

5. **Гирин В.С., Лучко М.И.** Определение энергоресурсов на основе методики сопоставления маршрутов дорожной сети при обслуживании карьера технологическим транспортом / Разраб. рудн. месторожд., 2006. - Кривой Рог, КТУ. вып. 1 (90). - С. 256-259.
6. **Бовсуновский В.** Горючий выбор. - Сегодня, 17.07.2012.
7. **Сенчихин В.** Новый бензин любой двигатель погубит, 2000. - 20.04.2012.
8. **Гирин В.С., Жуков С.А., Гирин И.В., Лучко М.И.** Отечественные перспективы использования современных альтернативных видов автомобильных видов топлив. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Шляхи вирішення проблем експлуатації спеціалізованих автотранспортних засобів». - Кривий Ріг, КНУ, 2014. - С. 83-85.
9. **Гусак Л., Богодинов И.** Перспективы производства биотоплива. 2000. - 3.03.2006.
10. **Чечелюк П.** «Зеленая солярка» Украины: проблемы и реалии, 2000. 27.04.2007.
11. **Гирин В.С., Гирин И.В., Потапенко В.В., Тупотенко В.В.** Перспективы применения спектрального анализа для диагностирования технического состояния горнотранспортного оборудования. Вісник Криворізького національного університету, 2012. - Кривий Ріг: КНУ. - С. 135-139.
12. **Дубровін В., Корчемний М. та ін.** Біопального // Технології, машини та обладнання. - Київ. - 256 с. 12.
- Вірówka М.Л.** Фізико-хімічні властивості альтернативного пального на основі реальних олій // Механізація та електрифікація сільського господарства, 2002. - вип. 86. - С. 290-294.
13. **Вірówka М.Л.** Фізико-хімічні властивості альтернативного пального на основі рослинних олій // Механізація та електрифікація сільського господарства, 2002. - Вип. 86. - С. 290-294.
14. **Сенчихин В.** Бензин и ток в одной упряжке, 2000. - 28.09.2007.
15. Автомобиль, работающий на теории, будет требовать заправки всего один раз в сто лет. Источник: Carth. - echronicles.ru.
16. **Гирин В.С., Жуков С.А., Гирин И.В., Лучко М.И.** Отечественные перспективы использования современных альтернативных видов автомобильных видов топлив. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Шляхи вирішення проблем експлуатації спеціалізованих автотранспортних засобів». - Кривий Ріг, КНУ, 2014. - С. 83-85.

Рукопис подано до редакції 14.03.16

УДК 550.83: 658.562.07

А.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф., А.Н. ГРИЦЕНКО, младший научный сотрудник
Криворожский национальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ ОБЩЕГО ЖЕЛЕЗА В РУДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Рассмотрены факторы, показывающие на точность определения полезного компонента при экспресс методе. Описано из каких слагаемых состоит погрешность изменения, и приводятся влияющих факторов и теоретические обоснование этих величин. Описаны результаты лабораторных исследований по определению аппаратурной погрешности, а также влияние точности калибровочных коэффициентов для пересчета измеренной величины интегрального потока гамма-излучения в содержание полезного компонента. Определено оптимальное количество измерений для экспресс-анализа проб, при котором обеспечивается необходимая точность измерения для технологического процесса добычи и подготовки руд.

Украина входит в число первой десятки стран мира по производству железорудного сырья. На ее территории располагается 6 % мировых запасов железной руды.

Сейчас предприятия отрасли выпускают весь спектр железорудного сырья: кусковую и мелкую, железорудный концентрат, окатыши и агломерат.

Украина входит в число первой десятки стран мира по производству железорудного сырья. На ее территории располагается 6 % мировых запасов железной руды.

Целью данной работы является исследования и классификация погрешностей рудничных радиометров, а также выбор наиболее точного метода оперативного контроля качества железорудного сырья.

Как известно, при определении содержания полезного компонента гамма-гамма методом, основная суммарная погрешность состоит из аппаратурной, неравномерностью вещественного состава в пробе, геометрии измерения и гранулометрического состава проб.

Аппаратурная погрешность измерений состоит из погрешности обусловленной вероятностным характером распада используемого радионуклида, временной погрешности, связанной с нестабильностью во времени параметров работы регистрирующего излучение тракта, а также погрешностей аппроксимации.

В настоящее время предприятия отрасли выпускают весь спектр железорудного сырья: кусковую и мелкую, железорудный концентрат, окатыши и агломерат. Производственные мощности, которыми они располагают, позволяют не только обеспечить сырьем отечественные металлургические заводы, но и экспортировать значительную часть продукции [1].

Целью данной работы является исследование и классификация погрешностей рудничных радиометров, а также выбор наиболее точного метода оперативного контроля качества железорудного сырья.

Ключевые слова: минеральное сырье, радионуклиды, качество минерального сырья, рудничный радиометр.

Проблема качества минерального сырья была и остается актуальной. Для оперативного контроля и управления качеством минерального сырья в проблемно-отраслевой научно-исследовательской лаборатории Министерства промышленной политики Украины при Криворожском национальном университете под руководством проф. А.А. Азаряна разработаны переносные, мобильные средства для экспресс-анализа содержания общего железа в руде с использованием гамма-излучения [1-3].

Материалы исследования. Исследования проводились с использованием серийного радиометра ПАКС-4, укомплектованного двумя радионуклидами Am-241 активностью по $2,4 \cdot 10^8$ Бк. Зонд устройства был настроен инверсионно по расстоянию между детектором и поверхностью пробы. Длительность одного цикла измерения - 10 с. Исследования выполнялись в режиме измерения, как интенсивности, так и содержания полезного компонента [2,3].

Как известно, при определении содержания полезного компонента гамма-гамма методом, основная суммарная погрешность состоит из аппаратурной, неравномерностью вещественного состава в пробе, геометрии измерения и гранулометрического состава проб.

Аппаратурная погрешность измерений состоит из погрешности обусловленной вероятностным характером распада используемого радионуклида, временной погрешности, связанной с нестабильностью во времени параметров работы регистрирующего излучения тракта, а также погрешностей аппроксимации. Указанные слагаемые аппаратурной погрешности определяли экспериментально, путем серий измерений скорости счета рассеянного гамма-излучения (N) от стандартных образцов типа ГСО с содержанием железа 5; 10; 14,9; 24,4; 32; 40 и 46 %.

Третье слагаемое аппаратурной погрешности - статическая погрешность δ измерения скорости счета импульсов N , обусловленная вероятностным характером распада используемого в качестве источника излучения радионуклида. Теоретически она определяется как [5], %

$$\delta = 100/\sqrt{NT}, \quad (1)$$

где T - время экспозиции радиометра, с; N - скорость счета импульсов регистрируемого излучения, имп·с⁻¹.

Для радиометра типа ПАКС-3, где цикл измерений составляет $T=16$ с, а максимальная интенсивность источника излучения $N_{\max}=16 \cdot 10^3$ имп./с, то аппаратурная погрешность по интенсивности составляет $\delta=0,2-0,35\%$. Исследования показали, что для снижения аппаратурной погрешности необходимо увеличить максимальный диапазон скорости счета импульсов за единицу времени. Например, в радиометре типа ПАКС-4, максимальная интенсивность составляет $30 \cdot 10^3$ имп/с, а цикл измерения можно менять от 0,1 до 10^3 с. При этом погрешность по скорости счета уменьшается до 0,018 %. Эту величину можно считать минимально возможной аппаратурной погрешностью радиометра ПАКС-4, а обусловленная ей погрешность измерения содержания железа.

На рис. 1,2 приведены зависимости интенсивности гамма-излучения (теоретического и экспериментального) от содержания железа в эталонных и в представительных образцах пробы, соответственно.



Рис. 1. Зависимость интенсивности теоретического значения гамма-излучения от содержания железа в эталонных образцах

Получено аналитическое выражение

$$N_1 = -0,245 \cdot \text{FeO}^3 + 27,101 \cdot \text{FeO}^2 - 1160,3 \cdot \text{FeO} + 28220,$$

где FeO - содержание общего железа в эталонных образцах.

При этом надежность аппроксимации составляет $R^2 = 0,99$

На рис. 2 приведена зависимость интенсивности рассеянного (экспериментального значения) гамма-излучения от содержания железа в представительных образцах проб.

Получено аналитическое выражение

$$N_2 = -0,2083 \cdot \text{FeO}^3 + 24,106 \cdot \text{FeO}^2 - 1087,7 \cdot \text{FeO} + 27747.$$

При этом надежность аппроксимации составляет $R^2=0,99$

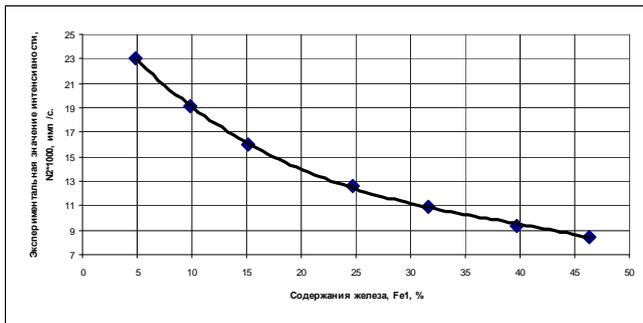


Рис. 2. Зависимость интенсивности экспериментального значения гамма-излучения от содержания железа в представительных образцах проб

Сходимость между теоретическими и экспериментальными данными проверили согласно критерий Фишера при количестве серий $m=7$. $D1$ -расчетно-теоретическая, а $D2$ -экспериментальная дисперсия и составляет 205,904 и 206,96,

соответственно. При этом $F_{кр}=0,1 > 0,05$, что свидетельствует о достаточной сходимости экспериментальных и теоретических результатов[5].

На рис. 3 приведена зависимость абсолютной погрешности аппроксимации от содержания железа в эталонных образцах. Видно, что с увеличением содержания железа от 5 до 46 процентов, абсолютная погрешность возрастает более, чем в два раза.

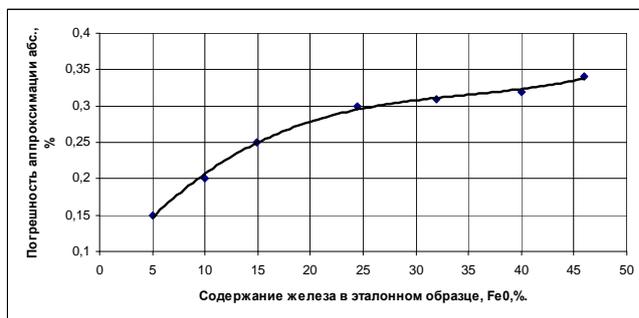


Рис. 3. Зависимость абсолютной погрешности аппроксимации от содержания железа в эталонных образцах

Получено аналитическое выражение погрешности

$$\Delta = 5E-06 \cdot FeO^3 - 0,0005 \cdot FeO^2 + 0,0187 \cdot FeO + 0,0649.$$

При этом надежность аппроксимации составляет $R^2 = 0,99$

Аппаратурная погрешность определялась по результатам ста замеров скорости счета импульсов рассеянного излучения от проб с максимальным 64 % и минимальным 24 % значениями содержания железа. За критерий погрешности взяты величины среднеквадратичной погрешности отдельного измерения числа импульсов ΔS_n и среднеквадратичная погрешность результата серии измерений ΔS_a [2,5]

$$\Delta S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta N_i)^2}{(n-1)}}; \quad (2)$$

$$\Delta S_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta N_i)^2}{(n-1) \cdot n}}, \quad (3)$$

где n - число измерений; ΔN_i - величина отклонения скорости счета импульсов i -го измерения от среднего значения \bar{N} в серии замеров.

Анализ показывает, что распределение скоростей счета близко к нормальному закону.

Для пробы с Fe=24% $\Delta S_n=26,0$ имп=0,263%, $\Delta S_a=2,6$ имп=0,0263%. Для пробы с Fe=64% $\Delta S_n=21,9$ имп=0,378 %, $\Delta S_a=2,2$ имп=0,0378 %. Видно что значений ΔS_n и ΔS_a существенно разнятся, что объясняется различным вкладом в суммарную погрешность, обусловленной вероятностным характером распада радионуклида [2,9,10].

По значениям приведенных погрешностей оценим аппаратурную погрешность измерений величины N скорости счета импульсов, характеризующую интенсивность излучения.

Задаем значение доверительной вероятности $\alpha=0,999$, и для $n=100$ находим из таблиц коэффициент Стьюдента $t_\alpha=3,39$ и определяем погрешность ΔN измерения интенсивности рассеянного гамма-излучения

$$\Delta N = \Delta S_a \cdot t_\alpha \quad (4)$$

Абсолютная аппаратурная погрешность при указанных режимах работы радиометра и средних скоростях счета $\bar{N}=9914$ имп/с и $N_2=5791$ имп/с составляет соответственно $\Delta N_1=8,8$ имп, $\Delta N_2=7,5$ имп/с. При этом, результат измерения интенсивности можно записать как $N_1=9914 \pm 8,8$ имп/с, $N_2=5791 \pm 7,5$ имп/с.

Относительная аппаратурная погрешность[2,5]

$$\varepsilon = \frac{\Delta N}{N}; \quad (5)$$

соответственно равняется $\varepsilon_1=0,089\%$ и $\varepsilon_2=0,13\%$.

Необходимо отметить, что значения аппаратурных погрешностей получены из серии 100 измерений, а при другом количестве измерений они будут отличными. Поскольку в методиках по применению радиометров рекомендуется проводить измерения содержания железа в пробе серийно из 3-х измерений. В этом случае изменяются значения ΔS_n и t_α и соответственно значение ε_1 возрастает до 4,87%, а ε_2 - до 6,82% при надежности $\alpha=0,999$.

По результатам исследований установили, что среднее значение абсолютной погрешности измерений, обусловленных аппроксимацией, составляет $\pm 0.36\%$.

Для оценки аппаратурной погрешности как функция содержания железа найдем значение выражения контрастности [2,5], %

$$K = \frac{2|\bar{N}_1 - \bar{N}_2| \cdot 100}{(\bar{N}_1 + \bar{N}_2) \cdot (q_1 - q_2)}, \quad (6)$$

которая показывает, на сколько процентов в среднем изменяется интенсивность излучения при изменении содержания железа на 1%. В данном случае $\bar{K}=1,31$.

Деля полученные средние значения величины $\bar{\varepsilon}$ на \bar{K} , находим средние значения аппаратурной погрешности измерения содержания железа. Для серии из 100 измерений она составит 0,084 %, для серии из 3-х измерений - 4,47 % (за счет возрастания t_α с 3,37 до 31.6 и ΔS_n в $\sqrt{100/3}$ раз).

Ориентируясь на полученные значения аппаратурной погрешности, проведена серия экспериментов по определению величины погрешностей, вносимых способом подготовки поверхности пробы к облучению, влиянием геометрии облучения, и выбору оптимального варианта подготовки облучения проб. Измерения проводились на воздушно-сухих пробах класса - 1 мм с содержанием железа 24,4; 38,4 и 64 %.

Чтобы установить погрешности от подготовки проб, было исследовано три варианта.

Вариант I - облучение пробы проводили через дно кюветы.

В *варианте II* пробу подготавливали к облучению, так же как и в *варианте I*, но облучали непосредственно материал пробы.

В *варианте III* после срезания излишка поверхность пробы уплотняем специальным пуансоном, вдавливая его в кювету до заданной глубины погружения [2].

Анализ результатов показывает, что разброс данных, характеризуемый средней скоростью счета N с относительной погрешностью ε , для трех вариантов различен и лежит в диапазоне от 0,28 до 1,63%. При этом, контрастность проб меняется в пределах 0,69-1,32.

Максимальный разброс ($\varepsilon=1,63$) характерен для измерений по *варианту I*, т.е. когда облучение пробы выполняется через дно кюветы. При этом, увеличивается общая интенсивность от пробы, примерно на 26-30 %.

Однако, это приращение интенсивности не несет информации о содержании железа, а наоборот снижает показатель контрастности \bar{K} , примерно в два раза. (от 1,37 до 0,7). Результаты исследования показали, что *вариант III* является предпочтительным при определении содержания железа с использованием гамма-излучения [2,7]. Для оценки эффективности использования варианта облучения пробы, целесообразно применить отношение аппаратурной погрешности ε и контрастности пробы \bar{K} . В качестве оптимального использовать *вариант*, у которого данная величина максимальна.

Исследованиями установили, что отношение аппаратурной погрешности и контрастности пробы для первого вариант составляет 0,42, второго - 2,28, и для третьего 4,7. Таким образом, подготовка проб и облучения их по третьему варианту (т.е. проба уплотнена и облучается материал пробы непосредственно) обеспечивают наилучшие результаты по сходимости контрастности и наименьшие погрешности измерений [7, 13-15].

Для подтверждения данного высказывания, нами на основании данных эксперимента рассчитана величина погрешности Δ , % определения содержания железа для различных значений Fe содержания железа, числа n в серии измерений, надежности α и двух из указанных вариан-

тов подготовки проб и облучения, значения которых приведены на рис. 4. Расчеты Δ проводились по формуле (2,5)

$$\Delta = \frac{\Delta S_n}{\sqrt{n}} \cdot t_{\alpha}(\alpha, n) / \frac{\bar{N}_{\max} - \bar{N}_{\min}}{q_{\max} - q_{\min}}, \quad (7)$$

где $t_{\alpha}(\alpha, n)$ - коэффициент Стьюдента для задаваемой надежности α и числа n измерений в серии; $q_{\max}-q_{\min}$ - граничные значения содержания железа; $\bar{N}_{\max} - \bar{N}_{\min}$ - скорости счета импульсов, соответствующие граничным содержаниям полезного компонента.

Как видно из рис. 4 погрешность определения содержания в значительной степени зависит от количество измерений и требуемой надежности. Средняя суммарная погрешность при $\alpha=0,9$ составляет 0,43 %, $\alpha=0,95$ - 0,58 %, $\alpha=0,98$ -0,84 %, $\alpha=0,99$ -1,09 %.

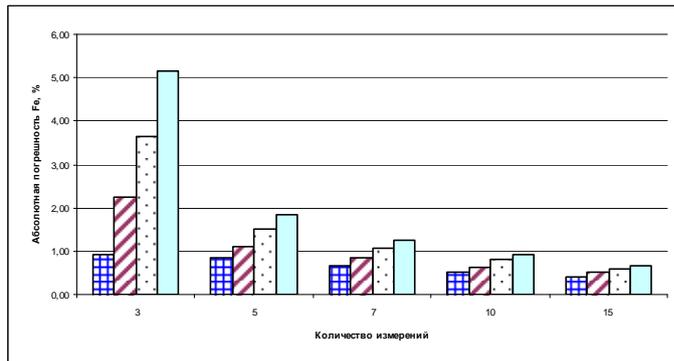


Рис. 4. Гистограмма зависимости абсолютной погрешности от количества измерений, при критерии значимости $\alpha=0,9$; $\alpha=0,95$; $\alpha=0,98$; $\alpha=0,99$

При увеличении количество измерений от 3 до 15, абсолютная погрешность уменьшается от 2 до 7 раз.

Таким образом, рекомендуемое количество измерений для экспресс анализа руд $n>3$ и критерий Фишера $\alpha=0,95$.

Выводы. 1. Средние значения аппаратурной погрешности измерения содержания железа для серии из 100 измерений составляет 0,084 %, для серии из 3-х измерений - 4,47 % .

Абсолютная аппаратурная погрешность при средних скоростях счета $\bar{N}=9914$ имп/с и $N_2=5791$ имп/с составляет соответственно $\Delta N_1=8,8$ имп, $\Delta N_2=7,5$ имп/с. При этом относительная аппаратурная погрешность, соответственно равняется $\varepsilon_1=0,089\%$ и $\varepsilon_2=0,13\%$. **2.** Среднее значение абсолютной погрешности измерений, обусловленная аппроксимацией и с увеличением содержания железа от 5 до 50 % погрешность аппроксимации увеличивается от 0,15 до 0,37 %.

3. Средняя суммарная погрешность при $\alpha=0,9$ составляет 0,43 %; $\alpha=0,95$ -0,58 %; $\alpha=0,98$ -0,84 %; $\alpha=0,99$ -1,09 % . При увеличении количество измерений от 3 до 15, абсолютная погрешность уменьшается от 2 до 7 раз. **4.** Рекомендуемое количество измерений для экспресс-анализа руд с использованием гамма-излучения, $n>3$ и критерий Фишера $\alpha=0,95$. Установлено, что временная составляющая аппаратурной погрешности радиометра, характеризуемая дрейфом скорости счета от среднего его значения за 6 часов работы, составляет от 0,01 до 1 % . **5.** Величина ее определяется только качественными характеристиками датчика, а конкретнее - временной стабильностью фотоэлектронного умножителя и питающего его источника напряжения.

Список литературы

1. Азарян А.А. Качество минерального сырья / Азарян А.А, Колосов В.А., Ломовцев Л.А., Учитель А.Д. // Кривой Рог, «Минерал», 2001. - 204 с.
2. Патент України №78353 «Способ визначення вмісту чорних и важких металів у порошкових пробах руд» / Азарян А. А., Василенко В.Є., Лисовий Г.М., Василенко Є. С. 2007 БИ №3.
3. Азарян А.А. Оперативный контроль качества минерального сырья/ Азарян А.А., Вилкул Ю.Г, Колосов В.А .-М: Горный журнал, 2005.- №5. - С 106-108.
4. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебн. пособ для вузов / В.Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003. - 188 с.
5. Азарян А.А Модель геометрии измерения интенсивности рассеянного от горных пород гамма-излучения/ Азарян А.А Институт проблем моделирования, «Электронное моделирование» №5, Киев, 2010. - С. 111-117.
6. Бызов В.Ф., Азарян А.А. Управление качеством минерального сырья. Сборник научных трудов "Качество минерального сырья", Кривой Рог, 1999. - С. 10-27.
7. Азарян А.А., Азарян В.А., Василенко В.Е., Лисовой Г.Н., Трачук А.А. Исследование факторов, влияющих на точность оперативного контроля качества минерального сырья // Разраб. рудн. месторожд., 2008. - Вып. 88, Кривой Рог.КТУ. - С.135-140.
8. Азарян А.А. Оперативный контроль качества минерального сырья с использованием рассеянного гамма-излучения. Разработка рудных месторождений: НТС.- Кривий Ріг: Мінерал, №93, 2010 –с.153-158.

9. Вилкул Ю.Г., Азарян А.А., Колосов В.А. Переработка и комплексное использование минерального сырья техногенных месторождений. Гірничий Вісник Криворізького національного університету-2013, № 96. - С.3-10
11. Близнюк Г.И., Большаков А.Ю. Способ рудоподготовки с использованием данных ядернофизического опробования // Обогащение руд. -1979 -№5. - С. 10-11.
12. Пак Ю. Н. Выбор энергии первичного излучения при контроле качества известняка гамма-альбедным методом // Изв. вузов. Горный журнал. – 1985. - №7. – С. 8-12.
13. Сторм Э., Исраэль Х. Сечение взаимодействия гамма – излучения. – М.: Атомиздат, 1973. – 254 с.
14. Albert Azaryan, Vladimir Azaryan Use of Bourger Lambert Bera law for the operative control and quality management of mineral raw materials, Metallurgical and Mining Industry, 2015 , No. 1 p. 4-9
15. Albert Azaryan Research of influence single crystal thickness $n_{aj}(t)$ on the intensity of the integrated flux of scattered gamma radiation [Електронний ресурс] / A. Azaryan // Metallurgical and Mining Industry.– 2015.– №2.– Р. 43-46.
16. Азарян А.А. Информационное обеспечение автоматизированной системы контроля качества при добыче железорудного сырья в условиях карьеров. Інженерія програмного забезпечення / [Азарян А.А., Азарян В.А., Гриценко А.Н., Мирошник Д.Ю., Кайгородов Р.А.] Науковий журнал, № 2(10) 2013, Київ, Національний авіаційний університет. - С. 15-27.

Рукописот поступила в редакцію 21.03.16

УДК 622.755-52: 681.513.6

А.В. МИКОЛЕНКО, магістрант, Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ГІДРОЦИКЛОНОМ З ВИКОРИСТАННЯМ АДАПТИВНОГО РЕГУЛЯТОРА ЗІ СХЕМОЮ ШВИДКІСНОГО ГРАДІЄНТУ

Для отримання в зливів гідроциклону часточок руди однакового розміру, важливим процесом є підтримання щільності залізорудної пульпи на деякому сталому рівні. Це можливо при використанні технологічного зумпфа, що розташовується перед гідроциклоном. Залізорудна пульпа потрапляє до технологічного зумпфа нерівномірними порціями, та найчастіше має неоднорідну щільність. Це може бути обумовлено як різним мінералогічним складом сировини, так і неякісним процесом подрібнення. Тому для підтримання сталого рівня пульпи, є важливим питанням регулювання подачі додаткової води в технологічний зумпф. На сьогодні регулювання рівня пульпи в технологічному зумпфі є основним способом впливу на роботу гідроциклону. При зміні рівня сировини в технологічному зумпфі при подачі додаткової води також змінюється і щільність залізорудної пульпи. Неконтрольована зміна щільності може стати причиною потрапляння до зливу гідроциклону різних за розміром часточок руди, що в свою чергу впливає на якість класифікації залізорудної пульпи.

У статті розглянуто актуальні питання ефективності процесу класифікації залізорудної пульпи в комплексі технологічний зумпф-гідроциклон. Обґрунтовано питання важливості якісного процесу класифікації вхідної сировини в гідроциклоні при зміні гранулометричного складу залізорудної пульпи в процесі роботи гідроциклону. Синтезовано та досліджено роботу адаптивного регулятора зі схемою швидкісного градієнту при впливах на об'єкт керування параметричних збурень. Проаналізовано поведінку регулятора при змінах амплітуд параметричних збурень, та при зміні кількості збурюючих факторів, що негативно впливають на об'єкт керування під час його роботи. Виявлено, що при використанні адаптивного регулятора зі схемою швидкісного градієнту, похибка керування значно зменшується, що є прямим показником доцільності використання досліджуваного регулятора. Таким чином, вказано напрямок подальших досліджень – розвиток автоматичних систем керування гідроциклоном в умовах зміни гранулометричного складу пульпи.

Ключові слова: гідроциклон, адаптивна система керування, регулятор, схема швидкісного градієнту.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Мета класифікації пульпи гідроциклоном - отримання бажаної за крупністю руди в зливів гідроциклону.

Подальше збагачення руди багато залежить від якості залізорудної сировини, отриманої в зливів гідроциклону.

Оскільки, гранулометричний склад пульпи в процесі роботи гідроциклону постійно змінюється під впливами різноманітних збурень [1-2], система автоматичного керування повинна бути спроможна компенсувати неконтрольовану зміну гранулометричного складу пульпи.

На рис. 1 зображено реакцію системи на одиничний ступінчастий сигнал під впливом параметричних збурень під час роботи гідроциклону [3].

Найпоширенішим способом керування в умовах, що негативно впливають на об'єкт керування є використання PID-регуляторів [4-6].

Але такі регулятори, для розрахунку коефіцієнтів керування потребують повної інформації про об'єкт керування, яку в випадку з гідроциклоном, отримати практично неможливо.