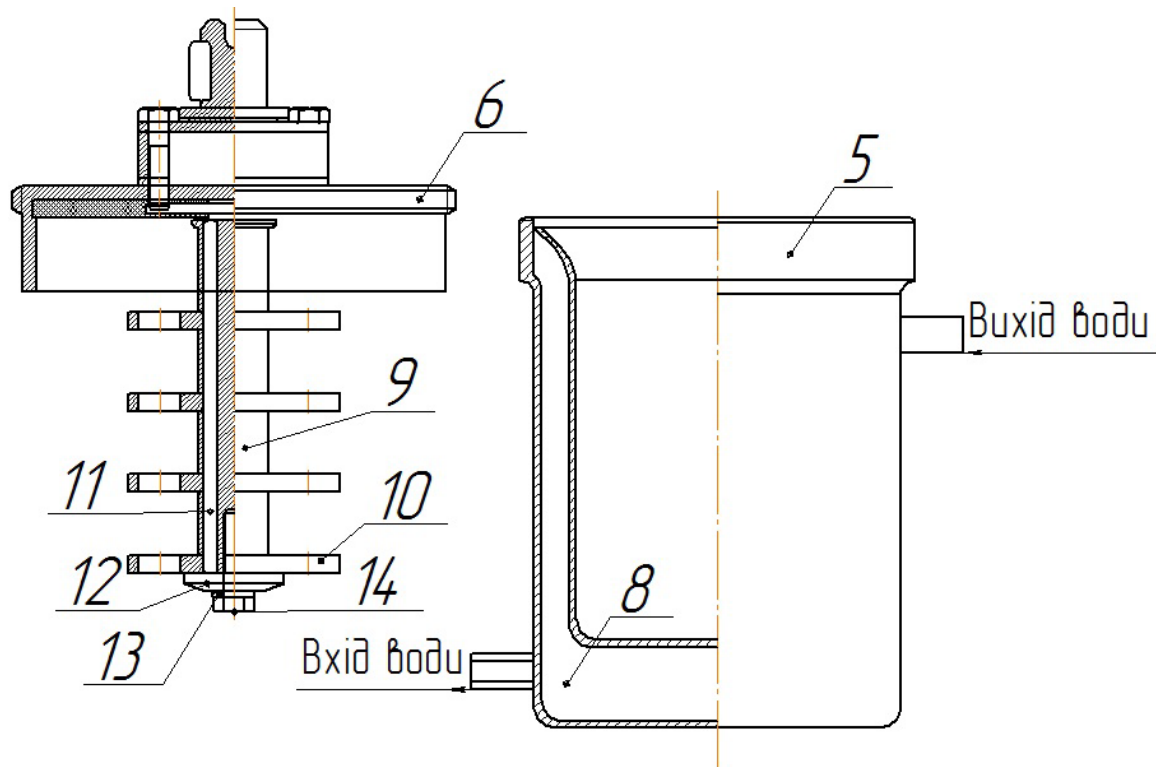


Рисунок 2.6. Експериментальний стенд. Робоча камера:
 5 – стакан; 6 – кришка; 8 – сорочка; 9 – вал; 10 – диски; 11 – шпонка;
 12 – шайба; 13 – шайба; 14 – болт.



Рисунок 2.7. Робочі тіла – бісер. Скло, діаметр 2 мм.



Рисунок 2.8. Робочий орган лабораторного бісерного млина

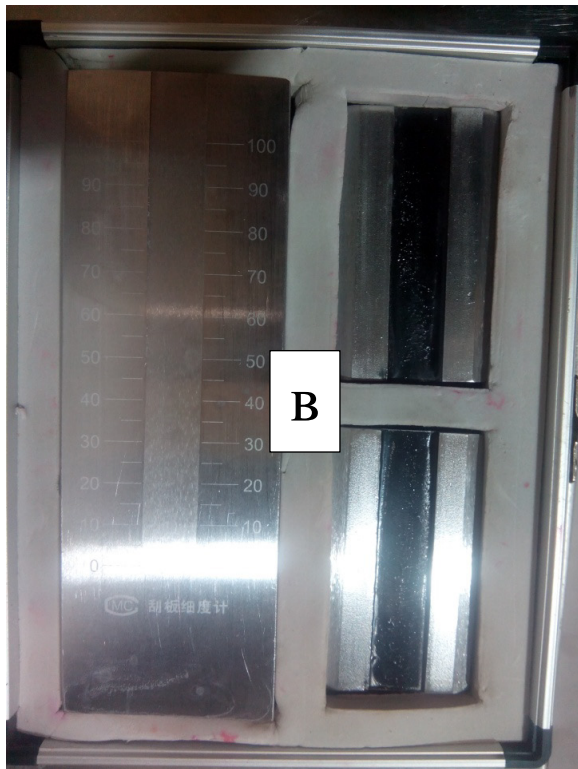
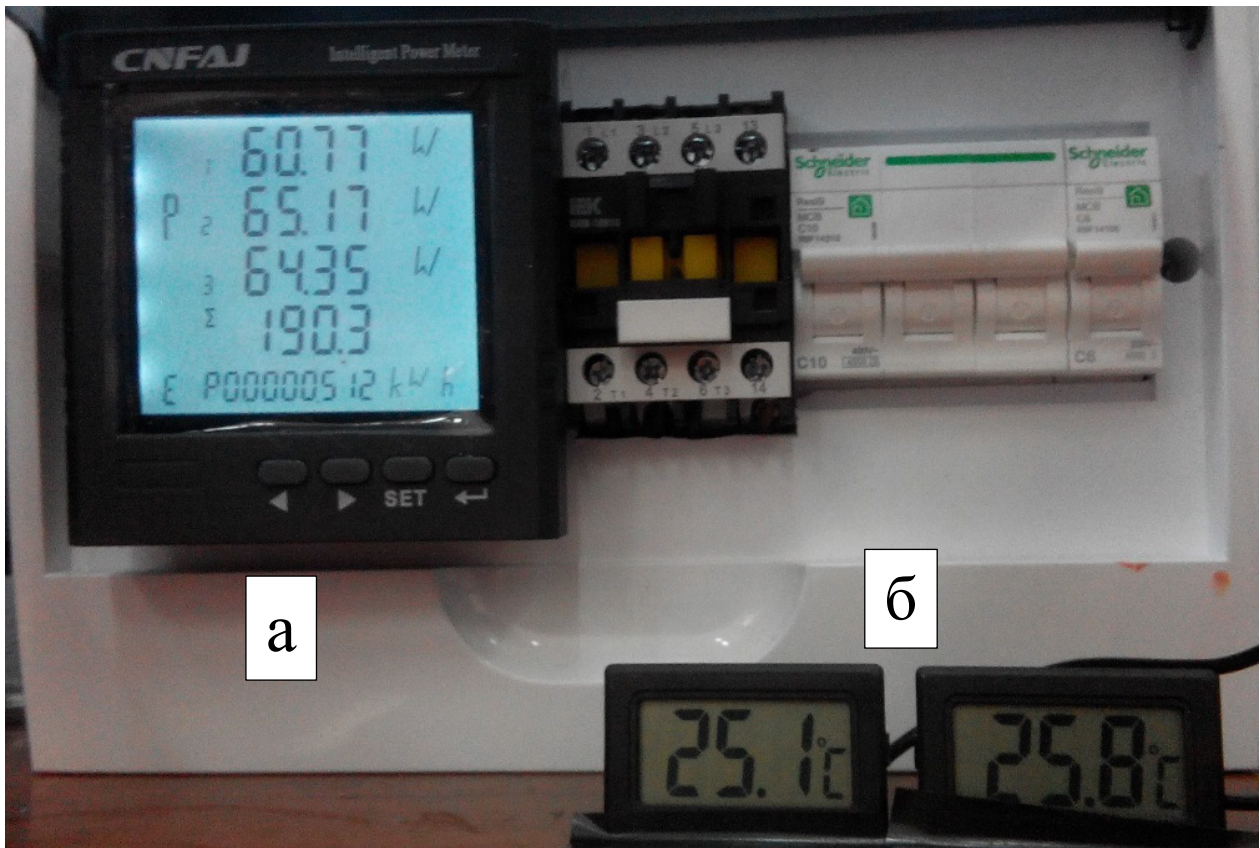


Рисунок 2.9. Прилади для зняття результатів дослідів:
 а – багатофункціональний лічильник потужності (мультиметр) CNFAJ Intelligent Power Meter;
 б – електронні термометри ТРМ-10; в – гриндометр «Клин».

2.6. Методика визначення гранулометричного складу

Блок вимірювання гранулометричного складу складається зі світлового мікроскопу ULAB XSP-128M та камери MikrOkular Full HD.

Світловий мікроскоп монокулярний ULAB XSP-128M обладнаний ахроматичною оптикою з чотирьома окулярами (4X, 10X, 40X та 100X) і застосовується для наукових досліджень. Тубус монокулярний, довжиною 160 мм та здатний обертатися на 360°. Конденсор Аббе з ірисовою діафрагмою, закриття або відкриття якої здійснюється обертанням кільця, та числовою апертурою N.A. = 1.25, що відповідає числовій апертурі 100X об'єктиву. Предметний столик подвійний механічний площею 110×126 мм та площею переміщення зразка 60×32 мм. Апарат оснащений механізмами попереднього і точного фокусування з двосторонніми коаксіальними регуляторами: їх обертання плавно пересуває предметний стіл уздовж вертикалі. Для управління координатним переміщенням зразка у площині столика зі шкалами Ноніуса по осях X та Y використовуються коаксіальні гвинти, розташовані збоку. Мікроскоп оснащений галогенною лампою 6 В 20 Вт з регулюванням освітлення для підсвічування зразка.

Камера Bresser MikrOkular Full HD – цифрова окулярна камера, що встановлюється замість штатного окуляра та дозволяє фотографувати та записувати відеоролики. Для проведення дослідження гранулометричного складу композицій необхідно для кожної композиції робити окремі зразки. Так, робилося дослідження суспензії 60/40 % (композиція Б) та суспензії 80/20 % (композиція В).

Підготовка проб відбувалася аналогічно з проведенням дослідження питомої та теплової енергії процесу надтонкого подрібнення, але зупинка проходила в чітко визначений термін. Після взяття необхідної кількості досліджуваного матеріалу через пробовідбірник, його закривали і запускали лабораторний стенд далі. По закінченню часу проведення дослідження (45 хвилин), робочу камеру та бісер розбирали, мили засобом для миття, а отримані проби суспензії піддавалися аналізу.

**Характеристики камери Bresser MikrOkular Full HD за технічним
паспортом**

Максимальна роздільна здатність, пікс	1920×1080 (Full HD)
Число мегапікселів	2,07
Чутливий елемент	CMOS
Розмір чутливого елемента, мм	5,86×3,28
Розмір пікселя, мкм	3×3
Посадковий діаметр, мм	23,2
Можливість запису фото	є
Формат файлів (фото)	*.jpg, *.bmp, *.tif, *.png
Можливість запису відео	є
Формат файлів (відео)	*.avi
Вбудований УФ/ГЧ-фільтр	є
Вихід	USB 2.0
Системні вимоги	Windows 7/8/10, порт USB, CD-ROM
Корпус	метал
Програмне забезпечення	CamLabLite

У камері встановлено світлосильний CMOS-сенсор, який дає змогу знімати з роздільною здатністю Full HD.

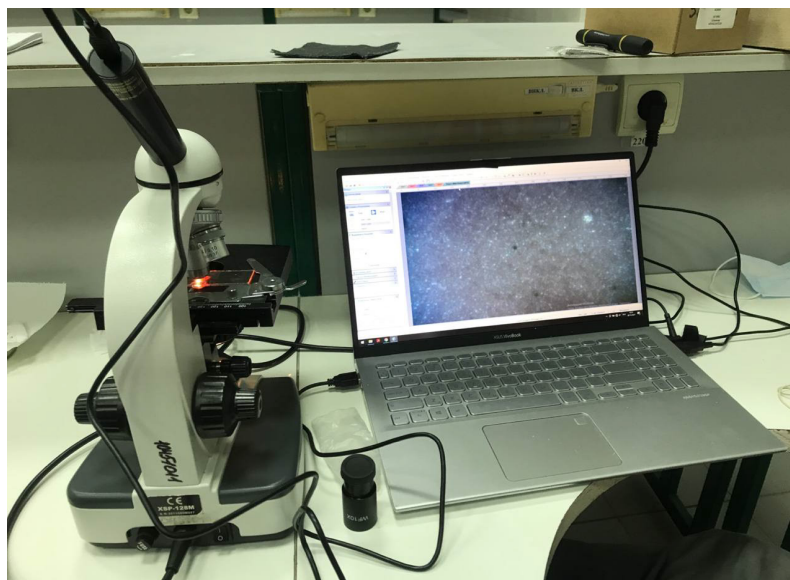


Рисунок 2.10. Експериментальний стенд дослідження гранулометричного складу

Дослідження гранулометричного складу проводилося на базі навчально-наукової лабораторії кафедри Біотехнології та екологічного контролю методом світлової мікроскопії за методикою підрахунку лейкоцитарної формули крові.

На один кінець добре вимитого і знежиреного предметного скельця без подряпин наносять краплю досліджуваної суспензії величиною з "просяне зерно". Потім роблять мазок за допомогою допоміжного предметного скельця. При цьому допоміжне скельце прикладають до основного скельця під кутом 45° і швидко просувають його до протилежного кінця скельця. Не слід сильно натискати на скло, так як при цьому можуть зруйнуватися часточки твердої фази суспензії. Мазки мають бути рівномірними, тонкими, закінчуватися «віничком». Після цього готовий препарат кладуть на предметне скло та проводять підрахунок частинок твердої фази суспензії.

Підрахунок частинок твердої фази суспензії проводять по усій поверхні мазка, пересуваючи предметне скло меандрами. Кожне поле зору фотографується за допомогою окулярної камери з розширенням 1920×1080 (Full HD). Рахують всі частинки, що підряд зустрічаються в полі зору (всього 100 – 200 штук).

Отримані фотографії піддавали контрастному забарвленню. Отримували площу кожної частинки, обводячи її по краю (програма сама рахує площу та показує довжину окружності частинки). Далі розраховували діаметр кожної частинки.

Приймаємо, що кожна частинка має округлу форму. Тоді:

$$d = 2 \times \sqrt{\frac{S}{\pi}},$$

де d – діаметр частинки твердої фази суспензії, мкм;

S – площа частинки твердої фази суспензії, мкм².

Отримані результати розподіляють в окремі класи з врахуванням величини частинок твердої фази суспензії та зображують гістограму розподілу частинок суспензії за розмірами.

2.7. Опис програмного забезпечення

ImageJ – програма, що вільно розповсюджується, призначена для аналізу та обробки зображень. Вона написана мовою Java та створена командою розробників із National Institutes of Health. Програма дозволяє виконувати комплексний аналіз зображень, а також відображати технічну інформацію про нього. Поширюється без ліцензійних обмежень як суспільне надбання.

ImageJ дозволяє відображати, редагувати, аналізувати, обробляти, зберігати та друкувати 8-бітні, 16-бітові та 32-бітові зображення. Програма може читати багато форматів зображень, таких як TIFF, PNG, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS, а також raw формати.

Розділ 3. Результати досліджень та їх пояснення

3.1. Вплив часу подрібнення у бісерному млині на розмір частинок суспензії

Суспензія залізоокисного червоного 120 мала, розмір часток та агломератів в середньому 150 μm , а в кінці досліджу – менше 1 μm .

Таблиця 3.1

Розрахунок розміру часток суспензії - залізоокисного червоного 120 під час процесу надтонкого подрібнення

Час, хв	G_1	G_2	G_3	G_c	G_p	Π	Δ	$(G_c - G_p)^2$
0	151	150	149	150	0	0	0	0
3	106	103	91	100	43.9	-56.1	-1.3	3147.4
4	87	79	74	80	40.4	39.6	-1.0	1564.8
6	58	52	40	50	34.3	15.7	-0.5	245.7
12	25	21	14	20	21.0	1.0	0.1	1.0
13	22	18	11	17	19.3	2.3	0.1	5.5
15	16	13	10	13	16.4	3.4	0.2	11.6
16	13	10	6	9	15.1	6.1	0.4	37.4
17	9	7	5	7	13.9	6.9	0.5	48.0
20	6	5	4	5	10.9	5.9	0.5	34.7
25	3	4	3	3	7.2	4.2	0.6	17.9
28	3	3	3	3	5.7	2.7	0.5	7.0
36	3	2	2	2	2.9	0.9	0.3	0.9
39	2	2	1	1	2.3	0.3	0.1	0.1
45	2	1	1	1	1.4	0.4	0.3	0.2
51	2	1	1	1	0.9	-0.1	-0.2	0.02
52	1	1	1	1	0.8	-0.2	-0.3	0.04
53	1	1	1	1	0,7	-0,3	-0,4	0,07
62	1	1	1	1	0,4	-0,7	-1,9	0,43
$(G_c - G_p)^2$								5122.6

Позначення в таблиці:

G_i – розмір часток суспензії з додаванням залізоокисного червоного 120, μm ;

G_c – середній сумарний розмір часток, μm ;

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

Π – абсолютна похибка, μm ;

Δ – відносна похибка, %

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

За результатами розрахунків отримано рівняння для визначення розміру часток на подрібнення суспензії залізоокисного червоного 120 у межах часу від 0 до 60 хвилин:

$$G = 56,142e^{-0,082x}, \mu\text{m}$$

Де x – час подрібнення

Максимальна абсолютна похибка – 56,1 μm ;

Максимальна відносна похибка – 1,9 %

Величина достовірності апроксимації $R^2 = 0,876$.

Всі результати експерименту графічно зображені на Рисунок 3

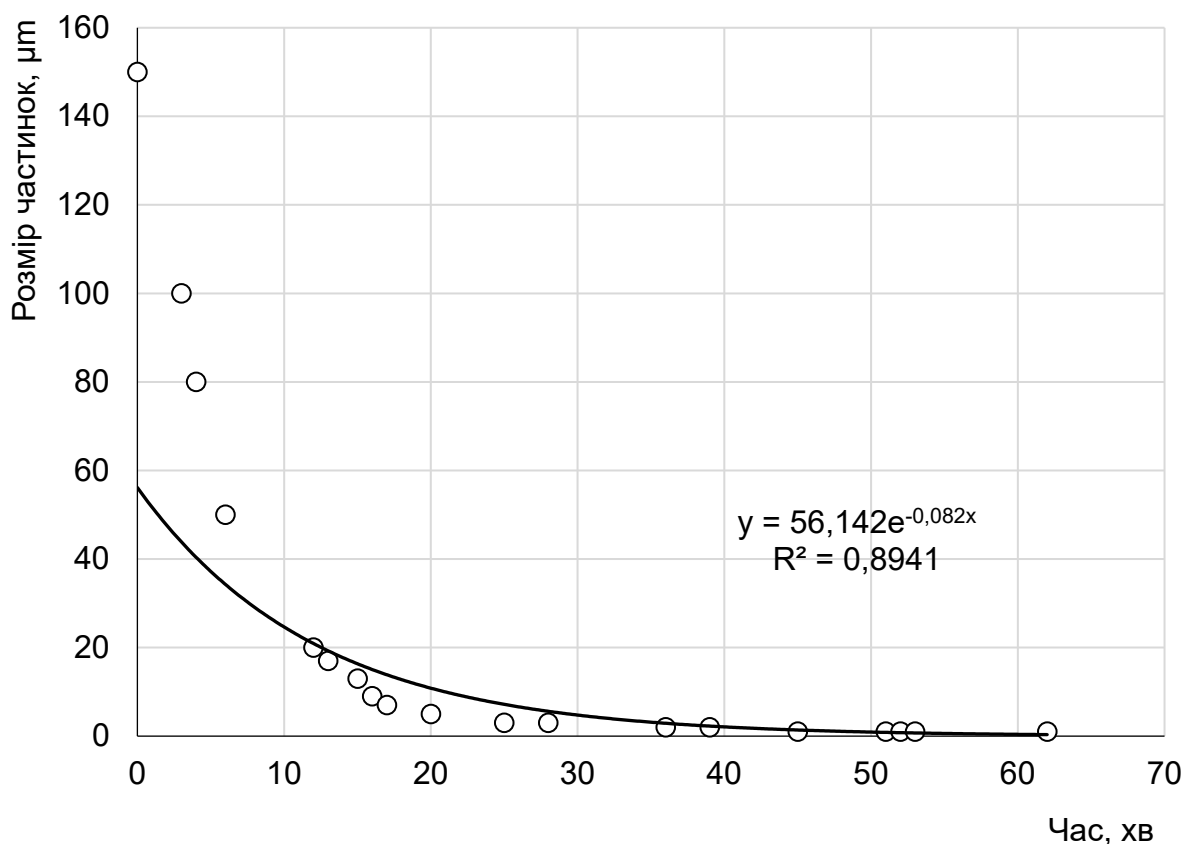


Рисунок 3.1. Зміна розмір часток, μm

Отже, зі збільшенням часу подрібнення розмір часток для обох компонентів стає все меншою.

Це пояснюється тим, що спочатку в суспензії присутні не тільки окремі частинки твердої речовини, а й агломерати, які подрібнюються досить легко. Крім того, чим менше стає розмір частинок, тим більше росте потужність, температура та густина суспензії.

Отримані дані дають змогу побудувати криві ступеня перетиру (Рисунок 2). На початку процесу подрібнення тверда фаза суспензії містить в собі широкий діапазон розмірів частинок і скупчення агломератів, де найбільший діаметр дорівнює 120,63 мкм в композиції 1 та 125,94 мкм в композиції 2. Найбільш інтенсивне подрібнення відбувається в перші 4 хвилини процесу. Найбільший діаметр частинки після 45 хвилин подрібнення становить 7,42 мкм в композиції 1.

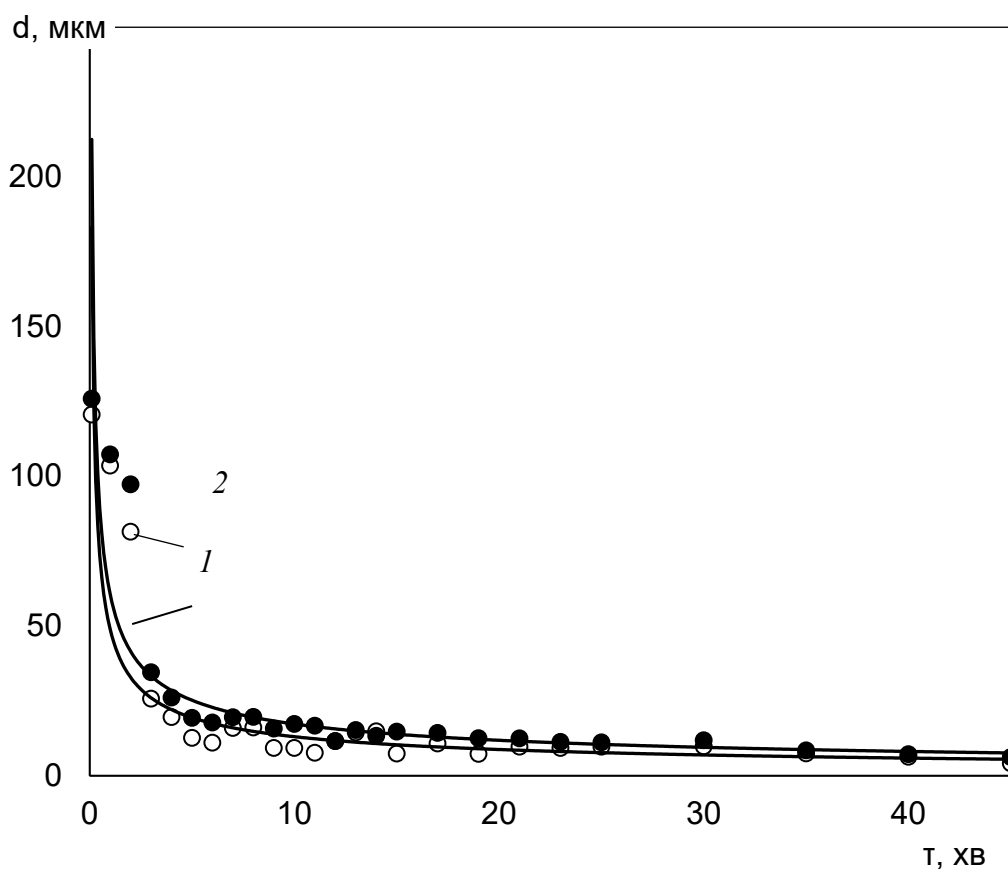


Рисунок 3.2. Ступінь перетиру (розмір найбільшої частинки суспензії) композицій 1 (60/40%) (1) та композиції 2 (80/20%) (2).

У результаті математичного опрацювання експериментальних даних отримано рівняння залежності ступеня перетиру композиції 1 (d_1) та композиції 2 (d_2) від тривалості подрібнення (τ) в лабораторному бісерному млині:

$$d_1 = 48,872\tau^{-0,574} \quad (2)$$

$$d_2 = 60,577\tau^{-0,545} \quad (3)$$

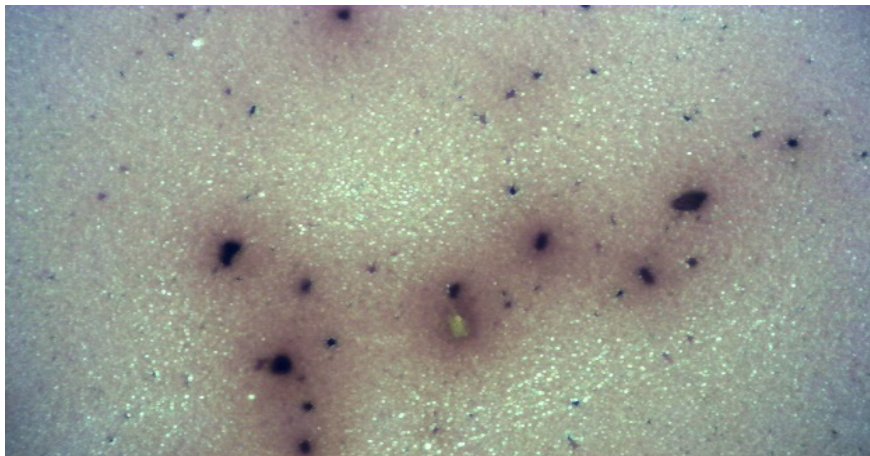
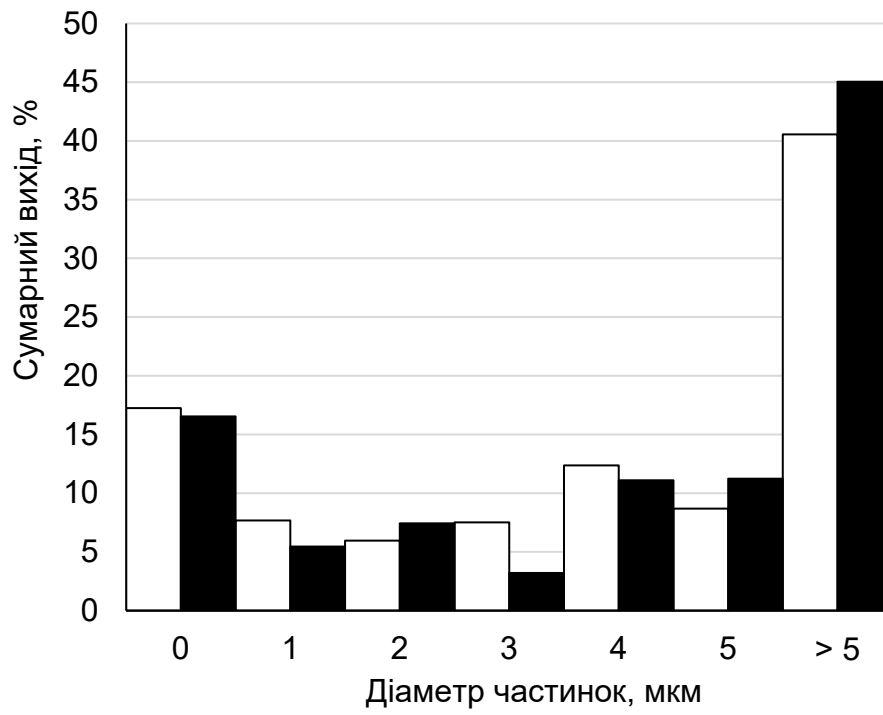
де τ – тривалість процесу подрібнення, хв.

3.2. Зміна гранулометричного складу суспензії під час подрібнення

Протягом процесу подрібнення (від нуля до 45 хвилин) відбувається інтенсивне зменшення розмірів частинок твердої фази суспензій і, відповідно, їхній перерозподіл за класами розмірів. Отримані експериментальні дані дають змогу побудувати серію діаграм розподілу частинок суспензії за класами розмірів у межах досліджуваного часового діапазону для обох композицій (рисунки 3.3-3.12).

Обєднавши всі стовпчики кожної діаграми розподілу плавною кривою, отримуємо узагальнені криві зміни гранулометричного складу суспензії протягом 45-и хвилин подрібнення. Проте, таким кривими користуватися складно, їх багато і вони неіноформативні. Тому, окремо розроблено анімаційне зображення зміни гранулометричного складу, на якому крива «пливе» із кроком у 5 хвилин.

Це зображення доступне у презентації до магістерської роботи.



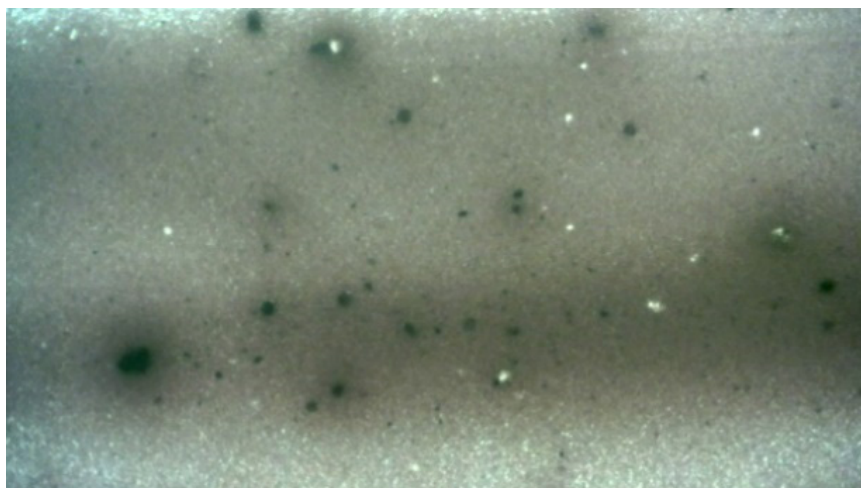
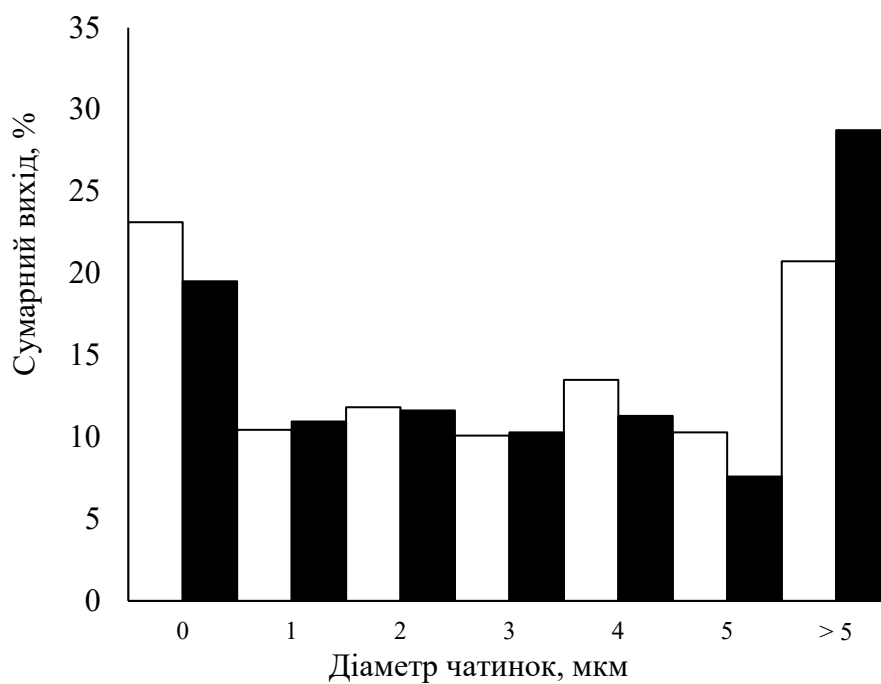
Збільшення у 100 разів

Рисунок 3.3. Розподіл розмірів частинок протягом часу подрібнення у лабораторному бісерному млині

Час 0 хвилин

□ – композиція 1 (60/40%);

■ – композиція 2 (80/20%)

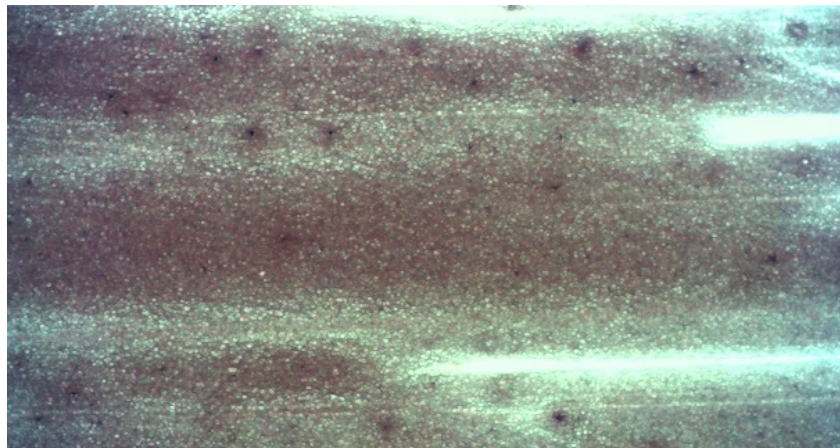
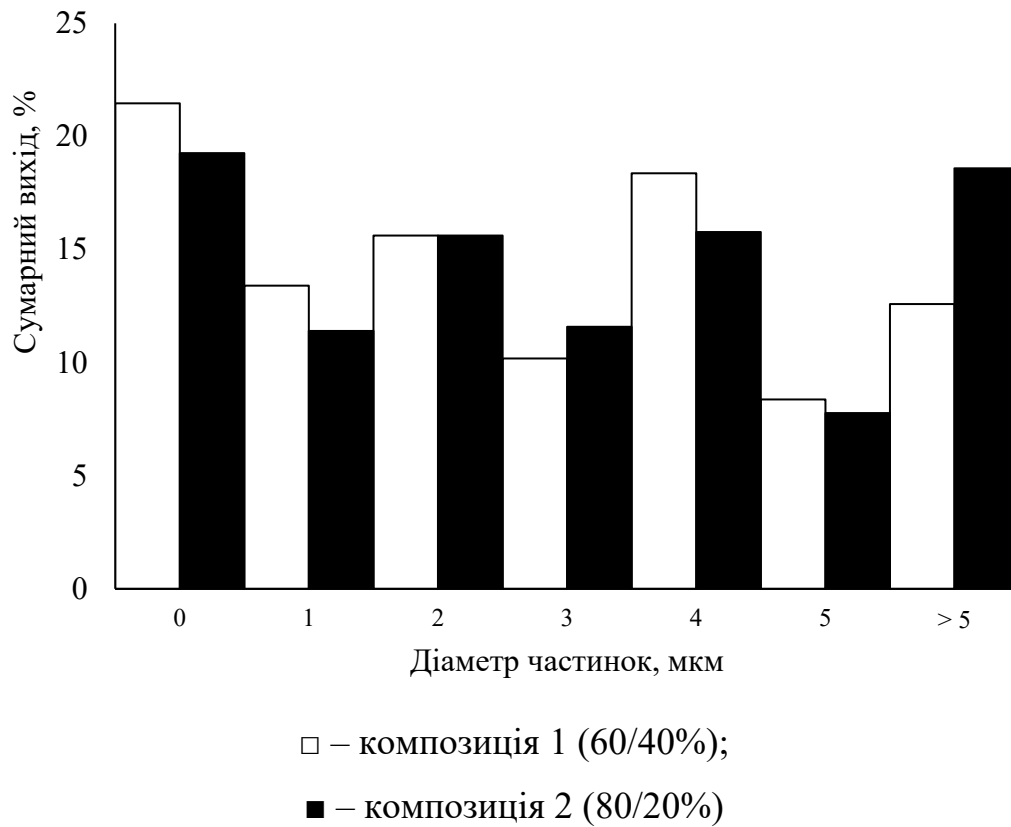


Збільшення у 100 разів

Рисунок 3.4. Розподіл розмірів частинок протягом часу подрібнення у лабораторному бісерному млині

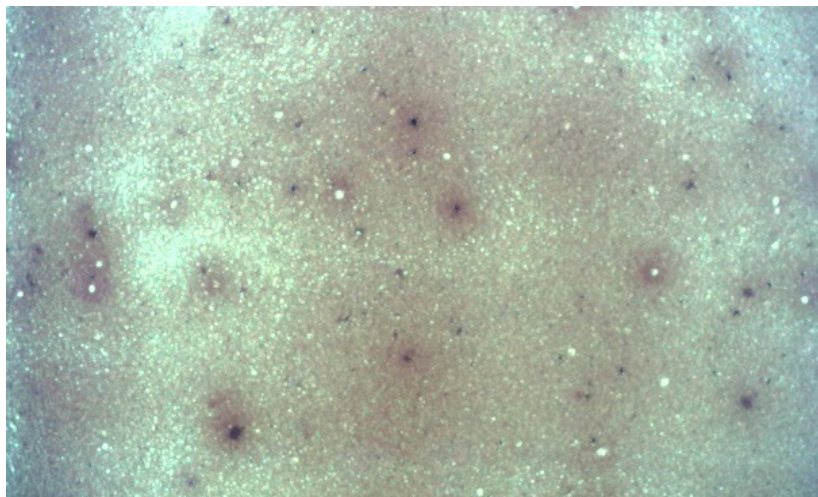
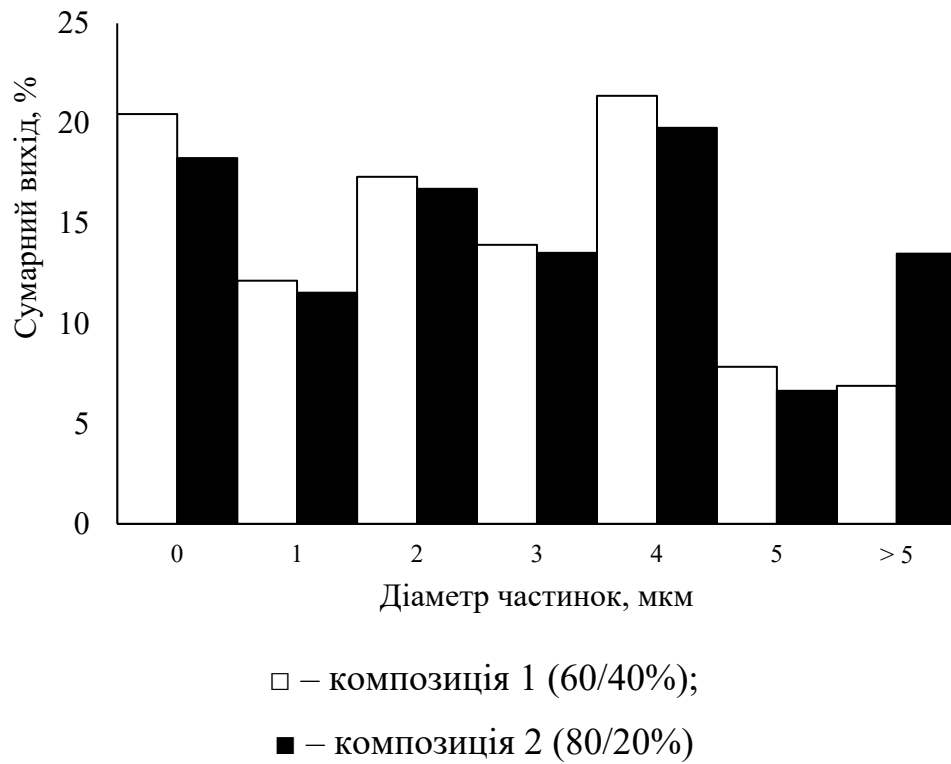
Час 5 хвилин

- – композиція 1 (60/40%);
- – композиція 2 (80/20%)



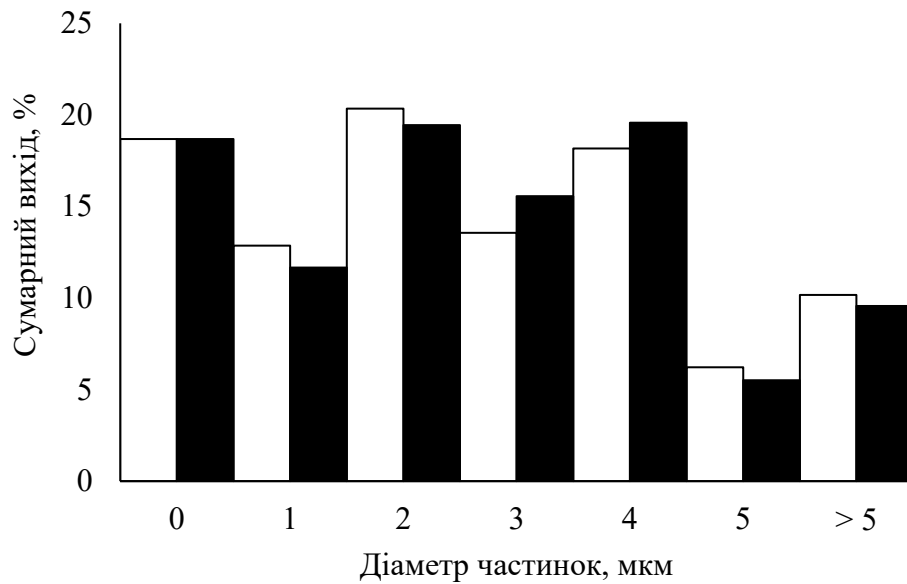
Збільшення у 100 разів
 Час 10 хвилин

Рисунок 3.5. Розподіл розмірів частинок протягом часу подрібнення у лабораторному бісерному млині
 Час 10 хвилин
 □ – композиція 1 (60/40%);
 ■ – композиція 2 (80/20%)



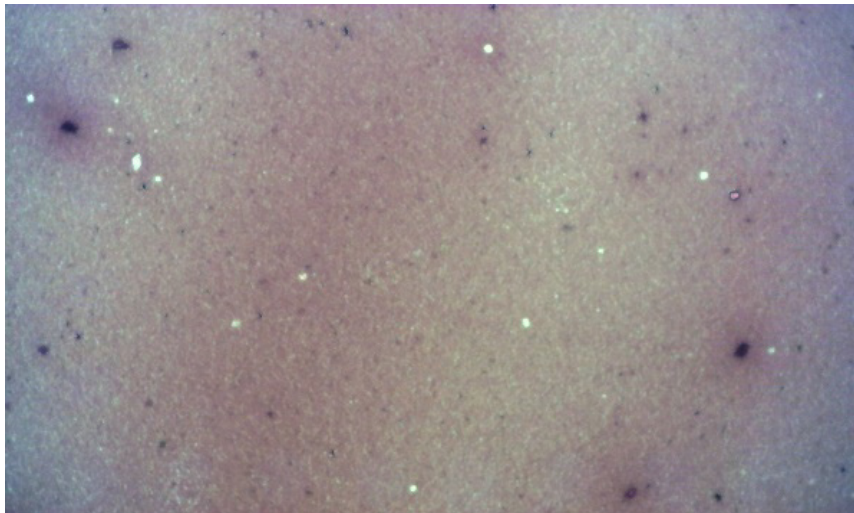
Збільшення у 100 разів
 Час 15 хвилин

Рисунок 3.6. Розподіл розмірів частинок протягом часу подрібнення у лабораторному бісерному млині
 Час 15 хвилин
 □ – композиція 1 (60/40%);
 ■ – композиція 2 (80/20%)



□ – композиція 1 (60/40%);

■ – композиція 2 (80/20%)



Збільшення у 100 разів

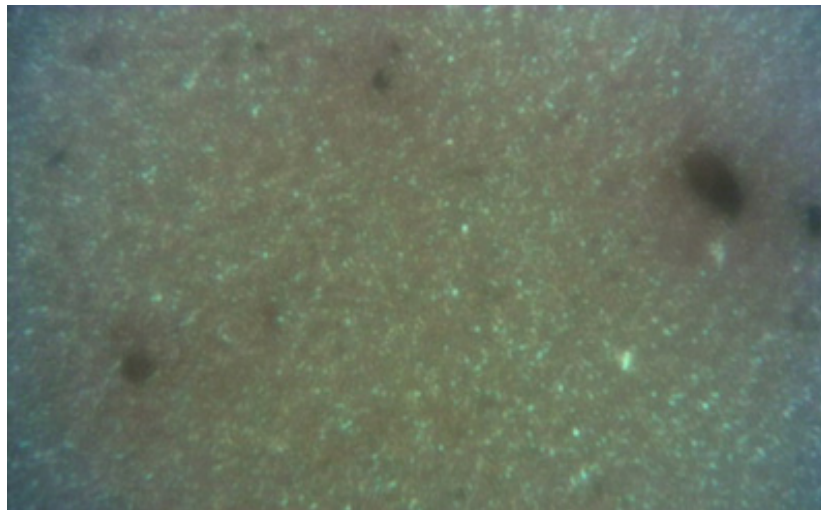
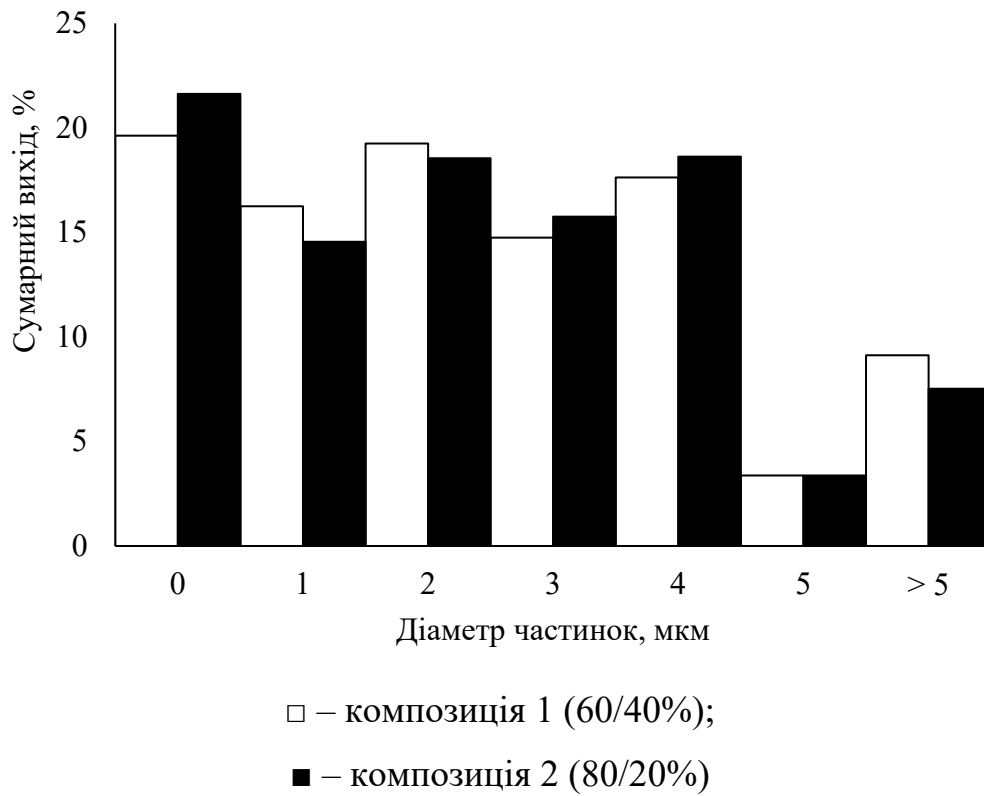
Час 20 хвилин

Рисунок 3.7. Розподіл розмірів частинок протягом часу подрібнення у лабораторному бісерному млині

Час 20 хвилин

□ – композиція 1 (60/40%);

■ – композиція 2 (80/20%)

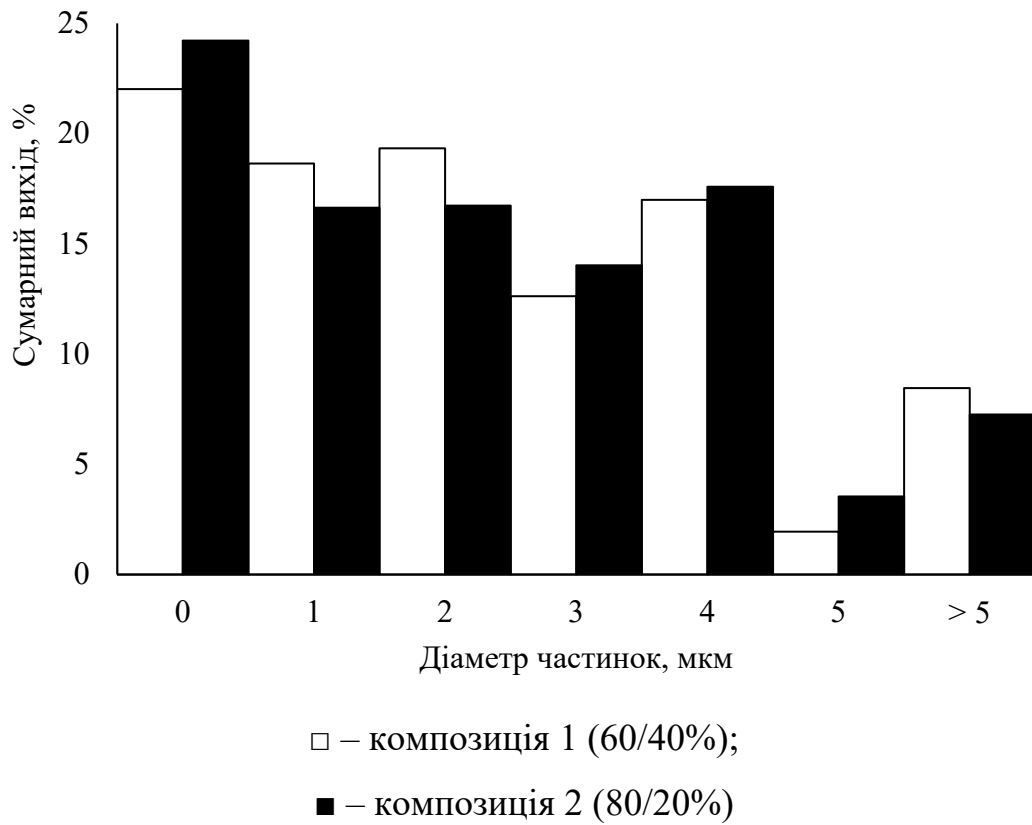


Збільшення у 100 разів
 Час 25 хвилин

Рисунок 3.8. Розподіл розмірів частинок протягом часу подрібнення у лабораторному бісерному млині

Час 25 хвилин

- – композиція 1 (60/40%);
 ■ – композиція 2 (80/20%)

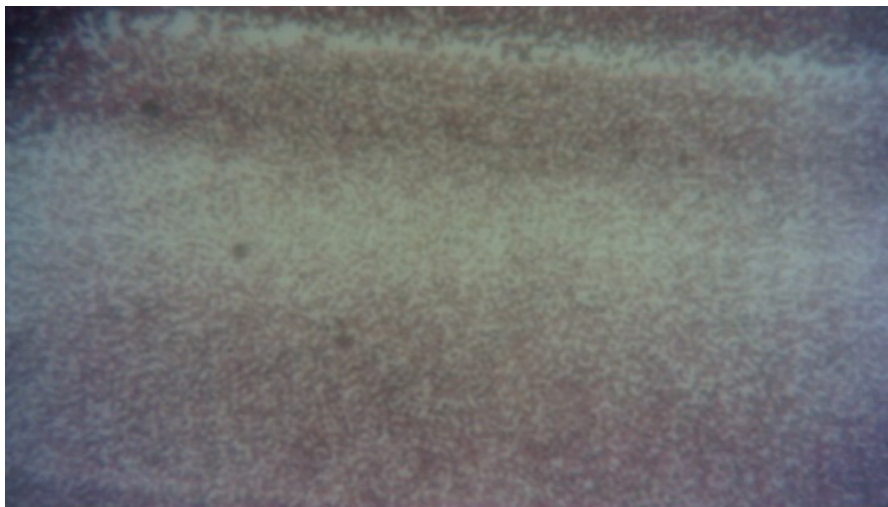
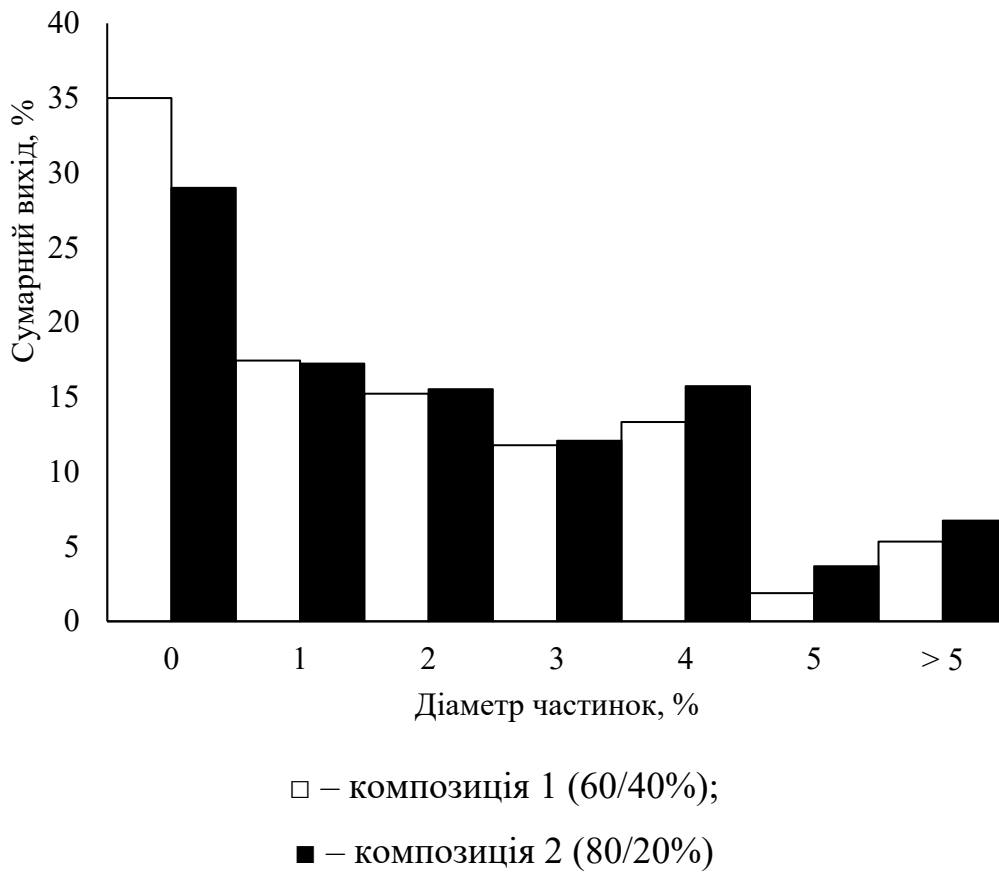


Збільшення у 100 разів
 Час 30 хвилин

Рисунок 3.9. Розподіл розмірів частинок протягом часу подрібнення у лабораторному бісерному млині

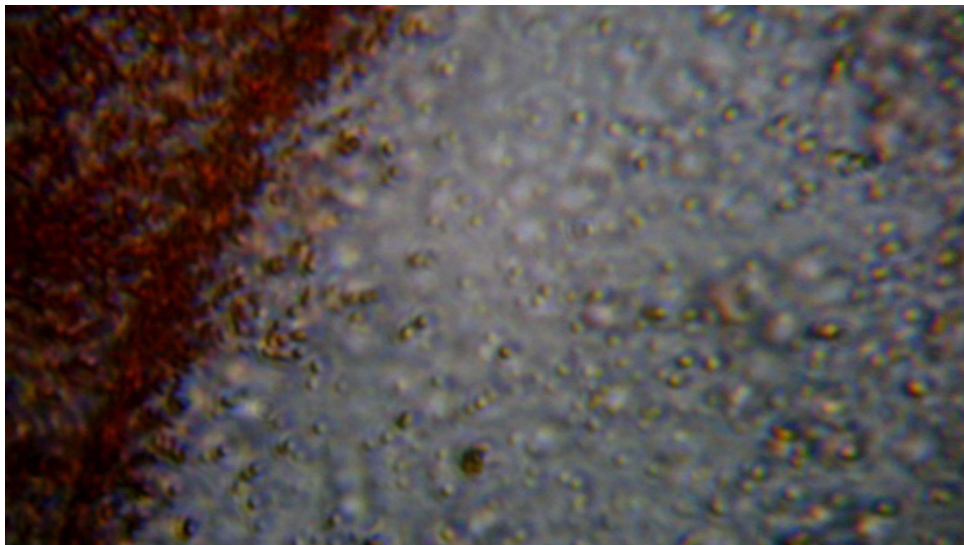
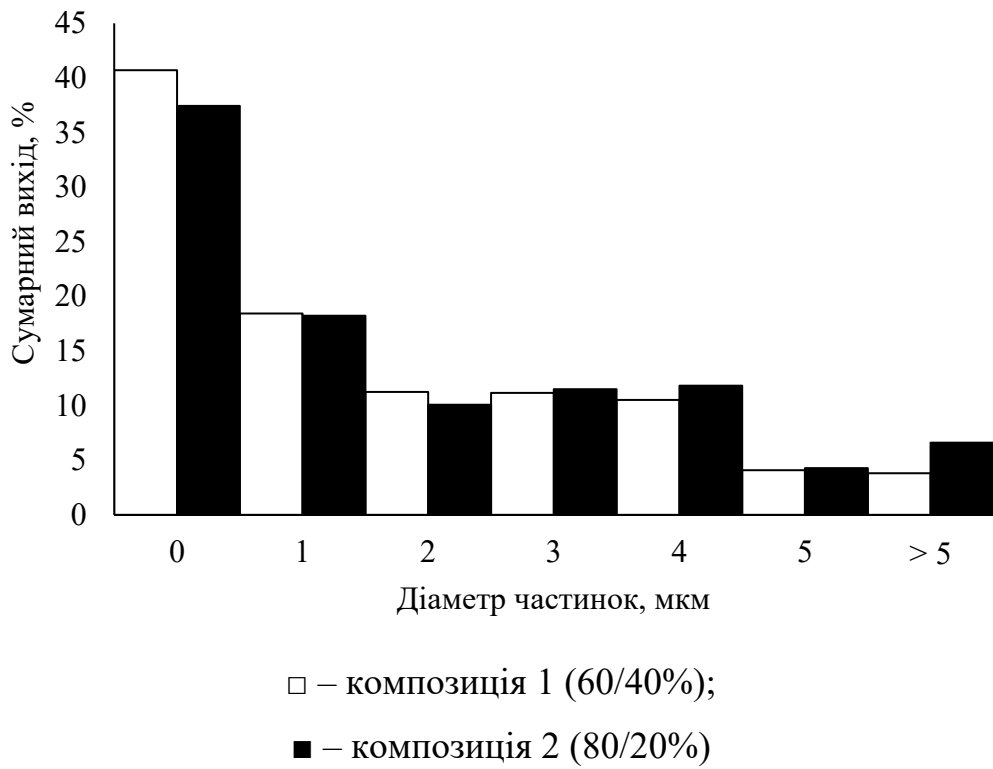
Час 30 хвилин

- – композиція 1 (60/40%);
 ■ – композиція 2 (80/20%)



Збільшення у 100 разів
 Час 35 хвилин

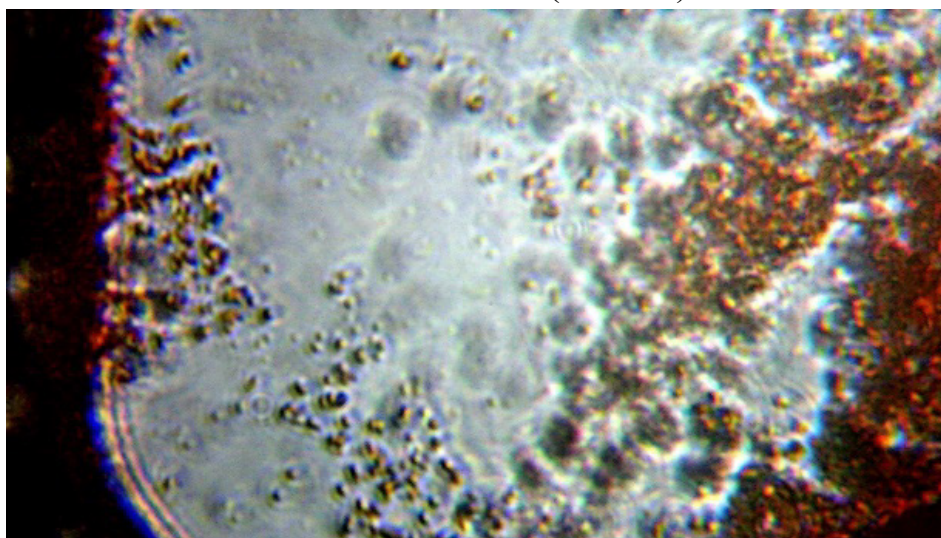
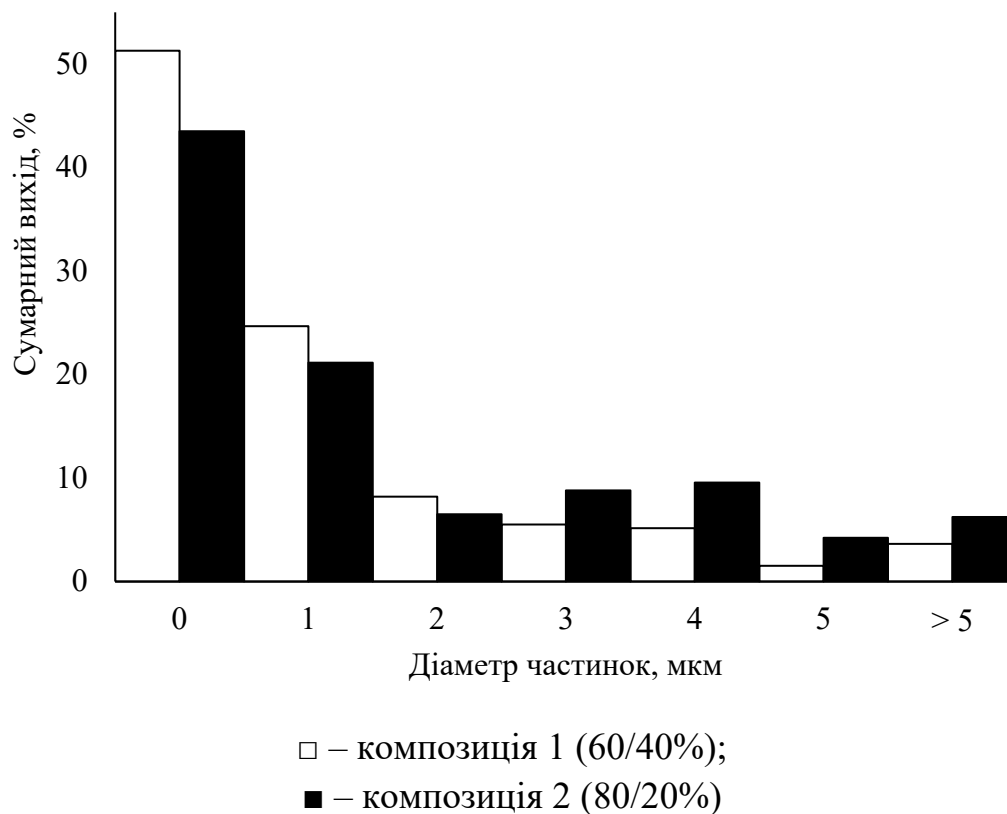
Рисунок 3.10. Розподіл розмірів частинок протягом часу подрібнення у лабораторному бісерному млині
 Час 35 хвилин
 □ – композиція 1 (60/40%);
 ■ – композиція 2 (80/20%)



Збільшення у 900 разів
 Час 40 хвилин

Рисунок 3.11 Розподіл розмірів частинок протягом часу подрібнення у лабораторному бісерному млині
 Час 40 хвилин

□ – композиція 1 (60/40%);
 ■ – композиція 2 (80/20%)



Збільшення у 900 разів
 Час 45 хвилин

Рисунок 3.12. Розподіл розмірів частинок протягом часу подрібнення у лабораторному бісерному млині
 Час 45 хвилин

□ – композиція 1 (60/40%);
 ■ – композиція 2 (80/20%)

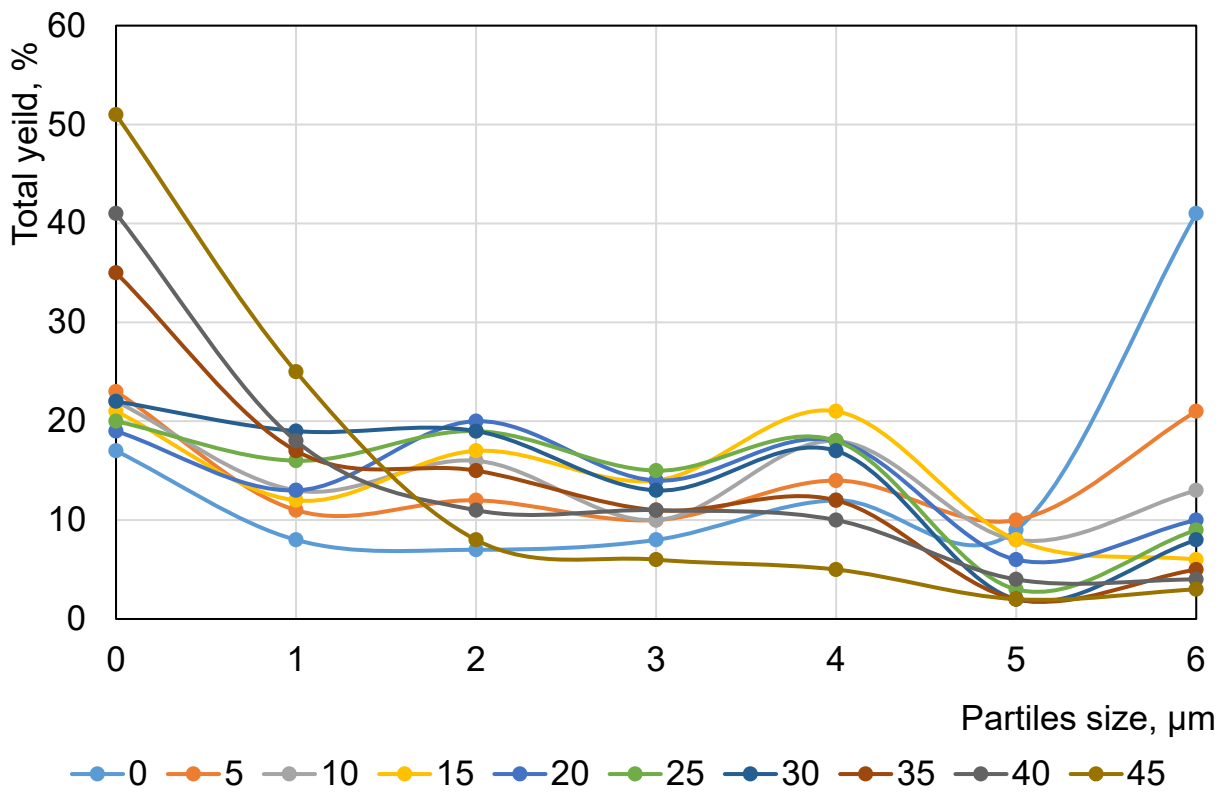


Рисунок 3.13. Криві зміну гранулометричного складу суспензій для проміжку часу оброблення 0 – 45 хв:
а – композиція 1 (60/40%);

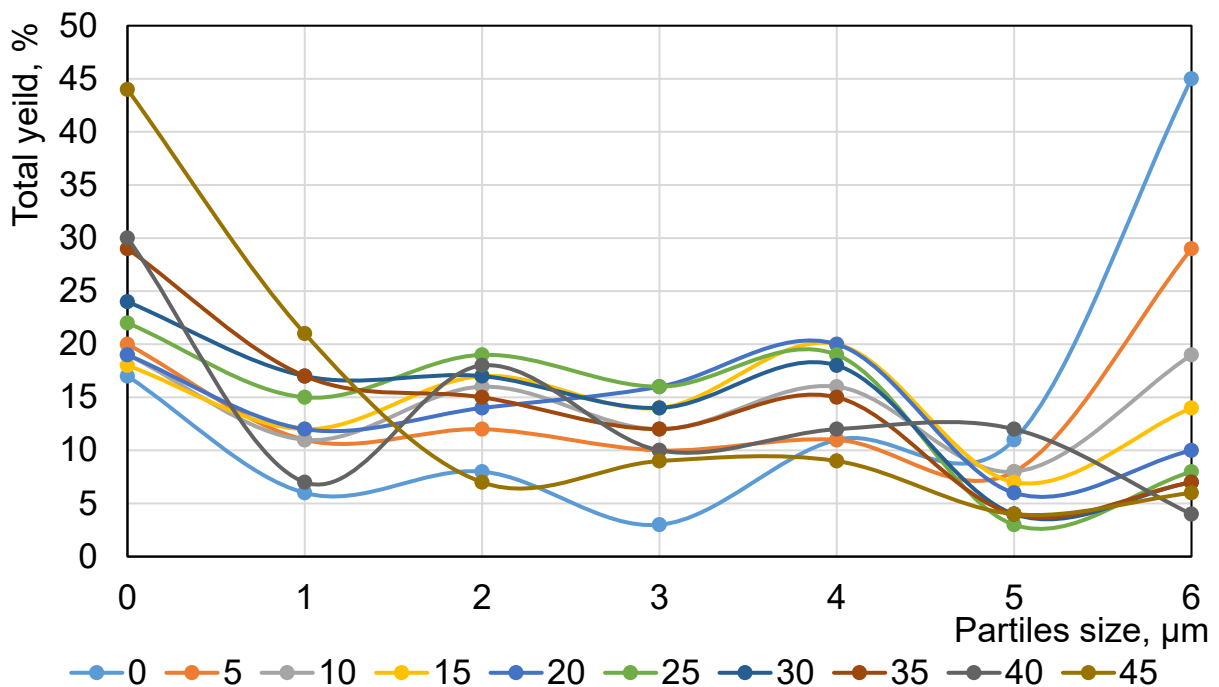


Рисунок 3.14. Криві зміну гранулометричного складу суспензій для проміжку часу оброблення 0 – 45 хв:
б – композиція 2 (80/20%)

3.3. Оброблення результатів досліджень. Вибір закону розподілення для опису зміни гранулометричного складу

Відомий **нормальний закон розподілу** (normal law of distribution) (який ще називається **законом Гаусса**) відіграє виключно важливу роль в теорії ймовірностей і займає серед інших законів розподілу особливий стан. Це закон, який найчастіше зустрічається на практиці. Головна особливість, яка виділяє нормальний закон серед інших законів, полягає в тому, що він є граничним законом, до якого наближаються інші закони розподілу.

Так, наприклад, велика кількість гарматних пострілів, здійснених в різних умовах, показує, що розсіювання снарядів на площині при пострілі з однієї гармати при встановленому прицілі підлягає нормальному закону.

“Універсальність” нормального закону пояснюється тим, що *будь-яка випадкова величина*, яка є сумою великої кількості окремих числових значень, кожне з яких підпорядковується різним законам розподілу і несуттєво впливає на суму, розподілена майже за нормальним законом.

Більшість випадкових величин, таких, наприклад, як похибки вимірів, похибки гарматних стрільб і т. д. можуть бути подані як суми великої кількості малих доданків - елементарних похибок, кожна з яких визначається дією окремої причини, яка не залежить від інших. Яким би законам розподілу не підпорядковувались окремі елементарні похибки, особливості цих розподілів в сумі великої кількості доданків нівелюються і сума підпорядковується закону, що близький до нормального. Підсумовані похибки в загальній сумі повинні грати відносно малу роль.

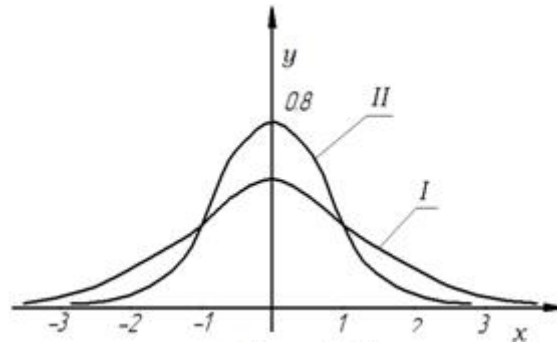
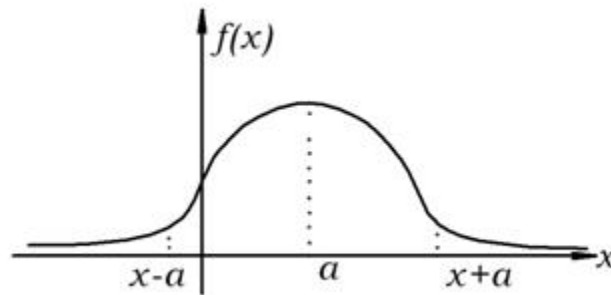
Випадкова величина ξ нормально розподілена або підпорядковується закону розподілу Гаусса, якщо її щільність розподілу має вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},$$

де a - довільне дійсне число, $\sigma > 0$.

Нижче буде доведено $a = M_\xi$, $D_\xi = \sigma^2$.

Виходячи з даного визначення, функція розподілу може бути записана:



$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}} dt$$

Графік функції $f(x)$ симетричний відносно прямої $x=a$. За допомогою похідних можна показати, що функція $f(x)$ досягає максимуму при $x=a$, а її графік має точки перетину при $x_1=a+\sigma$ і $x_2=a-\sigma$ (Рисунок 3.3).

При $x \rightarrow \pm\infty$ графік функції $f(x)$ асимптотично наближається до осі Ox :
 $\lim_{x \rightarrow \pm\infty} f(x) = 0$.

Даний розподіл названо в честь німецького математика Карла Фрідріха Гаусса, який займався проблемами теорії ймовірності.

При збільшенні σ крива щільності розподілу стає більш пологою.

Навпаки, при зменшенні σ графік щільності розподілу більше стискається до осі Oy . При $a = 0$ вісю симетрії є вісь Oy . На Рисунок 3.4. зображено два графіка функції $y = f(x)$.

Графік (I) відповідає значенням: $a = 0$, $\sigma = 1$.

Графік (II) відповідає значенням: $a = 0$, $\sigma = 1/2$.

Проте, для опису отриманих нами залежностей цей закон не є раціональним. Можна зробити припущення, що за законом Гауссабуде відбуватися розподіл гранулометричного складу у межах 1-2 мікрони, проте ми розглядаємо весь інтервал розміру частинок суспензії – від 1 до 6 мікрон.

Для опису розподілу розміру часточок суспензії використаємо **розподіл Вейбула** (англ. Weibull distribution) — неперервний розподіл ймовірностей, який має два параметри k – параметр масштабу та λ - параметр форми.

Першим цей закон відкрив Фреше (1927 р.) а застосували Розін та Рамлер в 1933 р. для опису розподілу розміру гранул. Закон названий на честь Валлоді Вейбулла, який навів детальний опис розподілу в 1951 році.

Функція густини розподілу Вейбула $f(x, \lambda, k)$ має вигляд:

$$f(x, \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \cdot \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} \cdot e^{-(x/\lambda)^k} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases},$$

де $k > 0$ визначає форму графіка, а $\lambda > 0$ – шкалу розподілу. В залежності від чисельних значень цих коефіцієнтів форма кривої розподілення Вейбулла може мати різну форму (Рисунок 1.).

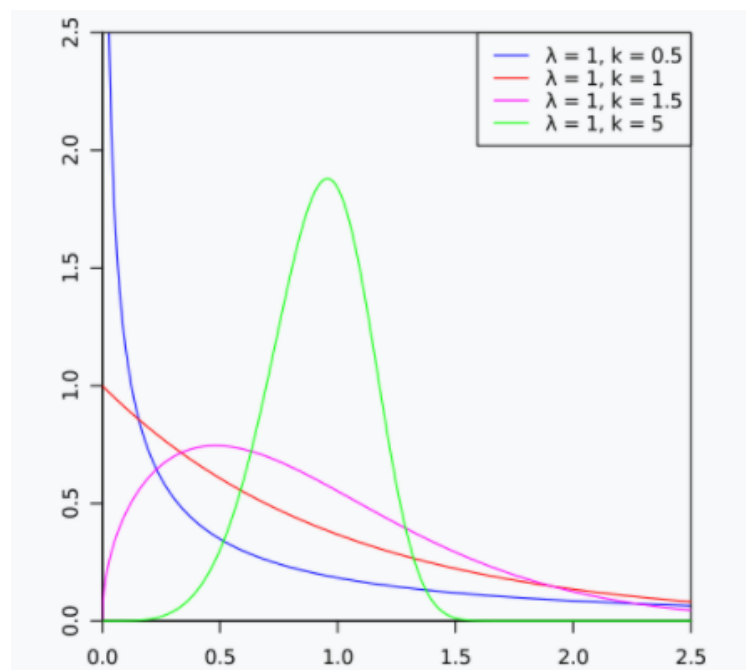


Рис.1. Розподіл Вейбулла

З рисунку ми бачимо, що отримані нами криві розподілу приблизно відповідають за формою кривій $k=0.5$ (синя).

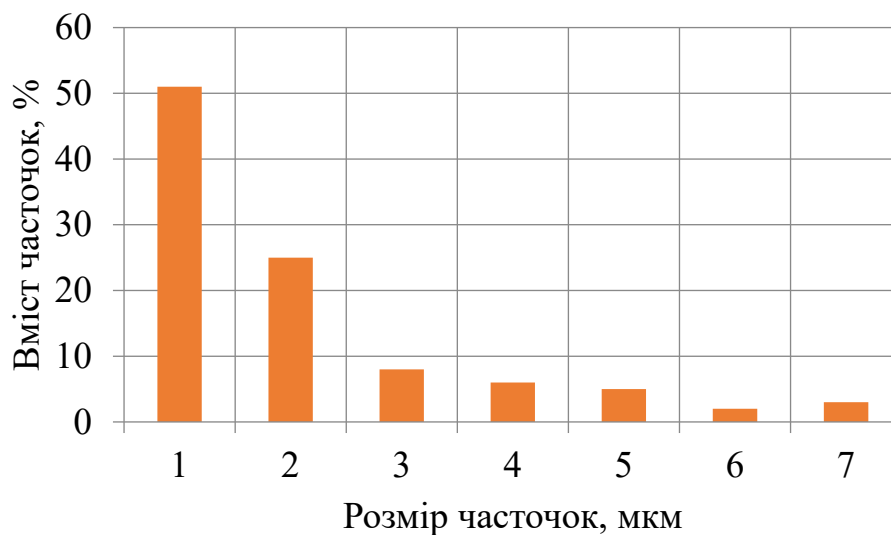
Визначимо коефіцієнти функції, яка описує цей закон.

За результатами проведених експериментів на 45 хв отримано дані гранулометричного складу часточок (табл. 1).

Таблиця 1. Гранулометричний склад часточок на 45 хв подрібнення

Розмір часточок, мкм	Вміст, %
0	51
1	25
2	8
3	6
4	5
5	2
6	3

Побудуємо гістограму розподілу частот часточок (Рисунок 2)



Для визначення математичної залежності густини розподілу обчислимо статистичні характеристики та коефіцієнти.

Математичне очікування випадкової величини (розміру часточок), мкм:

$$M[x] = \sum_{k=1}^n x_k p_k$$

$$M[x] = 0,5 \cdot 0,51 + 1,5 \cdot 0,25 + 2,5 \cdot 0,08 + 3,5 \cdot 0,06 + 4,5 \cdot 0,05 + 5,5 \cdot 0,02 + 6,5 \cdot 0,03 = 1,57$$

Дисперсія $D[x]$, мкм²:

$$D[x] = \sum_{k=1}^n (M[x] - x_k)^2 \cdot p_k$$

$$D[x] = (1,57 - 0,5)^2 \cdot 0,51 + (1,57 - 1,5)^2 \cdot 0,25 + (1,57 - 2,5)^2 \cdot 0,08 + (1,57 - 3,5)^2 \cdot 0,06 + (1,57 - 4,5)^2 \cdot 0,05 + (1,57 - 5,5)^2 \cdot 0,02 + (1,57 - 6,5)^2 \cdot 0,03 = 2,345$$

Середньоквадратичне відхилення $S[x]$, мкм:

$$S[x] = \sqrt{D[x]}$$

$$S[x] = \sqrt{2,345} = 1,531 \text{ мкм}$$

Коефіцієнт варіації V :

$$V = \frac{S[x]}{M[x]} = \frac{1,531}{1,57} = 0,98$$

По Рисунок 2 і 3 на основі РД 26.260.004-91 визначаємо параметр форми b і коефіцієнт форми k .

З графіка $k = 0,993$

Коефіцієнт масштабу λ :

$$\lambda = \frac{M[x]}{k} = \frac{1,57}{0,993} = 1,58.$$

Значення розміру часточок $x \geq 0$, тому густина розподілу

$$f(x, \lambda, k) = \frac{0,993}{1,58} \cdot \left(\frac{x}{1,58}\right)^{0,993-1} \cdot e^{-(x/1,58)^{0,993}}, \text{ наведена в табл. 2 і на Рисунок 4.}$$

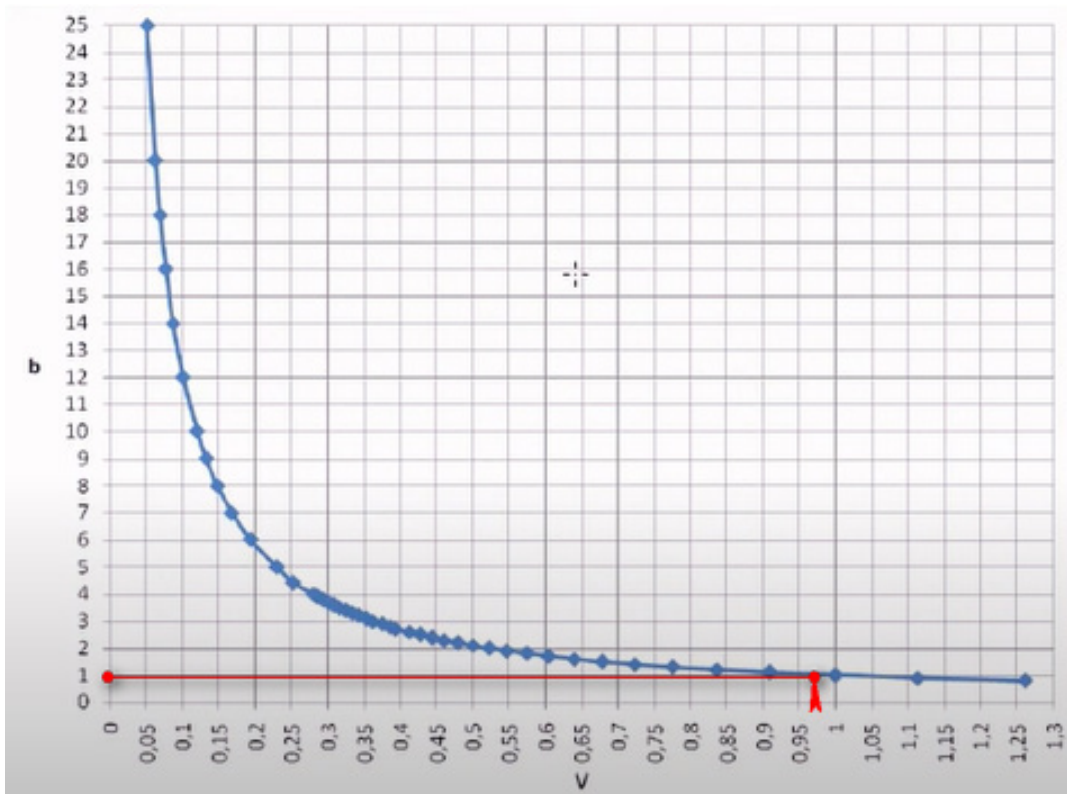


Рис.2. Графічна залежність параметра форми від коефіцієнта варіації

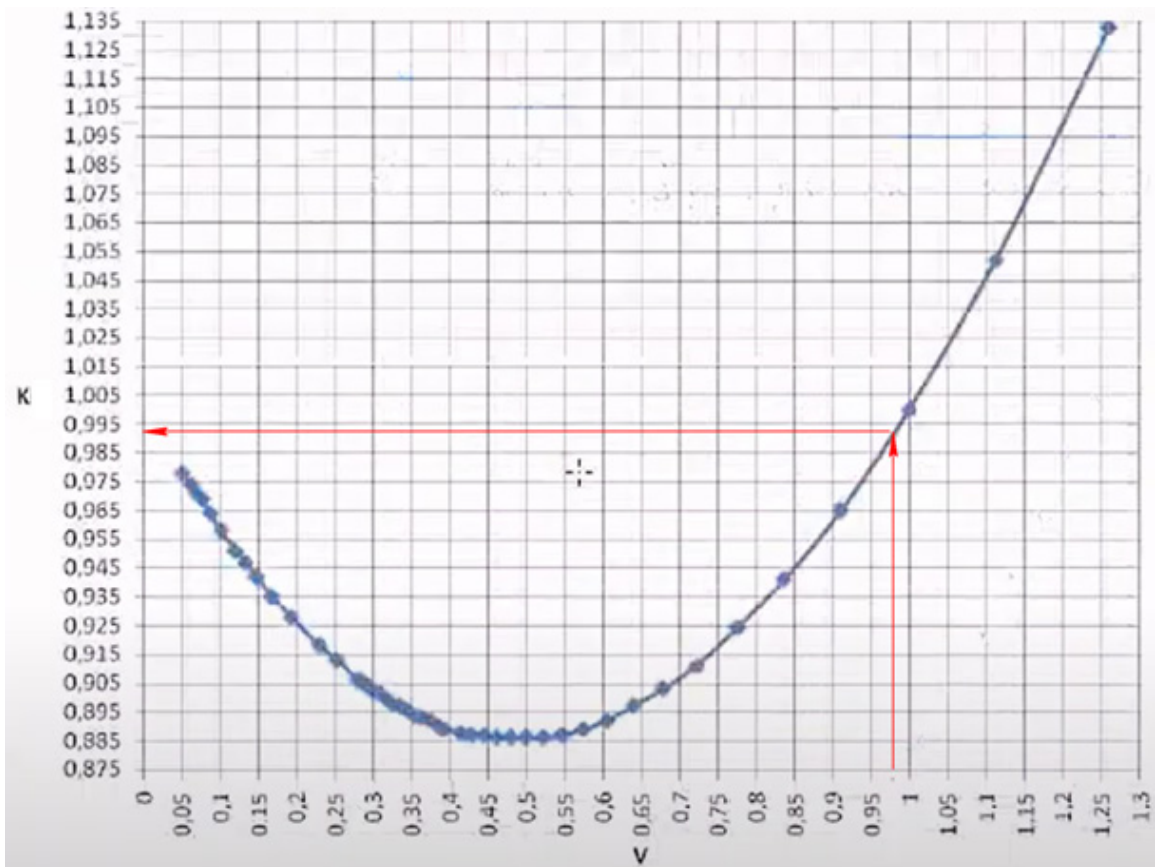
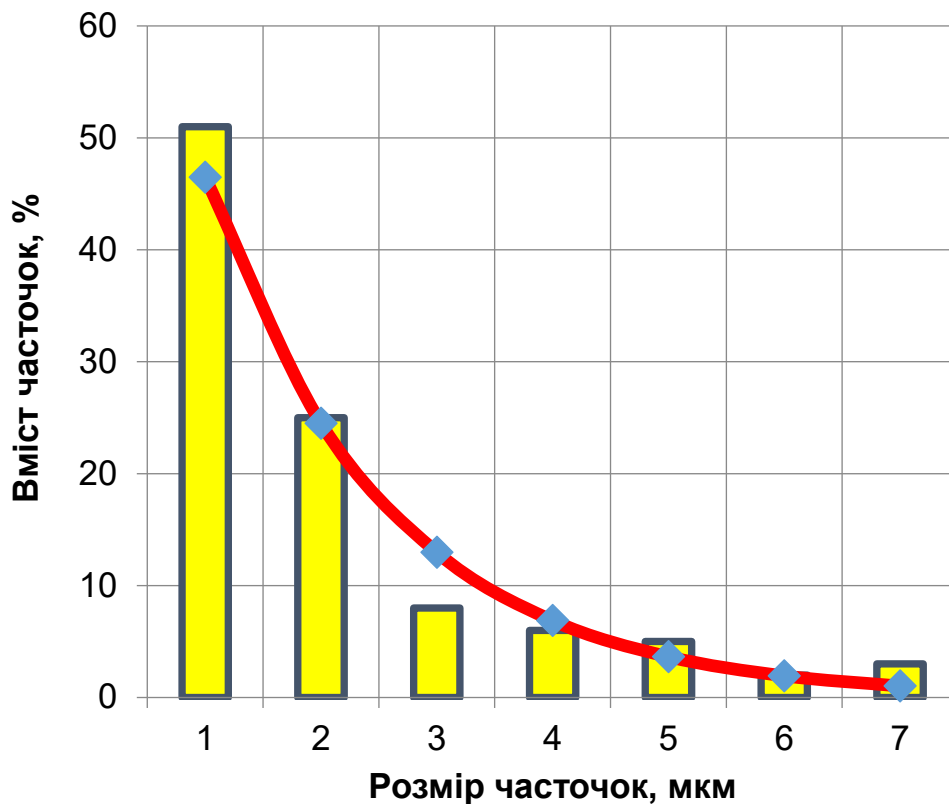


Рис.3. Графічна залежність коефіцієнта k від коефіцієнта варіації

Таблиця 2

Густина розподілу Вейбулла

Розмір часточок, мкм	Густина розподілу Вуйбулла	Розподіл Вейбулла, %	Розподіл емпіричний, %	Різниця, %
0,5	0,4627187	46,27	51	-4,53
1,5	0,24492401	24,49	25	-0,50
2,5	0,1301765	13,02	8	4,97
3,5	0,06927298	6,93	6	0,87
4,5	0,03688536	3,69	5	-1,35
5,5	0,01964709	1,96	2	-0,07
6,5	0,01046754	1,05	3	-1,97



Таким чином, максимальне відхилення становить 4,53%.

3.4. Порівняння результатів із результатами інших дослідників

Серія діаграм демонструє активний перерозподіл частинок твердої фази обох композицій у досліджуваному діапазоні розмірів та ілюструє динаміку утворення монодисперсної системи з розмірами частинок менше 1 мкм. Це пояснюється тим, що маленькі первинні частинки твердої фази спочатку

знаходяться у вигляді агломератів або агрегатів, а у процесі подрібнення відбувалася ініційована руйнація для зменшення їх розміру.

Композиція 1, яка має більший вміст твердих часточок (40% пігменту залізоокисного «Червоний 120»), подрібнюється більш інтенсивно. Відповідно, що для виробництва лікарських і косметичних засобів доцільно застосовувати рецептури суспензій, які мають більшу концентрацію твердої фази в своєму складі.

Так, перед початком подрібнення (0 хв) присутні яскраво виражені агломерати та скупчення частинок твердої фази суспензії, які займають більше 40% від загального вмісту частинок в суспензії в обох композиціях. На практиці використання таких суспензій у виробництві косметичних чи лікарських засобів є недоречним, адже великі частинки пошкодять шкіру або слизові оболонки, а фармакологічний ефект буде мінімальний (Li et al., 2019).

Схожі дослідження проводили Jankovic (Jankovic, 2003), Pazesh (Pazesh, Grasjo, Berggren, & Alderborn, 2017) та інші, але використовували інші модельні тіла, як рідку фазу використовували воду (Pazesh, Grasjo, Berggren, & Alderborn, 2017; Jankovic, 2003), суміш води з поверхнево-активними речовинами або стабілізаторами (Li et al., 2019) та інші розчинники, а тверда фаза – моногідрат α -лактози (Pazesh, Grasjo, Berggren, & Alderborn, 2017), пробукол (Li et al., 2019), мінерали (Jankovic, 2003) тощо.

Jankovic (Jankovic, 2003) вивчав використання різних типів бісерних млинів. Змінні, що аналізувалися: швидкість мішалки, тип і розмір робочих тіл, вміст твердих частинок суспензії, а також розмір порції подачі продукту. Було виявлено, що характеристики робочих тіл (розмір, щільність, форма), швидкість млина та властивості суспензії (розмір завантаження та продукту, щільність і твердість суспензії) сильно впливають на процес подрібнення.

Pazesh (Pazesh, Grasjo, Berggren, & Alderborn, 2017) досліджував взаємозв'язок між подрібненням і аморфізацією частинок моногідрату α -лактози під час подрібнення за різних умов, включаючи співвідношення маси кульки до порошку, час подрібнення та діаметр кульки. Результати показали, що збільшене

співвідношення маси кульки до порошку під час помелу збільшило як швидкість подрібнення, так і швидкість аморфізації. Через задане співвідношення маси кульки до порошку діаметр кульки впливав на ступінь видимого аморфного вмісту частинок, тоді як діаметр частинок залишався незмінним.

Отримані результати досліджень розподілу частинок суспензії за класами розмірів дає змогу відслідковувати та коригувати необхідні параметри процесу надтонкого подрібнення для досягнення необхідної якості продукту.

Висновки

Експериментальні дослідження зміни гранулометричного складу суспензій та аналіз отриманих результатів свідчить, що композиції суспензій у межах досліджуваного діапазону активно подрібнюються та перерозподіляються протягом всього часового проміжку вимірювань.

Отримана крива ступеня перетиру під час подрібнення демонструє активне зменшення розміру частинок в перші 4 хвилини процесу. Крива ступеня перетиру та діаграми розподілу розмірів демонструють, що суспензії з більшим вмістом твердої фази подрібнюються більш інтенсивно, ніж суспензії з меншим вмістом твердої фази.

Отримані результати досліджень розподілу частинок суспензії за класами розмірів дають змогу відслідковувати та коригувати необхідні параметри процесу надтонкого подрібнення для досягнення необхідної якості продукту, а також використовувати для імітаційного моделювання процесу в бісерних млинах.

Відповідно, для виробництва лікарських і косметичних засобів доцільно застосовувати рецептури суспензій, які мають більшу концентрацію твердої фази в своєму складі

3.5. Загальні висновки

1. За 45 хвилин подрібнення у бісерному млині розмір частинок суспензії поступово зменшується від 5-10 мікрон до 1-2 мікрон.
2. Після 45 хвилини розмір частинок практично не змінюється. Тому проводити далі подрібнення нераціонально. Це збільшує енерговитрати і не підвищує продуктивності.
3. Розподіл частинок за розміром (гранулометричний склад) перші 35 хвилин є незадовільним. Вихід частинок усіх розмірів майже однаковий.
4. На 35 хвилині понад 50 відсотків частинок мають розмір 1-2 мкм, а на 45 хвилині – 1 мкм, що відповідає технічним умовам виробництва компонентів косметичних засобів.
5. Отримані розподіли гранулометричного складу описуються законом Вейбула із максимальною похибкою 4%

3.6. Припущення. Питання для подальших досліджень

1. У діапазоні розмірів частинок 1-2 мкм можливий їх розподіл за класичним законом Гауса і концентрування більшості частинок у вузькому діапазоні розмірів.
2. Збільшення швидкості ротора понад 1300 об/хв не призведе до збільшення продуктивності.
3. Зменшення кроку між дисками не призведе до збільшення продуктивності, тому що бісеринки у вузьких зазорах переміщатимуться разом із дисками. Буде відсутній їх відносний рух.
4. Збільшення кроку між дисками призведе до зниження продуктивності та утворенню застійних зон.
5. Подрібнення у бісерному млині відбувається за рахунок відносної швидкості між дисками і частинками та бісеринками і частинками за принципом шліфування – за рахунок напружень зсуву відділяються дрібні шматочки матеріалу.

Розділ 4

Застосування результатів

4.1. Удосконалення конструкції обладнання

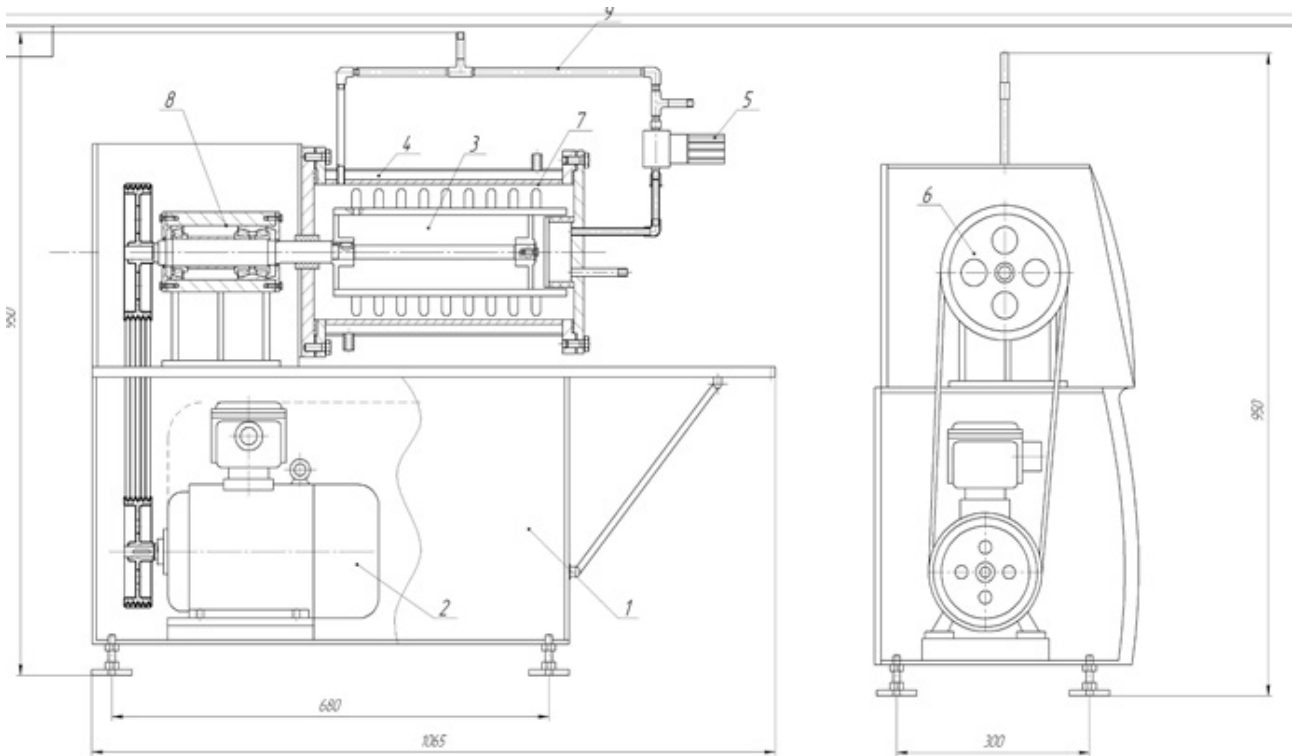


Рис 4.1. Горизонтальний бісерний млин

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

Корпус бісерного млина спирається на опори 1 і має 2 кришки.

Суспензія надходить в млин через отвори в кришці, після чого він перемелюється за рахунок стирання об бісер і диски 4. Диски також грають роль мішалок. Після досягнення заданого розміру матеріал видаляється з млина через сепаратор 7 і сітчастий фільтр. Фільтр грає роль додаткового класифікатора, щоб дрібний бісер не віддалився з млина. Диски і сепаратор розташовані на валу 3,

який закріплений в підшипниковому вузлі. Вал приводиться в рух від шківів 6, який через пасову передачу отримує рух 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.

Здійснюємо засипку бісеру 10 кг, закручуємо кришку млина і закриваємо пробку вихідного отвору фільтра. Через отвір подають суспензію. Після чого включаємо двигун.

4.2. Пропозиція модернізації

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

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

Також пропонується встановити зовнішній контур для циркуляції подрібнювального продукту.

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.

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.

Зовнішній контур для циркуляції продукту дозволить уникнути застійних зон і підвищити продуктивність подрібнення.

4.3. Розрахунки

Розрахунок продуктивності

Продуктивність – 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:

$$L = \frac{4V}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,0191}{\pi \cdot 0,2^2} = 0,6 \text{ м}$$

Розрахунок потужності приводу

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]:

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

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, м;

ω – кутова швидкість ротора, рад/с;

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

τ – час розгону, сек.

Робота 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]:

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

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

Розділ 5

Техніко економічне обґрунтування

За сучасних умов орієнтації підприємств зв'язку на підвищення конкурентоспроможності надзвичайно важливого значення набуває активізація інноваційної діяльності, оскільки без цього неможливо здійснити прогресивні структурні зрушення в інфокомунікаційній сфері, суттєво оновити виробництво і забезпечити сталий соціально-економічний розвиток галузі. Опанування механізмом ефективного управління інноваційними процесами є передумовою суттєвих радикальних рішень у сфері інфокомунікації і забезпечує ефективні засоби виходу з кризових ситуацій.

У сучасних умовах існує достатня кількість внутрішніх причин, обумовлених саме сутнісними характеристиками інновацій, закономірностями інноваційного розвитку та функціонуванням ефективною інноваційною системою, що торкається інтересів багатьох підприємств зв'язку.

Відповідно до того, що інноваційна діяльність є вирішальним елементом розвитку сучасного виробництва, проблеми економічного обґрунтування інноваційних рішень набувають особливої актуальності. Вони важливі, як на рівні підприємства сфери інфокомунікацій, так і на вищих рівнях управління національної економіки.

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. Вимоги до якості фармацевтичної, косметичної, керамічної та інших галузей промисловості призвели до збільшення попиту на все більш і більш дрібні компоненти твердої фази засобу з жорсткішими характеристиками не тільки за середнім діаметром частинок, але і розкиданням розподілу частинок за розмірами.

Невирішеними або такими, що потребують додаткових досліджень є наступні питання:

1. Створення лабораторії для дослідження процесу надтонкого подрібнення із відповідним експериментальним обладнанням, приладами, забезпеченням умов безпеки праці.

2. Удосконалення конструкцій бісерних млинів для забезпечення їх високої продуктивності, енергоощадності та якості готвого продукту.

3. Визначення впливу конструкції робочих елементів, редимних параметрів процесу на його якість, енерговитрати, продуктивність тоща.

4. Удосконалення теорії надтонкого подрібнення.

Враховуючи вищесказане, підтверджується доцільність проведення комплексного дослідження процесу надтонкого подрібнення компонентів фармацевтичних та косметичних засобів та створення відповідної експериментальної бази.

Розділ 6

Безпека життєдіяльності під час роботи з експериментальним обладнанням

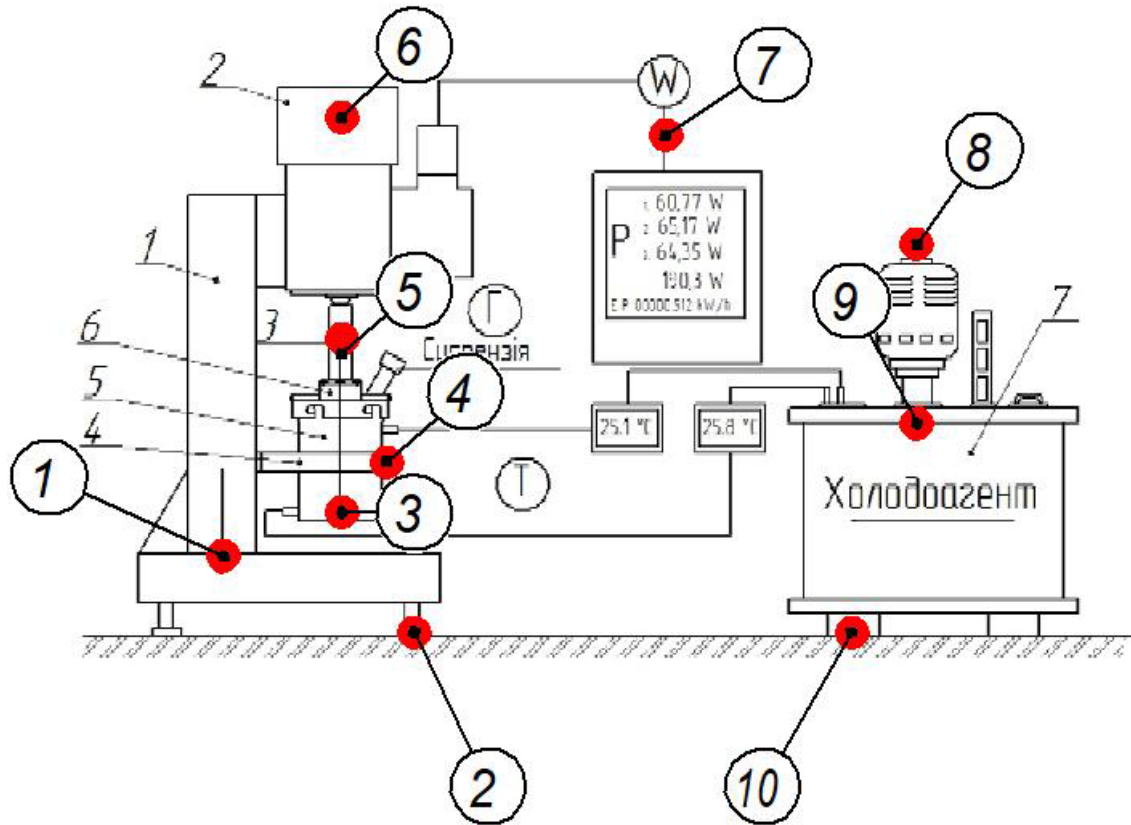


Рисунок 6.1. Схема експериментального стану та зони ризику, пов'язані з небезпечними факторами

Під сам роботи з експериментальним стендом необхідно звернути увагу на небезпечні зони, які можуть призвести до травмувань та інших негативних для життя і здоров'я наслідків.

1. Станина бісерного млина. Маса станини – 30 кг. Забороняється переносити та монтувати станини одній людині. Для транспортування та монтування необхідно використовувати спеціальні засоби (візки, таль, підйомники). Піднімати станини дозволяється як мінімум трьом особам. Ігнорування цим правилом може призвести до травмувань опорно-рухового апарату.

2. Вібрація і шум під час роботи. Тривале перебування у зоні вібрації може мати негативні наслідки для здоров'я. Лабораторія має бути забезпечена сукупністю засобів і методів зменшення параметрів вібрації. Необхідно запобігати шкідливому впливу на працюючих вібрації і шуму машин та механізмів. Перед запуском бісерного млина необхідно встановити у його опорах спеціальні гумові прокладки для гасіння вібрації.

Засоби індивідуального захисту (навушники, каски тощо) застосовують для глушіння шуму в смузі частот 2000-6000 Гц; вони мають заглушаючу здатність до 40 дБ. Безпечні для людини нормативні рівні шуму і вібрації визначають санітарними нормами. Санітарне нормування шуму проводиться по гранично допустимих рівнях звукового тиску в октавних смугах 63,5-8000 Гц. Не дивлячись на те, що реальні показники шуму не перевищують норм, під час тривалогі роботи зі стандом рекомендується користуватися засобами захисту.

3. Стакан млина. Під час роботи може нагріватися. Висока температура може призвести до опіків. Підч роботи млина забороняється торкатися стакану без захисного одягу (рукавиць).

4. Зажим. Неякісне зажимання і фіксування стакану може призвести до його падіння під час роботи млина та травмування частин тіла.

5. Муфта. Швидкообертальний вулол. Можливість травмування частин тіла і намотування одягу, прикрас тощо. Забороняється використовувати одяг з довгими рукавами, шарфи тощо, а також наявність прикрас (кільця, ланцюжки тощо).

6. Електродвигун млина. Небезпека ураження електричним струмом. Для усунення небезпеки дотику до струмопровідних частин електрообладнання необхідно забезпечити їх недоступність. Це досягається за допомогою розташування струмопровідних частин на недосяжній висоті або в недоступному місці, а якщо таке розташування неможливе — застосування огорож і бар'єрів. Підключати двигун можуть особи, які мають відповідний доступ.

Прилади і апаратура у лабораторії мають клас захисту електрообладнання II - мають всі доступні до дотику частини відділені від струмопровідних частин

подвійною або підсиленою ізоляцією та не мають контакту (затискача) для приєднання захисних провідників. Вилка не має заземлюваного контакту. Обладнання класу захисту II позначається відповідним символом («квадрат у квадраті»). За цим класом захисту виконуються побутові електроприлади (пилососи, телевізори, електродрилі, фени), герметичні вуличні світильники, тролейбуси.

Умови застосування обладнання не обмежуються, за виключенням умов підвищеної вологості (понад 85%) для приладів з ступенем захисту оболонки нижче IP65.



Символ, яким позначається затискач приєднання заземлення в електричному обладнанні I класу захисту



Символ, яким позначається обладнання II класу захисту з подвійною ізоляцією



Символ позначення III класу захисту

7. Система електроприладів. Небезпека ураження електричним струмом. Підключати прилади можуть особи, які мають відповідний доступ.

8. Електродвигун насосу водяної ємкості. Небезпека ураження електричним струмом. Підключати двигун можуть особи, які мають відповідний доступ.

9. Ємкість із охолоджувальною водою. Маса станини – 25 кг. Забороняється переносити та монтувати ємкість одній людині. Для транспортування та монтування необхідно використовувати спеціальні засоби (візки, таль, підйомники). Піднімати ємкості дозволяється як мінімум трьом особам. Ігнорування цим правилом може призвести до травмувань опорно-рухового апарату.

10. Вібрація під час роботи. Тривале перебування у зоні вібрації може мати негативні наслідки для здоров'я. Перед запуском бісерного млина необхідно встановити у його опорах спеціальні гумові прокладки для гасіння вібрації.

Інші небезпечні фактори.

1. Під час досліджень використовуються матеріали на основі жирів та олій. Потрапляння їх на підлогу робить її слизькою. Небезпека падіння та травмування. Підлогу необхідно ретельно мити. У разі потрапляння речовин на підлогу необхідно вимити її спеціальними засобами.

2. Отруйний пил. Компоненти лікарських та косметичних засобів під час приготування та проведення досліджень можуть розпилюватися. Дозволяється працювати зі стендом лише при увімкнутій системі вентиляції. Після роботи приміщення необхідно ретельно вимити.

До роботи із експериментальним стендом допускаються лише особи, які пройшли відповідний інструктаж із техніки безпеки та осново роботи з експериментальним обладнанням та приладами.

У приміщенні з експериментальним стендом має бути забезпечено вільний доступ до:

- Аптечки
- Вогнегасника.
- Мийних засобів.

Висновки

Розширено спектр знань про надтонке подрібнення компонентів лікарських та косметичних засобів у бісерних млинах.

Наукова цінність результатів – визначено зміну гранулометричного складу суспензії на основі рицинової олії та барвника на проміжку часу подрібнення 0-60 хв; підібрано раціональний закон розподілу гранулометричного складу на основі функції Вейбула.

Практична цінність результатів – отримані дані дозволяють вибрати раціональний час подрібнення, із перевищенням якого процес проводити недоцільно, так як подрібнення не відбуватиметься, але процес супроводжуватиметься значними витратами енергії. Запропонована конструкція зовнішнього контуру для циркуляції подрібнювального продукту дозволяє уникнути застійних зон у бісерному млині та інтенсифікувати процес.

Актуальність роботи та її цінність підтверджується апробацією результатів на двох Міжнародних наукових конференціях.

Список використаної літератури

1. Avramia, I., & Amariei, S. (2022). A Simple and Efficient Mechanical Cell Disruption Method Using Glass Beads to Extract β -Glucans from Spent Brewer's Yeast. *Applied Sciences*, 12(2), 648. <https://doi.org/10.3390/app12020648>
2. Batt C.A. *Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition)* / C.A. Batt. – Elsevier, 2017. – 110 p.
3. Brennan J. G.. *Food Processing Handbook, 2nd Edition* / James G.B., Alistair S.G. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2011. – 826 p.
4. 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.
5. EXAKT Technologies, Inc. Startseite. – Режим доступу: <https://www.exakt.de/de/startseite.html> (Accessed on 18.10.2020).
6. Fellows P. *Food processing technology. Principles and Practice. Second Edition* / P. Fellows. – CRC Press, 2000. – 591 p.
7. Fellows P. *Food processing technology. Principles and Practice. Second Edition* / P. Fellows. – CRC Press, 2000. – 591 p.
8. Flach, F., Fries, L., Kammerhofer, J., Hasselbach, J., Finke, B., Schilde, C., Palzer, S., Heinrich, S., Kwade, A. (2019). Optimization of aqueous microgrinding processes for fibrous plant materials. *Advanced Powder Technology*, 30 (11), 2823–2831. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2019.08.029>
9. *Handbook of Pharmaceutical Excipients* / Ed. by R.C. Rowe, P.J. Shesky, S.C. Owen. — London–Chicago
10. Hrininh K. Hordeichuk R. Ascertainment of the addiction of the temperature of the working bodies on the grinding degrees of pigment suspension on the basis of acetyltributyl citrate on the industrial three-roll mill // *Proceedings of University of Ruse*. – 2018. – Volume 57. – Book 10.3. – pp. 46-49.
11. Hrininh K., Chepelyk O., Litovchenko I. Difficulties of the simulation modeling of the ultrafine grinding process by wet method in a bead mill. *The 8th Edition of the International Conference Biotechnologies, Present and Perspectives, November, 5th, 2021*. Stefan cel Mare University of Suceava. ISSN 2068 – 0819. P. 66.
12. Hrininh K., Chepelyuk O., Litovchenko I. Simulation modeling of the ultrafine grinding process in a bead mill. *60th Annual Science Conference of Ruse University «New industries, digital economy, society - projections of the future VI»*. 2021. “Angel Kanchev” University of Ruse filial Razgrad. ISSN 2603-4123. P. 435.
13. Hrininh K., Damyanova St., Gubenia O. Disintegration of microbial biomass using bead mills. *Матеріали 87-ї міжнар. наук. конф. молодих учених, аспірантів і студ. «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті»*, 15-16 квітня 2021 р. Київ, НУХТ, 2021. Ч.2. С. 30.

14. 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.
15. Hrininh K., Gubenia O. Energy parameters of the process of ultrafine grinding of medicinal and cosmetic components in a bead mill. *60th Annual Science Conference of Ruse University «New industries, digital economy, society - projections of the future VI».* 2021. “Angel Kanchev” University of Ruse filial Razgrad. ISSN 2603-4123. P. 416.
16. 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.
17. Hrininh K., Gubenia O. Energy parameters of ultrafine grinding of pharmaceutical and cosmetic ingredients in the bead mill // *Proceedings of University of Ruse.* – 2020. – Volume 59. – Book 10.3. – pp. 40-44.
18. Hrininh K., Gubenia O. Features of an ultra-fine grinding by wet method in bead mills // *Proceedings of University of Ruse.* – 2017. – Volume 56. – Book 10.2. pp. 79-85.
19. Hrininh K., Gubenia O. Features of ultra-fine grinding by wet method in bead mills. *56th Annual Science Conference of Ruse University «Industry 4.0. Business Environment. Quality of Life».* 2017. “Angel Kanchev” University of Ruse filial Razgrad. P. 410.
20. Hrininh K., Gubenia O. Formation of suspension structure in the process of grinding in bead mills. *59th Annual Science Conference of Ruse University «New industries, digital economy, society - projections of the future II».* 2020. “Angel Kanchev” University of Ruse filial Razgrad. ISSN 2603-4123. P. 500.
21. Hrininh K., Gubenia O. Particle size distribution of iron oxide red and castor oil suspension obtained in laboratory bead mill. *Матеріали 88-ї міжнар. наук. конф. молодих учених, аспірантів і студ. «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», квітень-травень 2022 р.* Київ, НУХТ, 2022. Ч.2. С. 15.
22. Hrininh K., Gubenia O. Review of the working bodies of vertical bead mills. *58th Annual Science Conference of Ruse University «New industries, digital economy, society - projections of the future II».* 2019. “Angel Kanchev” University of Ruse filial Razgrad. ISSN 2603-4123. P. 390.
23. Hrininh K., Gubenia O., Chepelyuk O. Energy parameters of the process of ultrafine grinding of medical and cosmetic components in the bead mill // *Proceedings of University of Ruse.* – 2021. – Volume 60. – Book 10.2. – pp. 14-19.
24. Hrininh K., Gubenia O., Litovchenko I. Review of the working bodies of vertical bead mills. // *Proceedings of University of Ruse.* – 2019. – Volume 58. – Book 10.2. – pp. 12-16.
25. Hrininh K., Gubenia O., Telychkun Yu. Formation of suspension structure in the process of grinding in bead mills // *Proceedings of University of Ruse.* – 2020. – Volume 59. – Book 10.2. – pp. 26-31.
26. 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.
27. 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.
 28. Hrininh K., Trohymchuk O., Gubenia O. Analysis of process and equipment for superfine grinding by dry method. *The 9th International Conference for Students «Student in Bucovina», November, 18th, 2020*. Stefan cel Mare University of Suceava. ISSN 2068 – 7648. P. 68.
 29. Hrininh K., Yatsiuk A., Gubenia O. Improvement the process of the ultrafine grinding of medicinal and cosmetic means. *The 8th International Conference for Students «Student in Bucovina», November, 15th-16th, 2018*. Stefan cel Mare University of Suceava. ISSN 2068 – 7648. P. 9.
 30. Hrininh K., Zaporozhets O., Gubenia O. Rheological properties of suspension in the process of grinding in bead mills. *The 9th International Conference for Students «Student in Bucovina», November, 18th, 2020*. Stefan cel Mare University of Suceava. ISSN 2068 – 7648. P. 74.
 31. 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. – Volume 57. – Book 10.3. pp. 41-45.
 32. Hrininh, K., Gubenia, O., Chepelyuk, O. (2021). Energy parameters of the process of ultrafine grinding of medical and cosmetic components in the bead mill. *Proceedings of University of Ruse*, 60 (10.2), 14–19.
 33. Hrininh, K., Hordeichuk, R., Gubenia O. Comparative analysis of equipment and research the superfine grinding process of titanium dioxide and quinacridone red suspensions in the bead mill // *Ukrainian journal of food science*. – 2018. – Volume 6. – Issue 1. pp. 82-94. (*Індексується наукометричними базами EBSCO, CAS Source Index (CASSI) та FSTA (Food Science and Technology Abstracts)*).
 34. <https://www.cas.org/> - Chemical Abstracts Service відділення Американського хімічного товариства.
 35. <https://www.heessoils.com/en/> - Gustav Heess (Німеччина) виробник олій та жирів для косметичної та фармацевтичної промисловості.
 36. Ivanov, V., Shevchenko, O., Marynin, A., Stabnikov, V., Gubenia, O., Stabnikova, O., Shevchenko, A., Gavva, O. & Saliuk, A. (2021). Trends and expected benefits of the breaking edge food technologies in 2021-2030. *Ukrainian Food Journal*, 10(1), 7–36. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-1-3>.
 37. Jankovic, A. (2003). Variables affecting the fine grinding of minerals using stirred mills. *Minerals Engineering*, 16 (4), 337–345. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(03\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(03)00007-4)
 38. Jimbo, G. (1992). Chemical Engineering Analysis of Fine Grinding Phenomenon and Process. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 25 (2), 117–127. <https://doi.org/10.1252/jcej.25.117>

39. Kharchenko O., Hrininh K., Gubenia O.. Features of the process of ultrafine grinding of medical and cosmetic components in a bead mill. *The 8th Edition of the International Conference Biotechnologies, Present and Perspectives, November, 5th, 2021*. Stefan cel Mare University of Suceava. ISSN 2068 – 0819. P. 67.
40. Kunze W. Technology Brewing And Malting. 5th English Edition / W. Kunze. – VLB Berlin. – 935 pages
41. Lelieveld H. Handbook of Hygiene Control in the Food Industry (Second Edition) / H. Lelieveld, J. Holah, D. Gabrić. – Elsevier, 2016. – 736 p.
42. Li, F., Wang, L., Yang, Y., Li, J., Liu, D., Zhang, S., Wang, W., Xu, H. (2019). Improved dissolution and oral absorption by co-grinding active drug probucol and ternary stabilizers mixtures with planetary beads-milling method. *Asian Journal of Pharmaceutical Science*. 14(6), 649–657. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2018.12.001>
43. Loh Z.H., Samanta A. K., Heng P.W.S. Overview of milling techniques for improving the solubility of poorly water-soluble drugs // *Asian Journal of Pharmaceutical Science*. – 2015. – Volume 10. – P. 255-274.
44. 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.
45. 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.
46. Mende, S., Rappl, M. (2014). Mill performance matched to the task. Throughput enhanced by optimising cooling and disc configuration. *European Coatings Journal*, 12, 88–91
47. 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.
48. Naumenko N. History of Food Science / N. Naumenko N. – Kyiv, NUFT. – 2014. – 199 с.
49. Netzsch – компанія виробник обладнання для подрібнення та диспергування
Режим доступу: <https://www.netzsch-grinding.com/ru/>
50. Ogonowski S., Wolosiewicz-Clab M., Ogonowski Z., Pawelczyk M. Comparison of Wet and Dry Grinding in Electromagnetic Mill // *mdpi*. – 2018. – Volume 8 (38). – P. 1-19.
51. Ogonowski, S., Wołosiewicz-Głab, M., Ogonowski, Z., Foszcz, D., Pawelczyk, M. (2018). Comparison of Wet and Dry Grinding in Electromagnetic Mill. *Minerals*, 8, 138 <https://doi.org/10.3390/min8040138>
52. Omelianenko K., Yaremchuk P., Gubenia O., Hrininh K. Change in granulometrical composition of suspensions of medicinal and cosmetic products during processing in a bead mill. *The 10th International Conference for Students «Student in Bucovina», November, 10th, 2022*. Stefan cel Mare University of Suceava. ISSN 2068 – 7648. P. 42.

53. 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.
54. 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.
55. Pazesh, S., Grasjo, J., Berggren, J., Alderborn, G. (2017). Comminution-amorphisation relationships during ball milling of lactose at different milling conditions. *International Journal of Pharmaceutics*, 528, 215–227. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2017.05.043>
56. 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.
57. Ralko O. The restructuring and organisational development in the food industry in Ukraine // *Restructuring: theory and practice : [monograph] / [Tetyana Mostenska, Iryna Fedulova, Virginija Jurėnienė (scientific editors)]*. – Kyiv – Kaunas – Szczecin: National University of Food Technologies, Institute of World Economy and International Relations, University of Szczecin, Vilnius University. – Kyiv: Kondor, 2012. – P. 171–195.
58. Rowe W.B. *Principles of Modern Grinding Technology / W.B. Rowe*. – New York: William Andrew Applied Science Publisher, 2014. – 215 p.
59. Rueden, C. T., Schindelin, J., Hiner, M. C., DeZonia, B. E., Walter, A. E., Arena, E. T., & Eliceiri, K. W. (2017). ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. *BMC Bioinformatics*, 18(1) <https://doi.org/10.1186/s12859-017-1934-z>
60. Skrotska, O., Kharchenko, Y., Laziuka, Y., Marynin, A., Kharchuk, M. (2021). Biosynthesis and characteristics of silver nanoparticles obtained using *Saccharomyces cerevisiae* M437. *Ukrainian Food Journal*, 10(3), 615–631. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-3-14>
61. Stephen M. Using an agitator bead mill for nanoparticle dispersion and comminution // *Nanotechnology*. – 2011. - №11.
62. Toledo R.T. *Fundamentals of Food Process Engineering. Third Edition / R.T. Toledo*. – Springer, 2007. – 585 p.
63. Varinot, C., Berthiaux, H., Dodds, J. (1993). Prediction of the product size distribution in associations of stirred bead mills. *Powder Technology*, 105(1–3), 228–236. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(99\)00142-4](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(99)00142-4)
64. 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.
65. Yiu H. Hui. *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering. / H. Hui Yiu*. – CRC Press, 2006. – 928 p.
66. 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.

67. Біотехнологія: Підручник / В.Г. Герасименко, М.О. Герасименко, М.І. Цвіліховський та ін.; Під общ. ред. В.Г. Гера сименка. — К.: Фірма «ІНКОС», 2006
68. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк. — Київ: НУХТ, 2014. — 530 с.
69. Грінінг К. Р. Зміна гранулометричного складу суспензій лікарських та косметичних засобів під час оброблення у бісерному млині / К. Р. Грінінг, П.В. Яремчук, О. О. Губеня // Trends in LEAN food production and packaging: Proceedings of the 11th International Specialized Scientific and Practical Conference, October 25, 2022. Kyiv, National University of Food Technologies, 2022. — С. 24–28.
70. Грінінг К. Р. Тарасенко М.В. Тонке та надтонке подрібнення компонентів для фармацевтичних та косметичних засобів. *Матеріали VI Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоспроможності» 12 вересня 2017 р.* Київ: НУХТ, 2017. С. 147-149.
71. Грінінг К.Р., Гордейчук Р.В. Аналітичні дослідження процесу подрібнення в бісерних млинах. *Матеріали VIII Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоспроможності» 12 вересня 2019 р.* Київ: НУХТ, 2019. С. 100-101.
72. Грінінг К.Р., Гордейчук Р.В., Губеня О. О., Єрмаков А.І. 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 конкурентоспроможності» 12 вересня 2019 р.* Київ: НУХТ, 2019. С. 166-168.
73. Грінінг К.Р., Губеня О. О., Дамянова С. Імітаційне моделювання процесу диспергування рицинової олії у бісерному млині. *Матеріали X Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції «Тренди Lean-виробництва та пакування харчової продукції» 15 вересня 2021 р.* Київ: НУХТ, 2021. С. 61-65.
74. Грінінг К.Р., Десик М.Г. Зміна гранулометричного складу суспензій лікарських та косметичних засобів під час оброблення у бісерному млині // Наукові праці НУХТ. – 2022. – Випуск 28. - №4. С. 72-83.
75. Грінінг К.Р., Теличкун Ю., Губеня О. Реологічні властивості суспензії під час подрібнення в бісерних млинах. *Матеріали 87-ї міжнар. наук. конф. молодих учених, аспірантів і студ. «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 15-16 квітня 2021 р.* Київ, НУХТ, 2021. Ч.2. С. 28.
76. Домарецький В.А. Технологія солода та пива: Підруч. / В.А. Домарецький. – Київ: Інкос, 2004. – 426 с.

77. Допоміжні речовини та їх застосування в технології лікарських форм: Довідковий посібник / Ф. Жогло, В. Возняк, В. Попович, Я. Богдан — Львів: Центр Європи, 1996. — 96 с.;
78. 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.
79. Доровський, О.В. (2014). Світовий фармацевтичний ринок: структура, тенденції розвитку, точки зростання. Науковий вісник Херсонського державного університету, 9–1(3), 34–38.
80. Заплетніков І. М. Експлуатація і обслуговування технологічного обладнання харчових виробництв [Текст] : навч. посіб. / І. М. Заплетніков, В. Г. Мирончук, В. М. Кудрявцев ; Нац. ун-т харч. технол., Донец. нац. ун-т екон. і торг. — К. : ЦУЛ, 2012. — 344 с.
81. 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.
82. Монтаж, експлуатація, діагностика та ремонт обладнання м'ясопереробних підприємств: підручник / І. Г. Бабанов, О. М. Гавва, О. І. Бабанова та ін. — Київ: Сталь, 2015. — 600 с.
83. Мостенська Т. Збалансування продовольчого ринку в контексті забезпечення продовольчої безпеки: монографія / Т. Мостенська. — Київ: Кондор-Видавництво, 2015. — 283 с.
84. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості [Текст] : підручник / В. Г. Мирончук, І. С. Гулий, М. М. Пушанко та ін. ; за ред. В. Г. Мирончука. — 2-ге вид., перероб. і доп. — Вінниця : Нова книга, 2007. — 648 с.
85. 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.
86. Омелянєнко К.А. Тенденції розвитку обладнання для надтонкого подрібнення компонентів лікарських, косметичних засобів та клітинної біомаси / К.Р Грінінг, О. О. Губеня // Trends in LEAN food production and packaging: Proceedings of the 11th International Specialized Scientific and Practical Conference, October 25, 2022. Kyiv, National University of Food Technologies, 2022. — С. 38–42.
87. 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.
88. 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.

89. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підруч. / В. Т. Павлище. — К.: Вища шк., 1993. — 556 с. — рекомендовано кафедрою. — ISBN 5-11-004099-1
90. Процеси і апарати харчових виробництв [Текст] : приклади і задачі : навч. посіб. / І. Ф. Малежик, П. М. Немирович, В. Л. Зав'ялов та ін. ; за ред. І. Ф. Малежика ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2015. — 386 с.
91. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / За ред. проф. І. Ф. Малежика. Підручник. — К.: НУХТ, 2003. — 400с.
92. 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.
93. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець та ін. — Вінниця: Нова книга, 2004. — 288 с.
94. Саленко Ю.С. Обладнання для подрібнення матеріалів: дробарки та млини: Навч. посібник. — Кременчук: КДПУ, 2008. — 100 с.
95. 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.
96. Ситник І.О., Климнюк С.І., Творко М.С. Мікробіологія, вірусологія, імунологія. - Тернопіль: Укрмедкнига, 2009. - 295 с.
97. Скопенко Н.С. Інтеграційні процеси в харчовій промисловості України: сучасна концепція розвитку: монографія / Н.С. Скопенко, Т.Л. Мостенська. — Київ: Кондор, 2015. — 392 с.
98. 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.
99. Страпчук С.І. Стан та тенденції розвитку фармацевтичного виробництва в Україні // Економічна теорія. — 2017. - №1(28). С.54-62.
100. Сухенко Ю. Г. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв: підручник / Ю.Г. Сухенко, О.А. Литвиненко, В.Ю. Сухенко. — Київ: НУХТ, 2010. — 547 с
101. 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.
102. Черевко О. І., Поперечний А. М. Процеси і апарати харчових виробництв. - Х.: Світ Книг, 2014. - 495 с.

Додатки



**XI Міжнародна спеціалізована
науково-практична конференція**

**11th International Specialized
Scientific and Practical Conference**

**Тренди Lean-виробництва
та пакування харчової продукції**

**Trends in LEAN food production
and packaging**

**Київ 2022
Kyiv 2022**

Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine
Ministry of Education and Science of Ukraine
National University of Food Technologies
Institute of Food Resources of the National Academy
of Agricultural Sciences of Ukraine

11th International Specialized
Scientific and Practical Conference

Trends in LEAN food production and packaging

Conference's tittle in 2012-20:
Resource and Energy Saving Technologies of Production and Packing of Food
Products as the Main Fundamentals of Their Competitiveness

October 25, 2022
Kyiv, Ukraine

Kyiv 2022

Тенденції розвитку обладнання для надтонкого подрібнення компонентів лікарських, косметичних засобів та клітинної біомаси

Костянтин Омеляненко, Катерина Грінінг, Олексій Губеня

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Бісерні млини застосовуються для над тонкого подрібнення продукту, зокрема, компонентів лікарських, косметичних засобів та клітинної біомаси, фарбувальних речовин, деяких продуктів у харчовій галузі. Сучасні конструкції бісерних млинів оптимізуються для досягнення повного подрібнення з використанням найменшої кількості енергії. Все це обумовлено специфічною конструкцією таких млинів, та розміщенням їх робочих органів які перемішують продукт для подрібнення. Конструктивні особливості робочих органів мають унеможливити утворення застійних зон в середині робочої камери.

Метою даного огляду є визначення переваг та недоліків сучасних конструкцій бісерних млинів та формулювання завдань на подальші експериментальні та аналітичні дослідження процесу надтонкого подрібнення компонентів лікарських, косметичних засобів та клітинної біомаси.

Матеріали і методи. Розглядаються конструкції бісерних млинів провідних виробників подрібнювального обладнання.

Результати і обговорення.



Рисунок 1. Занурювальний бісерний млин MILL-ENNIUM
[<https://tecsa.com.ua>]

Занурювальний бісерний млин.

Високоєфективний млин занурювального типу (рисунок 1), призначений для перетирання продуктів, що важко піддаються диспергуванню у випадках, коли високий ступінь перетирання, а потрібний колір необхідно отримати швидко.

Трансмісійний вузол, змонтований на головці, що приводить в дію систему ротор-статор в середині робочої камери. Вал виготовлений із пружної, стійкої до робочого середовища сталі з твердим хромовим покриттям. На валу жорстко закріпленні пальці, які виконані з тієї самої сталі, що і сам

вал. Ці ж самі пальці розміщені на стінках робочої камери, що дозволяє збільшити ступінь подрібнення продукту.

Переваги млинів занурювального типу:

- Невелике співвідношення об'єму робочої камери до об'єму продукту;
- Короткий час подрібнення;
- Широкий ряд допустимих в'язкостей;
- Використання однієї робочої камери при диспергуванні та подрібненні;
- Швидке і легке очищення
- Відсутність насосів, шлангів, переносних посудин тощо
- Гідропневматична система підйому колонки.

Недоліки:

- Млин періодичної дії;
- Відсутність плавного пуску мішалки;
- Висока вартість деталей і вузлів млина;
- Використання в якості основної передачі пасову передачу.

Бісерний млин барабанного типу. Бісерний млин Turbo Type кошикового типу (рисунок 2) призначений для подрібнення продукту до надтонких частинок за допомогою крильчаток, на одній насадці розміщено два ряди по 11 крильчаток на одну сторону. На робочому валу знаходиться три насадки для більш ефективного подрібнення. Така конструкція дозволяє збільшити площу контакту з робочою масою, та за рахунок кута нахилу крильчатки з'являється можливість циркуляції продукту в середині робочої камери та відповідно до сепаратора відділювача.

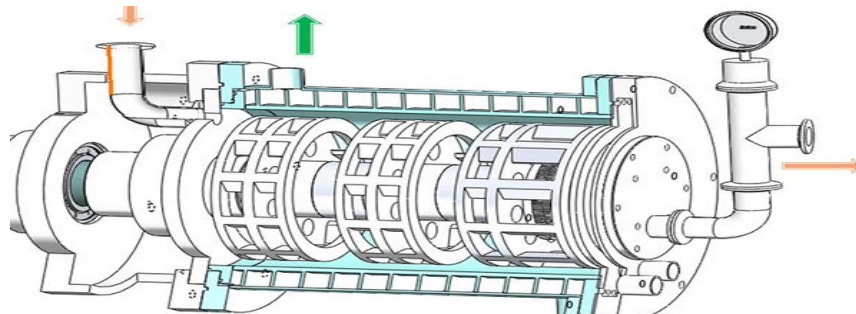


Рисунок 2. Бісерний млин барабанного типу Turbo Type
[<https://ua.ele-beadmill.com>]

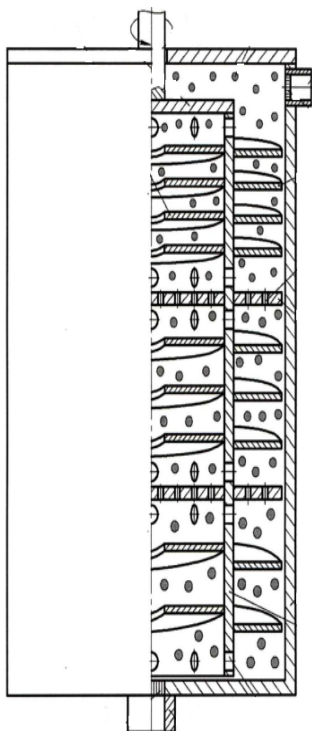


Рисунок 3. Бісерний млин вертикального типу

Процес охолодження проходить за рахунок робочої камери, між стінками якої спеціальними секціями спірального типу циркулює охолоджувальна вода. Переваги:

- Млин подрібнює продукт безперервно;
- Охолодження робочої камери проходить по всій площі;
- Висока ефективність подрібнення продукту за рахунок високих обертів ротора та великої площі подрібнювальних насадок;

Недоліки:

- Складність процесу очищення робочих органів та камери млина;
- Обов'язковий контроль в'язкості подрібнювального продукту перед завантаженням до робочої камери.

Бісерний млин вертикального типу (Патент UA 148281, 2021). Вертикальний бісерний млин (рисунок 3) складається з циліндричної камери із засобами для завантаження матеріалів і вивантаження готового продукту, заповнену бісером. У камері розміщена в обичайка, виконана із зовнішньою і внутрішньою гвинтовими спіралями з протилежно спрямованими витками, і з'єднана за допомогою диска з приводним валом. Водночас, обичайка обладнана горизонтальними перфорованими перегородками, що розділяють камеру на секції, і виконана з вікнами у верхній і нижній частинах кожної секції. Крок

спіралей в межах однієї секції виконаний постійним, а по секціях в напрямку знизу вгору – зменшується, що надає процесу подрібнення більшої ефективності.

Переваги:

- Обичайка обладнана горизонтальними перфорованими перегородками, що розділяють камеру на секції це дозволить збільшити інтенсивність подрібнення;
- Можливість регулювати ступінь подрібнення продукту за рахунок зміни робочих органів мішалки робочої камери.

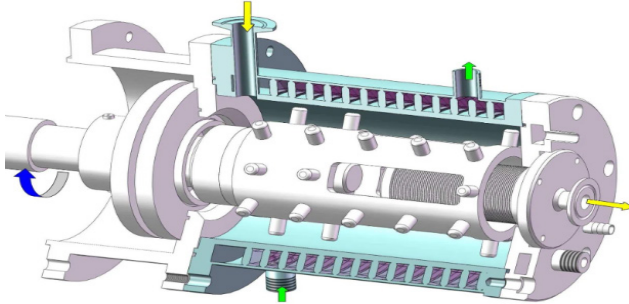


Рисунок 4. Бісерний млин пальцевого типу
[<https://ua.ele-beadmill.com>]

Бісерний млин пальцевого типу. Даний млин безперервної дії (рисунок 4). В якості зрощувального пристрою застосовується напівтрубовал, з закріпленими на ньому жорстко подрібнювальними пальцями. В середині трубовалу розміщується циліндричне сито, яке відділяє бісер від продукту. Відцентровий сепаратор має велику площу, відцентрове колесо відштовхує бісер від розвантажувального сита. Інтенсивний процес охолодження проходить за рахунок робочої камери, між стінками якої по

секціях спірального типу циркулює охолоджувальна вода.

Бісерний млин дискового типу (горизонтальний). Даний млин (рисунок 5), безперервної дії. Зрощувальним органом є диски, які чергуються між собою за різновидністю своєї форми, між якими обов'язково знаходяться проміжні втулки. Сито циліндричне відділює бісер від подрібненого продукту. Робоча камера охолоджується за допомогою охолоджувальної води, яка циркулює спіральною охолоджувальною сорочкою.

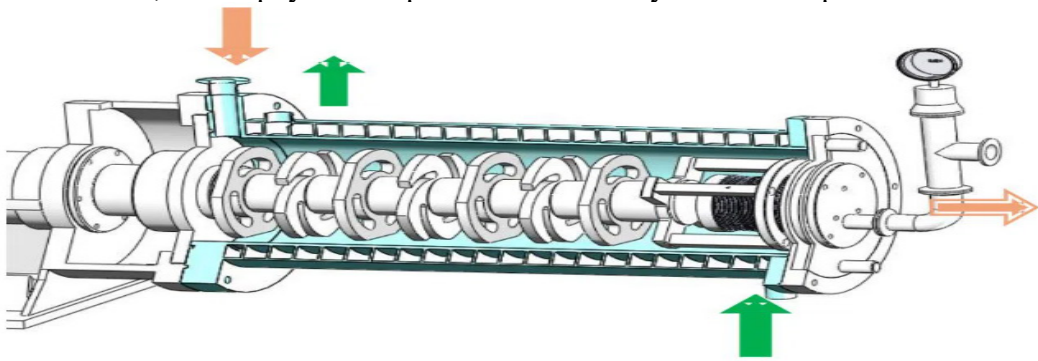


Рисунок 5. Бісерний млин дискового типу (горизонтальний).
[<https://ua.ele-beadmill.com>]

Переваги:

- Робоча камера та усі її складові виконані з надтвердої сталі, твердість досягає HRC62;
- Безперервна дія млина,

Бісерний млин горизонтальний DYNO. Дана конструкція млина (рисунок 6) має



Рисунок 6. Бісерний млин горизонтальний DYNO [<https://www.zto.com.ua>]

повністю закритий зовнішній контур і унікальну поверхневу структуру з бісерними каналами.

Бісерні канали, що закриті зсередини та радіально виходять із центру диска, прискорюють змішування бісеру і продукту. Стінка каналу чинить імпульс на бісеринки перпендикулярно осі машини. У поєднанні з полем потоку

сусіднього диска між кожною парою дисків утворюється подрібнювальна камера з прискореними контурами бісеринки. Оскільки диски повністю закриті, за винятком невеликих отворів біля осі, бісеринки залишаються на місці між двома дисками, утворюючи окремі комірки для подрібнення.

Переваги:

- Висока продуктивність та зносостійкість матеріалу;
- Охолоджувальна вода тече по спіралі навколо подрібнювального циліндра;
- Бісерні канали закриті зсередини та радіально виходять із центру диска.

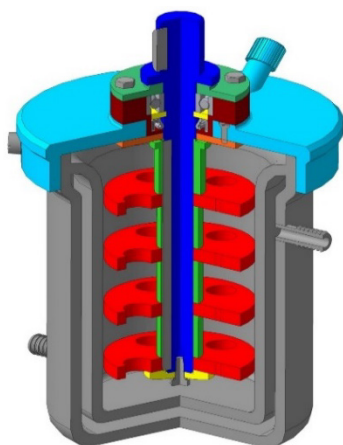


Рисунок 7. Бісерний млин вертикальний ЗТО

Бісерний млин вертикальний ЗТО (рисунок 7). Бісерний млин виконаний у вигляді вертикальної чаші, в середині якого знаходиться вал з набором робочих дисків, між якими знаходяться проміжні втулки. Маса бісеру надає високий абразивний тиск на дно ємності, що дозволяє подрібнювати міцні матеріали, наприклад, для виробництва кераміки, а також пігменти для декоративної косметики і лакофарбових матеріалів, шоколаду. Таке додаткове навантаження має позитивний характер, так як процес подрібнення має сильну енергозатратність.

Переваги:

- Можливість зміни набору дисків, їх варіація та зміна кількості;
- Простота конструкції;
- Можливість швидкого очищення чаші.

Недоліки

- Мала продуктивність;
- Відсутність плавного пуску;
- Млин періодичної дії.

Бісерний млин вертикальний Discus Intensive Rotor. Рециркуляційний бісерний млин (рисунок 7) призначений для всіх типів суспензій з низькою і середньою в'язкістю, де потрібний високий ступінь подрібнення (пігментних паст, емалей, спеціальних фарб). Принцип дії – великий потік і багаторазове проходження матеріалу через камеру розмелювання. За такої умови, енергія, необхідна для руйнування агломератів пігментів і наповнювачів, передається безліччю маленьких порцій із кожним черговим проходженням.

Перевагами рециркуляційних млинів:

- Висока продуктивність в порівнянні з іншими конструкціями;
- Зниження температури продукту в процесі подрібнення;
- Безперервний процес роботи.



Рисунок 7. Бісерний млин вертикальний Discus Intensive Rotor
[<https://6825-ua.all.biz/uk>]

Висновок. Подрібнення продукту за допомогою бісеру – складний процес, який вимагає спеціальних умов – параметрів обертання ротора, циркуляції бісеру і продукту, взаємодії бісеру з продуктом, охолодження робочої камери тощо.

Найбільш вдалим та доцільним з точки зору якості подрібнення продукту є млини горизонтального типу. Завдяки безперервній роботі вони мають найбільший ККД, а особливості конструкції знижують застійні зони.

Бісерні млини вертикального типу мають застійні зони, яких складно уникнути зміною конструкції насадок ротора, в яких рух бісеру з продуктом практично не спостерігається. Внаслідок чого на виході продукт має нерівномірний гранулометричний склад. Для вирішення цієї проблеми варто додатково дослідити конфігурацію ротора зі зменшеним кільцевим зазором, що забезпечить зменшення часу на подрібнення твердих матеріалів у суспензії, за меншого об'єму робочої камери.

Література

- Loh Z.H., Samanta A.K., Heng P.W.S. (2015), Overview of milling techniques for improving the solubility of poorly water-soluble drugs, *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 10, pp. 255–274, <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2014.12.006>
- NETZSCH – світовий лідер-виробник машино- та приладобудування: аналіз та тестування, подрібнення та диспергування, насоси та інші системи. Режим доступу: <https://www.netzsch-grinding.com> (25.02.2021)
- Patravale V.B., Date A.A., Kulkarni R.M. (2004), Nanosuspensions: a promising drug delivery strategy, *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 56(7), pp. 827–840, <https://doi.org/10.1211/0022357023691>
- Sigmund Lindner GmbH – виробник та дистриб'ютор технічного скла та керамічного бісеру з 1854 року. Режим доступу: <https://www.sigmund-lindner.com> (13.03.2021).
- Weber U., Langlois D. (2010), The effect of grinding media performance on milling and operational behaviour, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 110, pp. 147–152.
- Патент UA 148281 (2021), Бісерний млин; МПК В02С 17/18; Винахідник – Алтухов В.М., Опубліковано 21.07.2021, Бюл.№ 29.

**INTERNATIONAL
CONFERENCE FOR STUDENTS
“STUDENT IN BUCOVINA”
November, 10th, 2022**

**STUDENT IN BUCOVINA
ABSTRACTS**

Organized by:
*Faculty of Food Engineering,
Stefan cel Mare University of Suceava, Romania*

ISSN 2068 – 7648

***CHANGE IN GRANULOMETRICAL COMPOSITION
OF SUSPENSIONS OF MEDICINAL AND COSMETIC
PRODUCTS DURING PROCESSING IN A BEAD MILL***

Master Students: Kostiantyn OMELIANENKO, Pavlo YAREMCHUK
Coordinating Professors: Oleksii GUBENIA, Kateryna HRININH
National University of Food Technology, Ukraine

Abstract: It is studied the change in the particle size composition of medical and cosmetic suspensions during processing in a bead mill. Suspensions according to two recipes were ground on an experimental unit — a laboratory bead mill of periodic action. Suspensions based on castor refined oil Ph. Eur. and iron oxide pigment "Red 120" were chosen as model samples. The change in particle size composition and the degree of grinding were researched by light microscopy using a digital monocular camera.

A curve of the degree of grinding during grinding shows that the compositions of the suspensions within the studied range are actively grinded. The resulting particle size distribution diagrams illustrate the dynamics of the formation of a monodisperse system.

The curve of the degree of grinding and the size distribution diagrams demonstrates that suspensions with a higher content of the solid phase are crushed more intensively and have a more pronounced monodispersity. It can be concluded that for the production of medicinal and cosmetic products it is advisable to use formulations of suspensions which have a higher concentration of the solid phase in their composition.

The obtained results of studies on changes in the granulometric composition of suspensions allow monitoring and adjusting the necessary parameters of the ultrafine grinding process to achieve the required product quality

Key words: *granulometric, particle, grinding, beads, mill, suspension.*