

Виділити окремо думки студентів 2, 3, 4, 5 курсів. Окремо думки студентів із різною успішністю, різною формою навчання, різних спеціальностей.

Дуже цікаво виявити відмінності (якщо вони є) щодо оцінки альтернативи студентами різних спеціальностей.

Виявити найбільш спірні відповіді щодо альтернатив і розбіг думок щодо них.

Розробити систему особливих питань, так як питання типу «Чи ефективний викладач ...» – не коректні, тому що. однозначне визначення поняття «ефективності викладача» студентам ніхто не давав.

Розробити заходи, які нададуть можливість уникнути необ'єктивного оцінювання студентами викладачів.

Запропонований алгоритм аналізу результатів анкетування студентів та подальші дослідження даної теми, безперечно, сприятимуть підвищенню якості вищої освіти.

### Список літератури

1. Сасенко Ю.І. Методологія та методика визначення інтегральних соціальних показників. – К.: Ін-т соціології НАНУ, 2004. – 372 с.
2. Орлов А.И. Нечисловая статистика. – М.: МЗ-Пресс, 2004. – 513 с.
3. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич – М.: Статистика, 1974. – 159 с.
4. Денисова А. Л. Теория и практика экспертной оценки товаров и услуг. Учеб. Пособие / А. Л. Денисова, Е. В. Зайцев. – Тамбов: Т ГТУ, 2002. – 72 с.
5. Вдовиченко І.Н. Інформаційні технології многокритеріального експертного оцінювання альтернатив в соціальних системах. Дис-я. – Київ – 2008. – 192с.
6. Тоценко В.Г. Методи и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект. – Киев: Наукова думка, 2002. – 381 с.
7. Евланов Л. Экспертные оценки в управлении. – М.: Экономика, 1978. – 286 с.
8. Литвак Б.Г. Экспертные технологии в управлении. – М.: ДЕЛЮ, 2004. – 412 с.
9. Гнатіско Г. М., Снитюк В. Є. Експертні технології прийняття рішень : монографія. Київ, 2008. – 444 с.
10. Мураховська О.А., Н.А. Українець. Аналіз застосування методів статистичної обробки експертних оцінок на етапі попереднього проектування складних технічних пристроїв. Системи управління, навігації та зв'язку. Національний університет “Полтавська Політехніка імені Юрія Кондратюка” 2022. №3. С. 39–44.
11. Ворона В.М. Українське суспільство: моніторинг – 2000р. Інформаційно-аналітичні матеріали. – Київ: Інститут соціології НАН України, 2000. – 390 с.

УДК 622.7

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук, проф., М.М. ВІЛЬГЕЛЬМ, аспірант  
Криворізький національний університет

### ОСОБЛИВОСТІ КОАГУЛЯЦІЇ ЧАСТИНОК ТА АДСОРБЦІЯ РЕАГЕНТІВ НА ПОВЕРХНІ ПІННОГО ПРОДУКТУ ФЛОТАЦІЇ

**Мета.** Метою даних досліджень є оцінка можливості зниження впливу коагуляції частинок та адсорбції реагентів на поверхні пінного продукту флотації. Огляд існуючих досліджень у цьому напрямку з метою пошуку оптимальних методів для вирішення даної проблеми. Розгляд механічних, вібраційних, хімічних та інших методів з метою вибору найбільш оптимального для вирішення поставленої мети.

**Методи дослідження.** При проведенні досліджень застосовувались наступні методи: наукове вивчення та узагальнення матеріалу в рамках існуючої проблеми; експериментальні - попередня підготовка пінного продукту методом розмагнічування в магнітному полі; визначення характеристик пінного продукту до операції розмагнічування та після; включення у схему методів магнітної сепарації та флотації з метою отримання продукту з покращеними технологічними характеристиками; проведення хімічних аналізів продуктів технологічних схем.

**Наукова новизна.** У ході експериментальних досліджень встановлено вплив підготовки пінного продукту з використанням магнітного поля перед наступними операціями збагачення. Виявлено відповідність пінного продукту до вологості піни зі сферичними бульбашками. Встановлено закономірність збільшення показників пінного продукту за рахунок зменшення коагуляції частинок під впливом магнітного поля. Визначені відповідності та закономірності надають можливість їх використання у якості вихідних даних для створення математичної моделі.

**Практичне значення.** В рамках досліджень отримані результати – підвищення вмісту заліза загального у магнітному продукті з 44,6 до 47,02% та у камерному продукті флотації з 59,3 до 61,42 %, при збільшенні виходу каме-

рного продукту флотації на 7,1 % при застосуванні операції розмагнічування. Ці дані підтверджують вплив, застосованої операції для зміни фізико-механічних властивостей пінного продукту, включення в технологічну схему додаткових операцій та формування напрямку подальших досліджень. Практична значущість також може бути оцінена внаслідок проведення промислових випробувань та отримання додаткової товарної продукції або використанні нового продукту в існуючій схемі з покращеними технологічними показниками.

**Результати.** В рамках досліджень підтверджено гранулометричний, мінералогічний та хімічний склад пінного продукту. Застосовані методи розмагнічування, магнітної сепарації та флотації, є доцільними при доведенні пінного продукту, але потребують детального вивчення з метою вдосконалення та отримання найкращих результатів.

**Ключові слова:** продукт пінний, коагуляція, адсорбція, магнітне поле, магнітна сепарація, флотація.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-70-77

**Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Практично всі процеси збагачення протікають у дисперсних системах. В них велику роль відіграють адгезія, змочування, капілярність, седиментація, коагуляція, адсорбція, а також багато інших поверхневих явищ. Закономірності протікання поверхневих явищ служать теоретичною основою отримання матеріалів із заданими властивостями [1].

Традиційно в схемах збагачувальних фабрик на різних етапах використовують методи мокрої магнітної сепарації, які не завжди дають очікуваний результат, особливо для родовищ зі складними текстурно-структурними особливостями, розкриттям рудних зерен та ін.

Другою розповсюдженою операцією збагачення залізних руд є флотація. При флотації використовують три основні види флотації: пряма аніонна, зворотна аніонна або зворотна катіонна [2-6].

Може використовуватися поєднання методів флотації з магнітною сепарацією або іншими методами збагачення.

Метод флотаційного збагачення, заснований на відмінності фізико-механічних властивостей мінералів які розділяються [7, 8]. Він широко використовується у гірничодобувній промисловості. Важливою частиною цього процесу є пінний продукт, який складається із найдрібніших частинок мінералів та води. Однак ці частинки залишаються в пінному стані і потребують додаткових заходів для їх збагачення.

Пінний продукт зворотної флотації представлений рудною та нерудною складовою. В процесі флотації він піддається коагуляції під впливом температури, рН пульпи, інтенсивності процесів агітації, конструкції та параметрів флотаційного обладнання та ін.

При флотації також існує явище так званої природної коагуляції, яке є невід'ємною частиною процесу флотації в промисловості. Оптимізація умов для природної коагуляції може покращити ефективність флотації та знизити витрати на хімічні реагенти.

Для успішної реалізації зворотної флотації необхідні ефективні реагенти, які адсорбуються на поверхні рудної та нерудної складової, змінюючи її гідрофільні та гідрофобні властивості.

Основними реагентами при флотації залізних руд є збирачі або колектори. Вони адсорбуються на гідрофобній поверхні мінералів і створюють гідрофобні оболонки навколо частинок, роблячи їх гідрофобними. Це дозволяє частинкам прилипати одна до одної й утворювати пінний продукт, в якому гідрофобні мінерали збираються разом, а рудні компоненти залишаються в суспензії.

Адсорбція реагентів на поверхні рудної та нерудної складової пінного продукту в процесі зворотної флотації - складний і багатогранний процес, який відіграє важливу роль у збагаченні рудних матеріалів. Розуміння механізмів адсорбції, управління параметрами процесу та постійне дослідження нових рішень є ключовими факторами для підвищення ефективності та стійкості цього процесу.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Флотаційне доведення концентратів в технологічному відношенні є найбільш досконалим. Воно кардинально вирішує проблему виробництва чистих залізородних концентратів, аж до мономінеральних фракцій [1]. Однак при флотаційному збагаченні утворюється побічний продукт – пінний продукт. В деяких схемах він циркулює в схемі (замкнутий цикл флотації), в деяких піддається дозбагаченню з використанням різних технологічних операцій або просто відправляється у хвосты.

Пінний продукт флотації є доволі тонкодисперсною системою з великою кількістю шламів які формують седиментаційно стійкі гетерогенні системи.

В роботі [9] наведена характеристика зарубіжних фабрик, які використовують флотаційну доводку магнетитових концентратів з використанням різноманітних операцій з доведення пінного продукту, а саме:

США, Мінтак (US Steel) – пінний продукт основної флотації доподрібнюється та прямує на грохот Derrick, підрешітний продукт збагачується на мокрій магнітній сепарації, отриманий концентрат об'єднується з камерним продуктом основної флотації;

США, Nirthshore Min. Co (Clevel and Cliffs) – доподрібнення та переміщення пінного продукту флотацією;

Канада, Адамс (Dom.f. and Stelf) – пінний продукт направляється на другу стадію подрібнення, збагачується на мокрій магнітній сепарації, потім концентрат направляється на основну флотацію;

Норвегія, Кіркінес (б.Сідваргер) – пінний продукт переміщення направляється на мокру магнітну сепарацію, магнітний продукт на доподрібнення та дозбагачення та ін.

На Полтавському та на Інгулецькому гірничо-збагачувальних комбінатах застосовується зворотна флотація, де пінний продукт – це хвости, а камерний продукт – це концентрат.

На Полтавському ГЗК також існує вузол доведення пінного продукту з встановленням в голові процесу вертикальних млинів та отримання на цій лінії відносно низькоякісного флотаційного концентрату.

Дослідження інтенсифікації зворотної флотації магнетитових кварцитів Михайлівського ГЗК, в частині доведення пінного продукту, проводились з використанням електрохімічної обробки рідкої фази пульпи та без неї. Проведеними дослідженнями встановлено, що при зміненні рН водних систем з 3,63 до 10,6 при використанні хімічних реагентів середовище є окислювальним та окислювально-відновлюючий потенціал (Eh) знаходиться в діапазоні 207-447 мВ. Змінюючи значення рН досліджуваних вод методом їх електрохімічної обробки, можливо отримати відновлююче середовище  $Eh = (-74) - (-362)$  мВ при значеннях рН в області 8,5-10,5, підвищити адсорбцію позитивно заряджених іонів аміна на поверхні кварцу і відповідно, посилити гідрофобність його поверхні та здатність до флотації [10].

Необхідність дестабілізації пін та контролю їх утворення у промислових процесах добре описана в роботі [11]. Вирішення цієї проблеми можливо з використанням фізичних руйнівних методів таких як механічна та ультразвукова вібрація. Ефективність даних методів визначається амплітудою та частотою коливань, а також структурою піни.

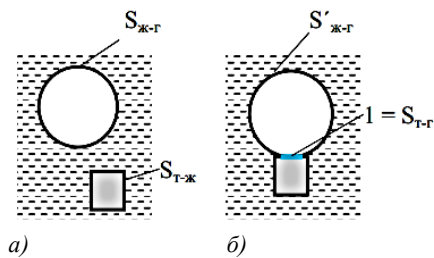
Аналіз публікацій говорить про те, що роботи направлені на створення оптимальних умов для коагуляції частинок та адсорбції реагентів є доцільними та потребують вирішення з метою отримання продукту з новими фізико-механічними характеристиками.

**Постановка задачі.** Метою даних досліджень є вивчення можливості включення додаткових операцій в технологічну схему на підставі аналізу явищ коагуляції частинок та адсорбції реагентів на поверхні пінного продукту флотації, встановлення залежностей руйнування мінеральних флокул та їх впливу на технологічні показники.

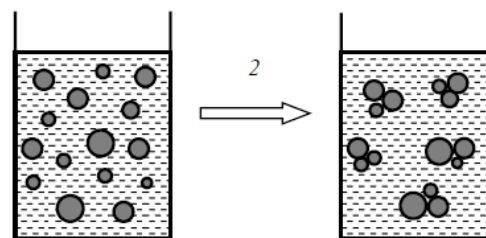
**Викладення матеріалу та результати.** Флотація – це процес розділення дрібних частинок, який базується на різному ступені змочування поверхні. В процесі задіяні три фази: тверда – подрібнений цінний компонент, рідка – пульпа та газоподібна – бульбашки повітря. Частинки, які не змочуються водою (гідрофобні), прилипають до поверхні бульбашок повітря та спливають у камері флотаційної машини вгору, формуючи на поверхні камери пінний шар (пінний продукт флотації – в основному кварц). Частинки, які добре змочуються водою (гідрофільні), залишаються у зваженому стані (камерний продукт флотації – магнетит).

Для формування або посилення природної гідрофобності при флотації використовуються збирачі [12]. Вони адсорбуються на поверхні твердої фази та сприяють прилипанню частинок до бульбашок повітря. На рис. 1, згідно з адсорбційною теорією, відображено формування нової одиничної поверхні тверде-газоподібне, яке подібне формуванню пінного продукту [7].

В процесі флотації також присутнє явище коагуляції або флокуляції представлене на рис. 2. Коагуляція – це поєднання дрібних частинок у більш крупні агрегати.



**Рис.1.** Формування нової поверхні:  
а - до прилипання; б - після прилипання



**Рис.2.** Явище коагуляції

Коагуляція частинок пінного продукту та адсорбція колектору на його поверхні при флотації залізних руд позитивно впливає при виконанні основної операції флотації – розділення на камерний (концентрат) та пінний продукт (умовно відходи). Але негативно впливає на наступні процеси при подальшому збагаченні пінного продукту.

Шляхами вирішення даної проблеми можуть бути:

оптимізація умов флотації: Вивчення та оптимізація параметрів флотації, таких як рН, концентрація реагентів, температура і швидкість перемішування, може допомогти запобігти коагуляції частинок та зменшенню адсорбційної схильності колектору;

використання диспергентів: Диспергенти - це хімічні реагенти, які допомагають запобігти коагуляції частинок пінного продукту. Вони зменшують сили тяжіння між частинками і сприяють їх рівномірному розподілу в суспензії;

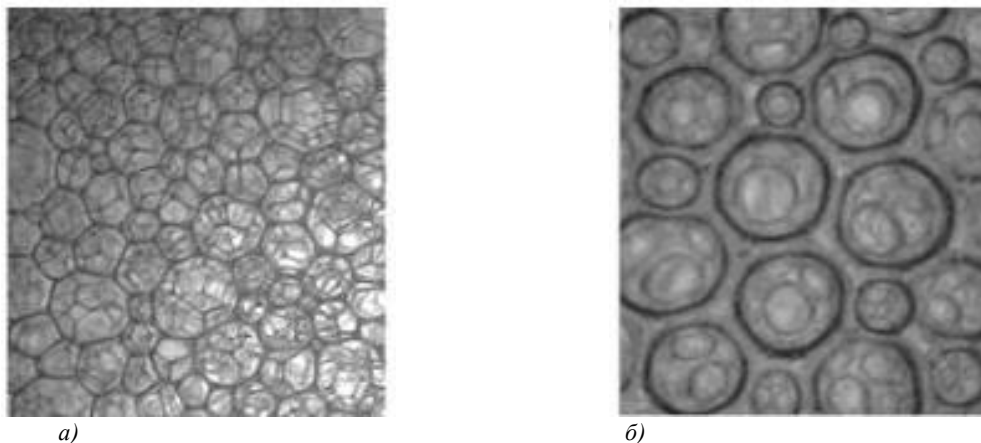
використання додаткових реагентів: Для керування коагуляцією можна використовувати додаткові реагенти, такі як депресанти або дисперсанти, залежно від характеристик руди та умов процесу;

застосування сучасних методів аналізу та моделювання, таких як комп'ютерне моделювання та машинне навчання, може допомогти оптимізувати процес флотації та передбачати коагуляцію частинок;

застосування методів сепарування, відстоювання та ін.

Використання диспергентів та додаткових реагентів у даній роботі не розглядається, тому що призведе до додаткового екологічного навантаження технологічного процесу.

Опираючись на матеріали наведені [11], розглянемо структури пін – рис. 3.



**Рис.3.** Типи піна: а - суха піна – осередки багатогранні; б - волога піна – сферичні бульбашки

На рисунку 3 наведені фото сухої та вологої піни. Пінний продукт відноситься до вологої піни, тобто має сферичні бульбашки зі включеннями рудної та нерудної складової.

Розглянувши теоретичні умови формування пінного продукту, переходимо до експерименту.

Перед початком експериментів була відібрана свіжа проба пінного продукту флотації Інгулецького ГЗК і на її базі виконані наступні уточнення:

повного хімічного складу, мінералогічного складу та розподілу основних мінералів пінного продукту;

оптичної мікроскопії класів крупності пінного продукту.

Результати повного хімічного аналізу наведені в табл.1.

Таблиця 1

Повний хімічний аналіз пінного продукту

Компоненти, %	Fe <sub>заг.</sub>	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO
Пінний продукт	40,7	22,8	0,15	1,0	0,24	0,23	0,24	0,46	0,013	0,039

Мінералогічний аналіз пінного продукту наведено в табл.2.

Таблиця 2

Мінералогічний аналіз пінного продукту по класам крупності

Мінерали/класи крупності	+0,045 мм	+0,038 -0,045 мм	+0,020 -0,038 мм	-0,020 мм	Всього по пробі
Магнетит	25,56	38,95	54,91	86,69	72,13
Кварц	60,45	48,76	34,26	7,10	19,27
Силікати	11,81	10,36	9,04	5,03	7,28
Карбонати	2,18	1,93	1,79	1,17	1,33
Всього	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Розподілення основних мінералів у пінному продукті наведено в табл.3.

Таблиця 3

Розподілення кварцу та магнетиту в класах крупності пінного продукту

Класи крупності	Вихід	+0,045 мм	+0,038 -0,045 мм	+0,020 -0,038 мм	-0,020 мм
Кварц, %	19,27	60,45	48,76	34,26	7,1
Розподіл кварцу, %	100	41,10	9,23	23,73	25,94
Розкритий кварц	57,42	56,13	56,47	53,67	63,22
Магнетит, %	72,13	25,56	38,96	54,91	86,69
Розподіл магнетиту, %	100	4,58	1,94	10,02	83,46
Розкритий магнетит	83,7	21,22	49,86	56,11	91,22

Оптична мікроскопія класів крупності пінного продукту наведена на рисунку 4 .

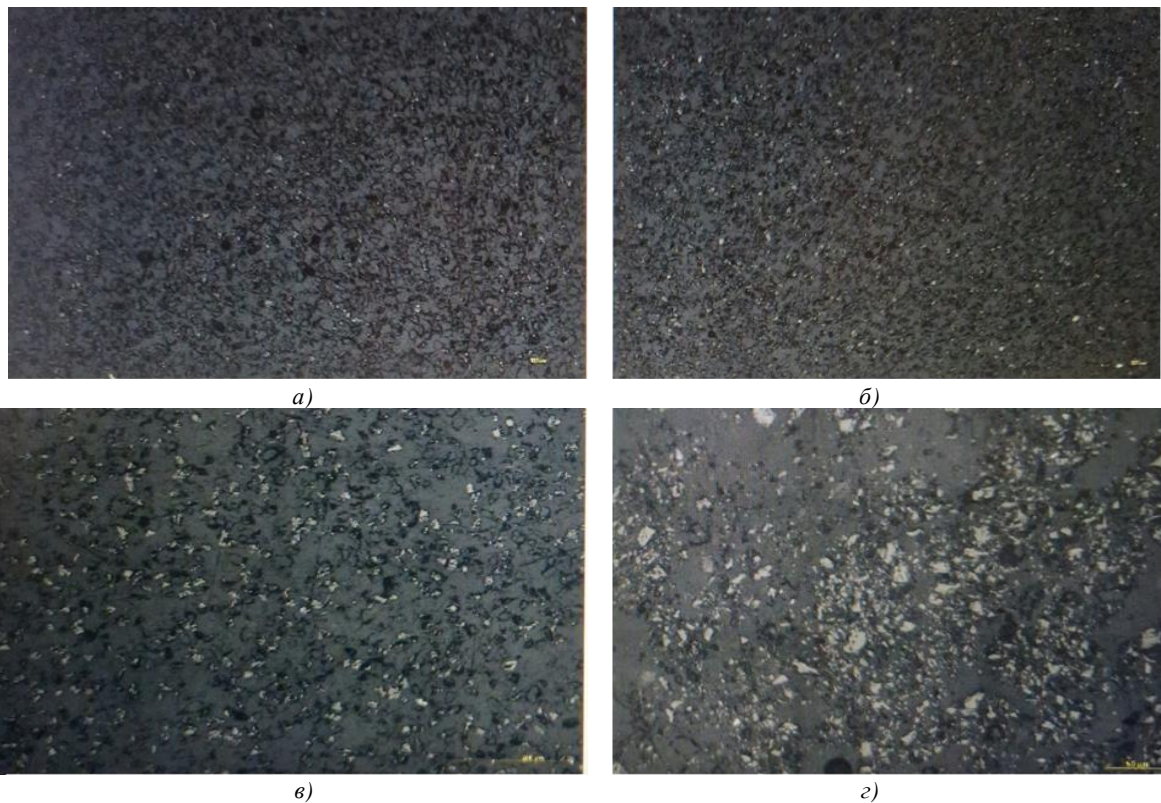


Рис.4. Оптична мікроскопія класів крупності пінного продукту: а – +0,045 мм; б – +0,038-0,045мм; в – +0,020-0,038 мм; з – -0,020 мм

Оптична мікроскопія класів крупності +0,045 мм, +0,038-0,045 мм, +0,020-0,038 мм та -0,020 мм, показує, що крупні класи представлені в основному кварцем, в той час як дрібні – магнетитом. Це також підтверджується мінералогією пінного продукту та розподілом основних мінералів.

Наведені вище характеристики хімічного та мінералогічного складу пінного продукту підтверджують раніше проведені дослідження [13], та говорять про те, що протягом часу вони практично не змінюються.

Першим етапом експериментів є оновлення поверхні пінного продукту та руйнування коагуляційних агрегатів.

В матеріалах дисертаційної роботи [14] одним із методів керування процесу коагуляції є магнітна обробка. Вода пропускається через магнітне поле, яке створюється постійним магнітом або електромагнітом. Багатьма дослідниками [15,16] проводилась оцінка впливу магнітного поля на процес коагуляції. Механізм дії на воду, що оброблюється автори пов'язують з резонансними явищами. Коли частота коливань магнітного поля співпадає з власною частотою коливальних рухів домішок води (атомів, іонів, молекул, у тому числі і колоїдних частинок), то порушуються сполучні їх взаємодії та система дестабілізується.

Методи керування коагуляції магнітним полем описані в роботах [14,15,16] стосуються води. В рамках досліджень даний метод застосовується при збагаченні пінного продукту.

Дослідження пінного продукту проводились з використанням:

магнітного лабораторного сепаратора 237-СЕ-Б, з трьохполюсною магнітною системою з напруженістю середнього полюсу 1500 ерстед, крайніх полюсів 1000 ерстед;

флотомашини 137 ФЛ конструкції інституту Механообр з об'ємом камери 0,5 л у відкритому циклі на технічній воді Інгулецького ГЗК.

У якості збирача використовувався реагент Лілафлот 811 М амінного ряду, діюча речовина ізодецилоксипропіламін (фірма «Akzo Nobel», Швеція). Досліди проводились при витратах реагенту від 50 до 250 г/т. Найкращий результат був отриманий при витраті 250 г/т.

Підготовка проби пінного продукту для подальшого збагачення починається з операції розмагнічування у полі з напруженістю  $H=0,05$  Тл або 39,8 кА/м. З огляду досліджень на воді, така обробка пінного продукту призведе до зменшення коагуляційних частинок, буде сприяти більш швидкому їх осіданню, а також повинно відобразитися на технологічних показниках.

Для можливості порівняння технологічних показників досліди пінного продукту з використанням магнітної сепарації та флотації виконувались послідовно та склалися з двох серій: подача пінного продукту на сепарацію без розмагнічування та з використанням операції розмагнічування. Найкращі результати наведені на рис.5, 6.

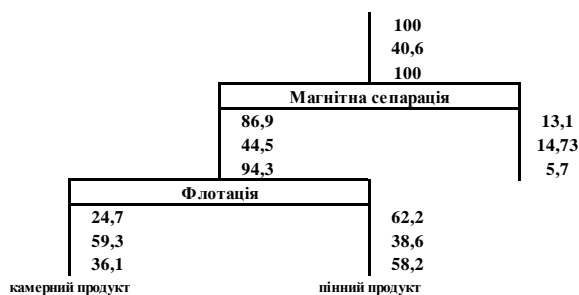


Рис.5. Схема дослід пінного продукту без розмагнічування

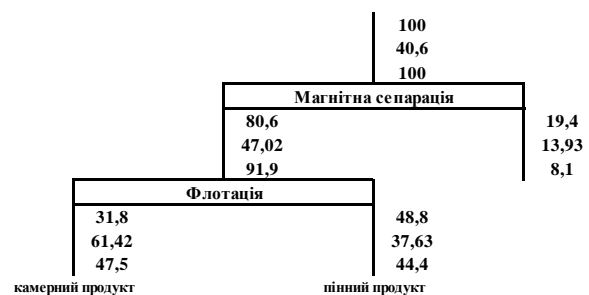


Рис.6. Схема дослід пінного продукту з розмагнічуванням у полі  $H=0,05$  Тл або 39,8 кА/м

Наведені результати лабораторних досліджень свідчать про те, що обробка пінного продукту у магнітному полі перед операціями збагачення позитивно впливає на технологічні показники. Наступні операції збагачення такі як, магнітна сепарація та флотація дозволяють підвищити вміст заліза загального з 40,6 % до 61,42 %.

Отже, отримані результати дозволили встановити залежність руйнування мінеральних флокул під впливом магнітного поля, що в свою чергу позначилось на технологічних показниках кінцевого продукту.

**Висновки і напрямки подальших досліджень.** Аналіз проведених досліджень свідчить про можливість використання операції розмагнічування перед операціями збагачення, з метою

зменшення впливу коагуляції частинок та подальшого використання отриманого продукту у технологічній схемі.

Оцінка впливу зниження явища коагуляції виконана на основі зіставлення показників технологічної схеми без операції розмагнічування та з її застосуванням, а саме:

підвищення вмісту заліза загального у магнітному продукту на 2,42 % (з 44,6 % до 47,02 %) та у камерному продукті флотації на 2,12 % (з 59,3 % до 61,42 %);

зниження виходу магнітного продукту на 6,3 % (з 86,9 % до 80,6 %), але підвищення виходу камерного продукту флотації на 7,1 % (з 24,7 % до 31,8 %).

Включення даної операції в існуючу схему Інгулецького ГЗК потребує проведення промислових випробувань для підтвердження технологічних показників, отриманих в лабораторних умовах.

Для отримання конкурентноспроможного продукту та підвищення якості концентрату, з пінного продукту необхідно направити подальші дослідження на пошук додаткових операцій у схемі. Можливо розглянути операції магнітної дешламації, доподрібнення, оновлення поверхні пінного продукту тощо.

Отримані результати дозволили встановити залежність руйнування мінеральних флокул під впливом магнітного поля, що в свою чергу позначилось на технологічних показниках кінцевого продукту.

### Список літератури

1. **Клындюк А.И.** Поверхностные явления и дисперсные системы: учебное пособие. Минск.2011: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет».317с.
2. **Белан Ф.Н.** Пути освоения флотации железных окислов в Криворожском бассейне. Известие Вузов. Горный журнал. – 1960. – №3.
3. **Бехтле Г.А., Румянцева Н.М.** Флотация гематита, магнетита и мартита некоторыми собирателями анионного и катионного типа. Вопросы разработки месторождений КМА.
4. **Бехтле Г.А., Силищенская Н.М., Глембоцкий В.А., Плаксин И.Н.** Флотация железных минералов из хвостов магнитной сепарации обогатительных фабрик КМАруда. Горный журнал. – 1958. – №1.
5. **Глембоцкий В.А.** Флотация железных руд. – М.: Недра, 1964. – 2016. – 223 с.
6. **Гристан Е.Л., Турецкий Я.М.** Обогащение железных руд и доводка манетитовых концентратов методом обратной флотации. Горный журнал. – 2007. – №2. С. 58-64
7. **Абрамов А.А.** Флотационные методы обогащения. – Москва. – 2016. – Издательство «Горная книга». 595 с.
8. **Олейник Т.А., Сляр Л.В., Олейник М.О., Скляр А.Ю.** Особенности флотации железных руд. Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ. – 2017. – Вип. 67(108). Фахове видання.
9. **Сушацький Ю.В.** Гідродинамічний кавітатор для кавітаційно-флотаційного розділення водних гетерогенних середовищ: дис. канд. тех. наук : 05.17.08 / Національний університет «Львівська Політехніка». Львів, 2017. 194 с.
10. **Журавлева Е.С.** Научное экспериментальное обоснование электрохимических методов повышения технологических показателей переработки черновых магнетитовых концентратов: дис. канд. тех. наук : 25.00.13 / ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», ФГБУН Институт Проблем комплексного освоения недр РАН. Москва, 2017. 111 с.
11. **M. Varigou** Foam Rupture by Mechanical and Vibrational Methods. Chemical Engineering & Technology 24(6):659 – 663. DOI: [10.1002/1521-4125\(200106\)24:6<659::AID-CEAT659>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/1521-4125(200106)24:6<659::AID-CEAT659>3.0.CO;2-1) - June 2001
12. **V.Morkun, G.Gubin, T.Oliinyk, V.Lotous, V.Ravinskaia, V.Tron, N.Morkun, M.Oliinyk** High-energy ultrasound to improve the quality of purifying the particles of iron ore in the process of its enrichment. 2017. doi:10.15587/1729-4061.2017.118448.
13. **Олійник Т.А., Вільгельм М.М.** Передумови підвищення селективності розділення рудної та нерудної складової пінного продукту флотації. Гірничий вісник. –Кривий Ріг. – 2021. Вип.109, -с.73
14. **Бойкова Т.Е.** Применение методов коагуляции в подготовке на целлюлозно-бумажных предприятиях: дис. канд. тех. наук : 05.21.03 / Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова. Архангельск, 2019. 144 с.
15. **Очков В.Ф.** Магнитная обработка воды: история и современное состояние // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. № 2, с.23-29
16. **Шиблева Т.Г., Воронцова Н.В., Солобоева Г.В.** О влиянии магнитной обработки на основные стадии коагуляционной очистки воды.// Вестник Тюменского государственного университета. 2008. № 3, с.54-57