

2. Технологическая инструкция по обжигу железорудных окатышей на обжиговой машине ОК-1-324/336. Система качества. ДСТУ ISO 9001-2001.СТП ЦГОК -11, 2010. - 19 с.
3. Автоматизовані системи керування процесами термічної обробки котунів на конвеєрній випалюваній машині: монографія / **В.Й. Лобов, Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський, С.А. Рубан.** Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. - 250 с.
4. **Мных А.С.** К вопросу синтеза тепловой модели термообработки железорудных окатышей // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2015. № 7. - С. 36-42.
5. **М. Barati** Dynamic simulation of pellet induration process in straight-grate system / International journal of mineral processing. 2008. № 89. P. 30-39.
6. **Bobkov V.I., Borisov V.V., Dli M.I., Meshalkin V.P.** (2015) Modeling the calcination of phosphorite pellets in a dense bed. Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 2, 176-182.
7. **Пирматов Д.С.** Математическая модель тепловой обработки окатышей в обжиговой машине / Сборник трудов всероссийской конференции: Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве НТ - 2010. Воронеж, 2010. - С. 88-89.
8. **Lobov V.I., Kotliar M.O.** (2015) Temperature distribution model of the iron ore pellets layer inside the combustion chamber of the belt kiln burning zone. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2, P. 109-117.
9. **Кривонос В.А., Пирматов Д.С.** Математическая модель процесса обжига окатышей по зонам обжиговой машины для оптимизации режима. / Вестник Воронежского государственного технического университета, 2010. №5. С. 128-132.

Рукопис подано до редакції 23.04.22

УДК 622.012: 658.5: 622.68

В.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет

ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПОРОШКОВОГО АНАЛІЗАТОРА ПРОБ

Мета. Стаття спрямована на аналіз рівня точності вимірів порошкового аналізатора проб та надійності його роботи для визначення напрямків його вдосконалення.

Методика досліджень. Об'єктом досліджень є порошковий аналізатор проб (ПАП), що розроблений колективом проблемно-галузевої лабораторії Криворізького національного університету та призначений для точного і швидкого визначення вмісту корисного компоненту (заліза загального) у підготовлених пробах. В статті виконано аналіз статистичних даних значень відхилень вмісту корисного компоненту ПАП від хімічного аналізу. В якості дослідницького зразку проаналізовано роботу порошкового аналізатора проб, що застосовується на РЗФ Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Розглянуто основні фактори, що впливають на точність вимірів вмісту корисного компоненту, їх класифіковано, наведено відповідні графічні матеріали, що відображують різні показники похибки. На основі графоаналітичних досліджень та методів математичної статистики отримано дані щодо похибок вимірів та обгрунтовано основні напрямки вдосконалення порошкового аналізатора проб.

Наукова новизна полягає в обгрунтуванні перспективних напрямків вдосконалення порошкових аналізаторів проб з метою підвищення точності вимірів вмісту корисного компоненту та надійності роботи.

Практичне значення. Вдосконалення порошкових аналізаторів проб дозволить підвищити точність вимірів та надійність їх роботи, що безумовно позитивно вплине на процес контролю та управління якістю залізорудної сировини, а у подальшому – зміцнить конкурентоздатність гірничих підприємств.

Результати дослідження. Дослідженнями встановлено, що відхилення вмісту корисного компоненту оперативних показників порошкових аналізаторів проб від хімічного аналізу було викликано в основному людським фактором на різних етапах застосування цих приладів – від підготовки проб, налаштування та калібрування, до процесу виміру та реєстрації даних. Лише у окремих випадках збільшення похибки вимірів більше, ніж паспортний показник, було спричинено некоректною роботою апаратної бази пристрою. Визначено напрямки та методи вдосконалення порошкових аналізаторів проб.

Ключові слова: порошковий аналізатор проб, залізорудна сировина, фактори, що впливають на точність вимірів.

doi:10.31721/2306-5435-2022-1-110-139-146

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На початку XXI сторіччя суттєво зросла роль методів оперативного контролю якості залізозмісної сировини та продуктів її переробки [1]. Це відбулося внаслідок підвищення вимог до якості руди та концентрату як одного з головних чинників конкурентоспроможності гірничих підприємств України [2].

Головною перевагою методів оперативного контролю якості є швидкість одержання результатів: їх отримують майже миттєво - від декількох секунд до хвилин від початку процесу вимірювання. Разом з цим, їх недоліком завжди була менша точність у порівнянні з методом хімічного аналізу, який, в свою чергу, має запізнювання в отриманні інформації мінімум на дві години від початку опробування, що значно знижує технологічну цінність даних [3,4].

Розробка колективом проблемно-галузевої лабораторії Криворізького національного університету та впровадження у виробництво порошкового аналізатора проб (ПАП) дозволило комплексно вирішити проблему забезпечення своєчасності (оперативності) та високого рівня достовірності інформації про вміст заліза загального. ПАП призначений для оперативного контролю вмісту корисного компонента у порошкових пробах залізної руди та продуктів її переробки після попередньої підготовки з крупністю до 1 мм. Діапазон вимірів вмісту корисного компонента у пробах - від 1 до 70 %. Конструктивно ПАП складається з пристрою підготовки проб, пробоподатчика, блоку детектування, кювет та персонального комп'ютера (рис. 1) [5]. Можливість оперативного контролю вмісту заліза у порошкових пробах на підставі технічних рішень щодо оптимізації параметрів геометрії зони виміру, та застосування новітніх інженерних рішень у вигляді пристроїв для підготовки проб, що дозволяють стабілізувати щільність та обсяг проби, дозволила знизити похибку вимірювань [6].

Час виміру однієї проби - від 30 до 120 с, залежно від показника активності джерела іонізуючого випромінювання та складу матеріалу проб. ПАП забезпечує високий рівень точності: абсолютна похибка вимірювань не перевищує $\pm 0,5\%$, тобто цей показник на рівні точності хімічного аналізу. Час встановлення робочого режиму - 30 хвилин, нестабільність показань за 8 годин безперервної роботи не повинна перевищувати більше ніж 1 % від швидкості підрахунку інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання.

Пристрій підготовки проб призначений для ущільнення під тиском подрібненого матеріалу проби з метою підготовки зразків до вимірів. Пристрій виконаний у вигляді моноблоку та конструктивно складається з рами та гідравлічного преса. Підготовка проби є необхідним процесом, який забезпечує відповідну точність вимірів, тому ущільнення матеріалу повинно бути однорідним.

Пробоподатчик виготовлений у вигляді диску, що вмонтований у стіл приладу, та має можливість обертання. Диск має отвори для розміщення кювет з матеріалом, реперного зразку та захисного екрану. Пробоподатчик забезпечує подання проби в зону опромінення та видалення його з неї після проведення вимірювання, подання в зону опромінення реперного зразку та перекриття пучка опромінення захисним екраном.

Блок детектування складається з монокристалу NaI, фотоелектронного помножувача (ФЕП) та електронних вузлів перетворення сигналів з ФЕП. Первинний потік гамма-випромінювання формується від радіонуклідного джерела, що розташовано у захищеному свинцевому контейнері. Колімаційний отвір контейнеру формує потік гамма-квантів, що направлений на поверхню проби. Головною функцією контейнеру є біологічний захист персоналу, що обслуговує аналізатор, тому товща його стінок забезпечує зниження потужності дози гамма-випромінювання до рівня природного фону.

Принцип отримання інформації щодо вмісту корисного компонента у пробі ґрунтується у встановленій залежності між вмістом заліза загального та обсягом відбитого потоку гамма-квантів та полягає на вимірі інтенсивності вторинного потоку гамма-випромінювання.

Джерелом гамма-випромінювання є ізотоп Am-241 з енергією квантів 60 кеВ. Відбите (розсіяне) випромінювання реструється за допомогою сцинтиляційного датчика блоку детектування, імпульси з фотоелектронного помножувача підсилюються, формуються за амплітудою, та у вигляді частотного сигналу подаються на вхід персонального комп'ютера, який за допомогою спеціального програмного забезпечення виконує перерахунок частоти імпульсів у вміст корисного компонента, відображує на дисплеї відповідну інформацію та забезпечує зберігання у пам'яті даних при вимірі.

Аналіз досліджень та публікацій. Раніше проводилися дослідження факторів, що впливають на точність оперативного контролю якості мінеральної сировини, але вони стосувалися приладів серії ПАКС та визначали в основному залежності між інтенсивністю відбитого гамма-випромінювання та характеристиками проби – гранулометричним складом, станом поверхні, наповненості кювети та ступінню ущільненості матеріалу [7].

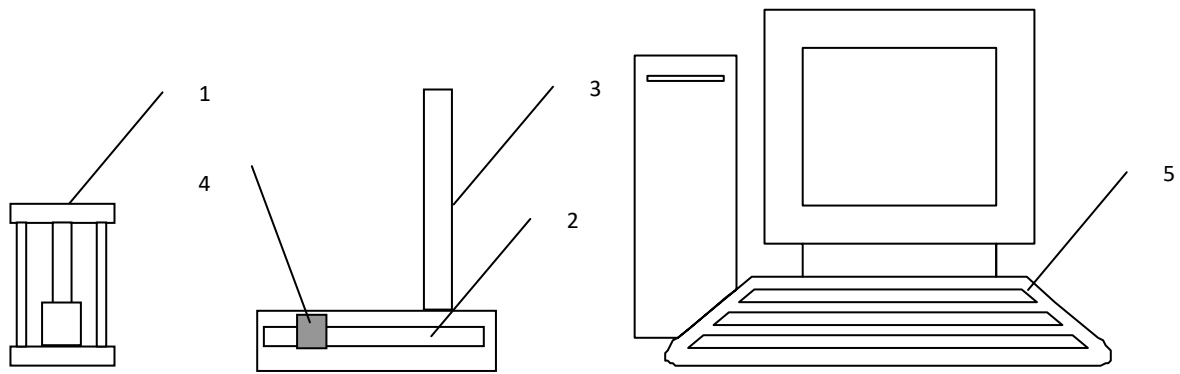


Рис. 1. Конструктивна схема порошкового аналізатора проб; 1 - пристрій підготовки проб; 2 - пробоподатчик; 3 - блок детектування; 4 - кювета; 5 - комп'ютер

Досвід експлуатації ПАП на гірничовидобувних та переробних підприємствах продемонстрував, що у деяких випадках, особливо в період впровадження у виробництво, відбувалось суттєве зниження точності вимірів (похибка зростала на 2-4 %), виходило з ладу обладнання підготовки проб та відбувалися збої у роботі комп'ютера.

Постановка завдання. Для обґрунтування напрямів вдосконалення порошкового аналізатора проб з метою підвищення точності вимірів та надійності роботи треба виконати аналіз та класифікацію основних факторів, що впливають на зниження точності вимірювань. Для визначення основних факторів, що впливають на зниження точності вимірювань (відповідність матеріалу проби та матеріалу, що використовувався при калібруванні; процесу підготовки проб; навичок персоналу; температурних показників та умов експлуатації) було застосовано методи математичної статистики та графоаналітичні методи досліджень.

При цьому використовувались статистичні дані результатів вимірів вмісту заліза загального на рудозбагачувальних фабриках (РЗФ) гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» як з використанням порошкового аналізатора проб ПАП, так й методом хімічного аналізу. За період оцінювання похибки було обрано виробничу зміну (12 год.), критерієм – показник вмісту заліза загального, що отримано методом хімічного аналізу у відповідності до вимог ДСТУ 23581.0:2008 [8], а первинним показником оцінювання похибки вимірювань – відхилення значення вмісту корисного компоненту, що отримано на ПАП від визначення $Fe_{заг}$. тієї самої проби за допомогою хімічного аналізу.

Викладення матеріалу та результати. Першим з факторів, що впливає на точність та стабільність показань порошкового аналізатора проб, є відповідність матеріалу проб калібрувальним налаштуванням. ПАП відноситься до геофізичних приладів оперативного контролю, що є пристроями так званих непрямих методів.

Калібрування приладу здійснюється за затвердженою методикою, яка полягає у реєстрації відбитого від поверхні проби гамма-випромінювання. При цьому вміст корисного компоненту проби вже визначений заздалегідь, за допомогою гостованого методу хімічного аналізу. Маючи масив проб, від мінімального до максимального значення вмісту корисного компоненту з встановленим інтервалом, виконується калібрування приладу.

Слід зазначити, що від достовірності проб хімічного аналізу залежить у подальшому точність вимірів ПАП. Графік калібрування – це залежність вмісту заліза загального від інтенсивності відбитого потоку гамма-випромінювання (рис. 2).

Ці калібрування вносяться у пам'ять комп'ютера ПАП та є обов'язковими для подальшого використання цього приладу. Наявність калібрування, тобто визначеної залежності $Fe_{заг} = f(N)$, надає можливість на основі кількості імпульсів зареєстрованого відбитого випромінювання за зворотнім принципом визначити у пробі $Fe_{заг}$.

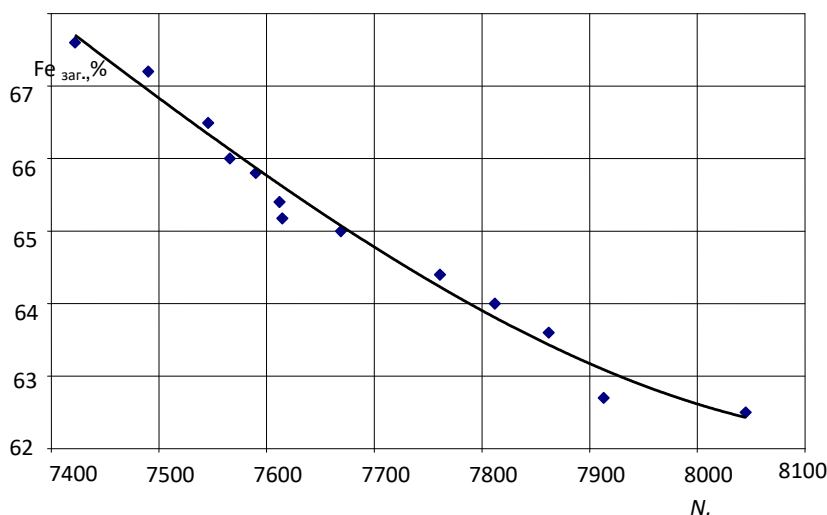


Рис. 2. Графік калібрування ПАП: ◆ - показники інтенсивності для калібрувальних проб;
- крива калібрування

У процесі досліджень процесу впровадження порошкового аналізатора проб у гірничому департаменті ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» було встановлено, що у деяких випадках відбувалися вимірювання проб із застосуванням різновидів руд, що не були занесені у калібрувальні налаштування порошкового аналізатора проб. Це порушувало сам принцип калібрування, внаслідок цього в результаті вимірів було отримано хибні дані тому, що кожен різновид руд має відмінності по залежності $Fe_{заг.}=f(N)$, тобто вимірювання зразків одного рудного матеріалу здійснювали з використанням інших калібрувань. У разі необхідності необхідне проведення вимірювань на декількох різновидах залізовмісної сировини, тому що калібрування повинні бути виконані для усіх можливих варіантів, і це є обов'язковою умовою для успішного застосування аналізатора. Програмне забезпечення одного аналізатора ПАП дає можливість мати калібрування для двадцяти п'яти різновидів руд та концентратів.

Процес підготовки проб також є дуже важливим з точки зору забезпечення заявленої точності вимірів. Насамперед, повинна бути відповідна крупність та однорідність маси проби, тобто процес підготовки відбувається ідентично підготовці проб до хімічного аналізу. Потім потрібно провести наповнення кювети матеріалом, що підлягає вимірюванню, та виконати його ущільнення. Щільність проби є одним з факторів, що впливає на процес поглинання та відбиття гамма-випромінювання, яке, в свою чергу, є головною інформаційною ознакою, що дозволяє визначити вміст корисного компоненту [7]. Наприклад, проби, що мають однаковий показник по вмісту заліза загального, але підготовлені з різним ступенем ущільнення, будуть відображені при вимірах як ті, що мають різний вміст $Fe_{заг.}$. Таким чином, невідповідність процесу підготовки проб, можуть призводити до значного збільшення похибки вимірювань. При цьому треба забезпечити достатнє ущільнення для поверхневого шару матеріалу проби, що підлягає опроміненню гамма-квантами, тому що максимальна чутливість потоку відбитого гамма-випромінювання від коливань щільності відбувається в шарі насичення від 8 мм для руди з вмістом загального заліза 60 % до 19 мм з вмістом 24.3 % [7]. Тому, чим вище вміст корисного компоненту, тим менший шар матеріалу проби використовується як інформаційний для визначення якості, і тим більш ретельні вимоги до його однорідної щільності та крупності.

Навички персоналу мають першочергове значення як у процесі підготовки проб, так і у самому вимірюванні. Найбільш розповсюджені помилки при пробо-підготовці – це недо- або переущільнення матеріалу у кюветі, перекіс кришки та заклинювання її у кюветі, що у подальшому спричиняє вихід з ладу корпусу кювети, наявність просипів повз пробоподатчик, що спричиняє додаткове відбиття випромінювання та збільшення похибки.

Вплив навичок персоналу на похибку вимірювань було досліджено при впровадженні ПАП на РЗФ Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». За розрахункові були взяті дані опробувань концентрату РЗФ-1 на вміст заліза загального порошковим аналізатором проб та хімічного аналізу за 01.04.2019 р., що були виконані в зміну № 1 бригадою № 4.

На основі цих даних було побудовано графік (рис. 3), та встановлено, що середній показник відхилення показань ПАП від хімічного аналізу складав 1.558095 %, а максимальний - 2.92 %. Дисперсія (D) склала 0.20176; середньоквадратичне відхилення (σ) - 0.43835. При цьому переважна більшість вимірів значно перевищувала паспортні характеристики аналізатора (± 0.5 %).

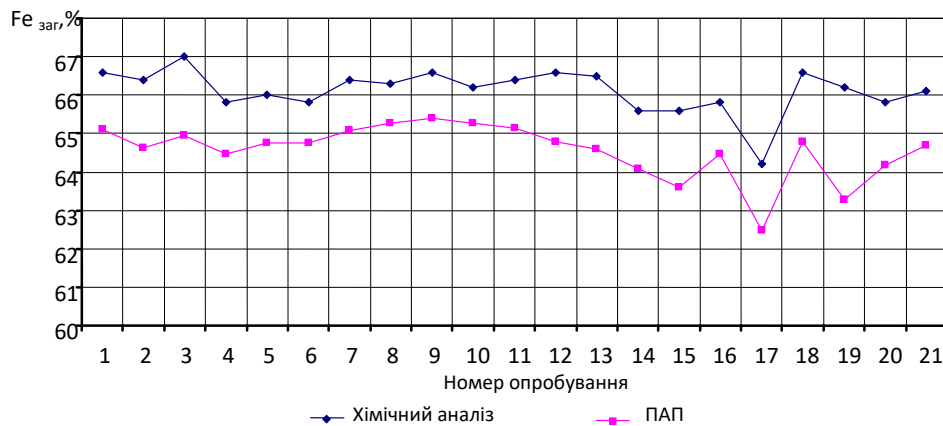


Рис. 3. Графік порівняльних значень опробування концентрату на РЗФ-1 Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» порошковим аналізатором проб та хімічного аналізу за 01.04.2019 р., зміна № 1, бригада № 4

Згідно з правилом «три σ » [9], на основі отриманих даних середньоквадратичного відхилення, похибка не повинна перевищувати максимальне значення 1,32 %, тому наявність таких показань, що перевищують його у пробах №№ 1,2,3,12,13,14,15,16,17,18,19,20 є свідченням некоректності підготовки та проведення вимірів (хибні проби). Загалом за цю зміну масив хибних проб складає 57 %, що є дуже високим показником.

Спеціалістами проблемно-галузевої лабораторії Криворізького національного університету було виконано аналіз роботи персоналу з ПАП та встановлені порушення при підготовці проб до вимірів, після чого було проведено додаткове навчання співробітників відділу технічного контролю, і вже 12.04.2019 р. показник середнього відхилення вимірів заліза загального відносно хімічного аналізу знизився майже у два рази, до позначки 0.79667 (рис. 4).



Рис. 4. Графік порівняльних значень опробування концентрату на РЗФ-1 Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» порошковим аналізатором проб та хімічного аналізу за 12.04.2019 р., зміна № 1, бригада № 1

Дисперсія (D) склала 0.29559; середньоквадратичне відхилення (σ) - 0.53058. При цьому вже значно менша кількість вимірів відносно попереднього періоду перевищувала паспортні характеристики аналізатора. Згідно з правилом «три σ », похибка не повинна перевищувати максимальне значення 1.59 %, тому кількість таких показань, що перевищують його у пробах (№№ 4,5,18) у цю зміну зменшилось вже до рівня 14% від загального масиву.

У подальшому, з відпрацюванням персоналом навичок роботи з ПАП, точність вимірів увійшла у заявлений діапазон (рис. 5). Так, станом на 1.07.2019 р., було отримано показник се-

реднього відхилення значень вимірів ПАП від хімічного аналізу на рівні 0.52 % з максимальним відхиленням однієї окремої проби до рівня 1.53 %. При цьому 50 % від обсягу усіх проб мали порівняльні відхилення вимірів нижчі, ніж встановлений розробниками діапазон. Отримано значення D - 0.16; а σ - 0.38616. Згідно « 3σ » маємо граничний рівень вірогідної похибки на рівні 1.14%, це також підтверджує наявність однієї хибної проби, що складає усього 6 % від загального масиву проб.



Рис. 5. Графік порівняльних значень опробування концентрату на РЗФ-2 Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» поршковим аналізатором проб та хімічного аналізу за 01.07.2019 р., зміна № 2, бригада № 1

Таким чином, вихід на сталий режим ПАП із забезпеченням паспортної точності вимірів корисного компоненту було досягнуто впродовж 3 місяців з початку роботи.

Вплив температурних факторів розробником було враховано конструктивно: ПАП потрібно перед початком вимірювань прогріти, тобто період підготовчого режиму є обов'язковим (30 хвилин), на що прямо вказано в інструкції з експлуатації [10]. Також при експлуатації треба забезпечувати певний температурний режим у приміщенні, тому що різкі коливання температури будуть оказувати вплив на коректну роботу датчика гамма-випромінювання.

Також було проаналізовано та систематизовано причини збоїв у роботі комп'ютерів ПАП та зроблено висновок, що усі вони були викликані перепадами напруги, які притаманні мережам великих підприємств, або раптовим зникненням живлення. В деяких випадках збої в роботі комп'ютерів були викликані некоректною роботою самих операторів. Для виключення у подальшому збоїв внаслідок перепадів або відсутності напруги на аналізатори було додатково встановлено блоки безперебійного живлення з функцією стабілізації. Щодо забезпечення коректності роботи зі спеціальною програмою, то це питання відноситься до компетенції інженерно-технічних працівників, що здійснюють контроль персоналу підрозділів підприємств, в яких експлуатуються порошкові аналізатори ПАП.

Досягнення сталого рівня точності ± 0.5 % після впровадження порошкових аналізаторів проб у виробництво є передумовою зменшення в подальшому кількості проб хімічного аналізу, тому що у цьому випадку їх можна виконувати лише для поточного контролю вимірів на кожне 5-10 опробування ПАП. Це призведе до значної економії матеріальних ресурсів підприємства, а також унеможливлення штрафів за простої залізничних вагонів при відвантаженні продукції.

Виходячи з середньо-змінного показника виконання проб методом хімічного аналізу у Гірничому департаменті ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на рівні 50 одиниць, та собівартості однієї проби хімічного аналізу порядку € 6, можна зробити висновок, що у подальшому скорочення кількості проб хоча б на 10 % призведе до економії коштів до € 21600 за рік.

Основні фактори, що впливають на точність вимірів та стабільність роботи ПАП, відображено у табл. 1.

Класифікація факторів, що впливають на точність вимірів та стабільність роботи ПАП

Фактор негативного впливу	Ступінь впливу на точність, % від загального	Заходи з уникнення фактору негативного впливу
1. Некоректне калібрування	Збільшення похибки вимірів у 2 та більше разів, 30%	Проведення калібрування усіх різновидів залізвмісної сировини згідно з методикою та за умови використання представницьких проб у повному ряду від мінімального до максимального значення з рівним інтервалом
2. Невідповідність матеріалу проб калібрувальним налаштуванням	Збільшення похибки вимірів у 2 та більше разів, 30%	Забезпечення повної відповідності матеріалу проб калібрувальним налаштуванням
3. Невідповідність процесу підготовки проб за крупністю, наповненням та ступінню ущільнення в кюветі	Збільшення похибки вимірів у 2 та більше разів, 25%	Забезпечення крупності та однорідності маси проби, наповнення кювети матеріалом та його ущільнення згідно із інструкцією по експлуатації;
4. Збої у роботі комп'ютера внаслідок стрибків напруги, або тимчасових відключень	Збільшення похибки не відбувається, пов'язаний зі збереженням даних вимірів.	Забезпечення стабілізації напруги відповідними заходами та технічними пристроями.
5. Збої внаслідок некоректної роботи блоку детектування або програмного забезпечення	Триває до усунення проблеми, 15%	Забезпечення договором технічного обслуговування

Висновки та напрямок подальших досліджень. Для забезпечення сталої роботи ПАП з заявленою точністю вимірювань шляхом мінімізації впливу перешкоджаючих факторів необхідно:

проводити калібрування усіх різновидів залізвмісної сировини згідно з методикою та з використанням представницьких проб у повному ряду від мінімального до максимального значення з рівним інтервалом;

забезпечити повну відповідність матеріалу проб калібрувальним налаштуванням;

забезпечити крупність та однорідність маси проби, провести наповнення кювети матеріалом та його ущільнення згідно із інструкцією по експлуатації;

відповідним фахівцям інженерно-технічного персоналу контролювати виконання персоналом відділу технічного контролю вимог інструкції з експлуатації.

2. Встановлено, що вихід на стабільний режим із забезпеченням паспортної точності вимірів корисного компоненту було досягнуто впродовж 3 місяців з початку роботи.

3. Забезпечення роботи ПАП з відповідною точністю вимірювань дозволить в подальшому значно зменшити кількість проб хімічного аналізу, що призведе до значної економії матеріальних ресурсів підприємства – € 21600 за рік на один пристрій.

Напрямок подальших досліджень є модернізація ПАП до рівня моноблоку, який містить автоматизований пристрій підготовки проб з гідравлічним приводом та блок виміру. При цьому процес насипання матеріалу у кювету та його ущільнення буде відбуватися без участі людини, що дозволить знизити кількість некоректних вимірів на 25 %. Підготовлена проба також буде подаватися в зону виміру автоматично.

Список літератури

1. Azaryan A.A., V.A. Azaryan, G.N. Lisovoy State of the problem of quality control in the extraction and processing of iron ore raw materials. Mountain Bulletin: Sat. scientific slave. - Krivoy Rog: - 2012. - No. 95 (1). – S. 132–135.
2. Byzov V.F. (1991) Quarry product quality management. M., Nedra, 1991.– 239 p.
3. Azaryan A.A., Kolosov V.A., Uchitel A.D. Quality of mineral raw materials. Krivoy Rog: Mineral, 2001. - 203 p.
4. Azaryan V.A., Zhukov S.O. Development of the theory of management of the quality of ore flow in the ore deposits of the mining and processing plants / Vcheni zapiski of the Taurian National University named after. Vernadsky: Sciences. magazine. - Kiev: - 2018. - Volume 29 (68). No. 3. - S. 89–94.
5. Pat. No. 119778 Ukraine, G01N 23/203. A method for identifying black and important metals in powder samples of ores / [A.A. Azaryan, V.A. Azaryan, A.M. Gritsenko, V.V. Driga, D.Yu. Miroshnik ta in.]; bid.05.04.17; publ. 10.10.2017; Bull. No. 19.
6. Lisoviy G.M., Vasilenko V.C. Designated instead of the presence of black metal ores in powder samples. The quality of mineral raw materials: zb. Sciences. prats, 2011.– P. 202-208.
7. Azaryan A.A., Azaryan V.A., Vasilenko V.E., Lisovoy G.N., Trachuk A.A. Study of the factors affecting the accuracy of operational quality control of mineral raw materials. Development of ore deposits: zb. Sciences. Pratz, No. 88, 2005.– P. 135-140
8. Povidomlennia pro rozroblennia pershoi redaktsii proektu natsionalnogo standartu. Retrieved from <http://uas.org.ua/ua/messages/povidomlennya-pro-rozroblennya-pershoyi-redaktsiyi-proektu-natsionalnogo-standartu-740/>
9. Gmurman V.E. Guide to solving problems in probability theory and mathematical statistics. M., Higher School, 1979.– 400 p.
10. Instructions for the operation of the powder sample analyzer. TOV "Rudpromgeofizika": Kriviy Riga, 2018. - 22 p. Рукопис подано до редакції 14.04.22