

томатического контроля содержания полезного компонента (железа) без предварительного отбора и подготовки проб в технологических потоках в реальном масштабе времени позволяет создавать комплексные системы управления качеством продукции, как отдельных технологических процессов переработки минерального сырья, так и целых производств.

#### *Список литературы*

1. **А.А. Азарян.** Исследование и оптимизация параметров центрально-смещенной геометрии измерения интенсивности гамма-излучения. Сборник научных трудов «Качество минерального сырья» Кривой Рог. –2008 г., -224 с.
2. **А.А. Азарян.** Ядерно-физический метод контроля качества минерального сырья», -К.: УкрННТН, -1990, -С. 4-15.

УДК 658.562.64:622.3

А.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, Г.Н. ЛИСОВОЙ ст. науч. сотр.,  
В.Е. ВАСИЛЕНКО ст. науч. сотр., Криворожский технический университет

### **АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА РАДИОМЕТРАМИ ПАКС**

Проблема достоверности контроля минерального сырья, со сложным химическим составом при экспрессном опробовании, тесно связана с мешающими факторами, флуктуации которых необходимо компенсировать при помощи специальных методов и средств.

Проблема достовірності контролю мінеральної сировини, із складним хімічним складом при експресному опробуванні, тісно пов'язана з негативними факторами, флуктуації яких необхідно компенсувати за допомогою спеціальних методів і засобів.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Согласно паспортным данным, на рудничные радиометры ПАКС они обеспечивают точность определения содержания железа в пробах руды  $\pm 2\%$  относительных. При этом оговаривается, что материал пробы должен иметь крупность  $-5$  мм.

К сожалению пользователи, (службы ОТК горнодобывающих предприятий) не выполняя требований по крупности материала предъявляют претензии на достоверность результатов контроля и большие расхождения данных с результатами химического анализа.

**Анализ исследований и публикаций.** В данной работе на примере экспресс-анализа проб руды крупностью до  $- 25...30$  мм показаны основные источники столь высоких расхождений. Для исследований были взяты 12 проб руды указанной выше крупности с содержанием железа в диапазоне  $49...63\%$ .

**Изложение материала и результаты.** Эксперимент сводился к измерению радиометром ПАКС-4 интенсивности рассеянного материалом проб излучения. Причем, использовали зонд БДНО-1, с 4-мя источниками излучения на основе америция-241, активностью по  $1,85 \times 10^8$  Бк каждый, время экспо-

зиции брали 10 с. Облучение материала проб вели через дно кюветы. Материал каждой пробы пересыпали в кювете по 10 раз и, кроме того, при одной засыпке делали по 3 экспозиции, проворачивая кювету на 120 градусов после каждой экспозиции. Таким образом, для каждой пробы было получено 30 значений величин интенсивности рассеянного излучения. По результатам измерений по формуле 1 определяли величину воспроизводимости  $\sigma_{\text{в}}$  интенсивности излучения, и пересчетом, воспроизводимость измерения содержания железа.

$$\sigma_{\text{в}} = \sqrt{\frac{\sum (N_i - \bar{N})^2}{n-1}} \quad (1)$$

где  $N_i$  - величина интенсивности излучения при  $i$ -том замере от  $i$ -той пробы,  $\bar{N}$  - среднее по всем замерам значение величины интенсивности от  $i$ -той пробы,  $n$  - число замеров интенсивности от пробы

Кроме того, был сделан рассев материала проб ситами с диаметром отверстий 5, 10, и 20мм.

Результаты экспериментов приведены в табл. 1 и на рис. 1, где показана связь величины интенсивности рассеянного излучения с содержанием железа в пробе (по данным химического анализа).

Из рис. 1 наглядно видна низкая корреляционная связь между интенсивностью регистрируемого излучения и содержанием железа в пробах руды.

Таблица 1

| Характеристика пробы |                     |                      |                   |                                  |          |          |        | Параметры отраженного от пробы излучения |                              |                                  |
|----------------------|---------------------|----------------------|-------------------|----------------------------------|----------|----------|--------|--|------------------------------|----------------------------------|
| № пробы              | Содерж. Fe, % (x/a) | Содерж. Fe, % (ПАКС) | Разница содерж. % | Содержание фракции крупностью, % |          |          |        | $\bar{N}$ имп/с                          | $\sigma_{\text{в}}$ , имп./% | $\sigma_{\text{в}}$ , % Fe, абс. |
|                      |                     |                      |                   | 0...5мм                          | 0...10мм | 0...20мм | >20 мм |  |                              |                                  |
| 1                    | 56,7                | 52,5                 | 4,2               | 61,2                             | 90,5     | 100      | 0      | 24540                                    | 74/0,3                       | 0,79                             |
| 2                    | 49,5                | 46                   | 3,5               | 19,8                             | 36,7     | 84,2     | 15,8   | 25248                                    | 500/1,98                     | 5,29                             |
| 3                    | 51,62               | 49,4                 | 2,22              | 24,3                             | 43       | 98       | 2      | 24850                                    | 145/0,58                     | 1,53                             |
| 4                    | 58,4                | 62,7                 | 4,3               | 26,4                             | 43,6     | 88,6     | 11,4   | 23577                                    | 214/0,91                     | 2,26                             |
| 5                    | 60,53               | 54                   | 6,53              | 34                               | 55       | 94       | 6      | 24371                                    | 287/1,18                     | 3,04                             |
| 6                    | 62                  | 65                   | 3                 | 22                               | 428      | 89       | 10,8   | 23328                                    | 92/0,39                      | 0,98                             |
| 7                    | 50,6                | 52,5                 | 1,9               | 25,4                             | 44       | 87,7     | 12,3   | 24543                                    | 175/0,71                     | 1,85                             |
| 8                    | 59,38               | 62,7                 | 3,32              | 23,8                             | 45       | 92,7     | 7,3    | 23578                                    | 163/0,7                      | 1,72                             |
| 9                    | 52,71               | 60                   | 7,29              | 17                               | 36,8     | 89,2     | 10,8   | 23837                                    | 190/08                       | 2,0                              |
| 10                   | 59,28               | 58                   | 1,28              | 26,2                             | 45,6     | 92,7     | 7,3    | 24046                                    | 294/1,22                     | 3,11                             |
| 11                   | 63,7                | 65                   | 1,3               | 27                               | 41,6     | 88,3     | 11,7   | 23331                                    | 234/1,0                      | 2,5                              |
| 12                   | 63,3                | 59,8                 | 3,5               | 19,3                             | 35,6     | 87,6     | 12,4   | 23853                                    | 257/1,08                     | 2,72                             |

**Примечание.** В графе "Содерж. Fe, % (ПАКС)" приводятся значения содержания железа рассчитанные аналитически, путем аппроксимации значений интенсивности, полученных в эксперименте, по линейному закону  $N=29509.7-94.467g$ .

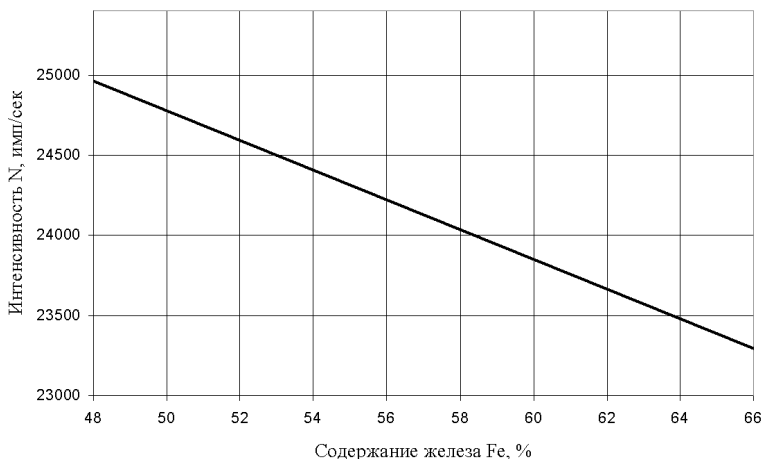


Рис. 1. Связь интенсивности рассеянного излучения с содержанием в пробе руды железа

В результате обработки данных получено аналитическое выражение  $N=92,603Fe + 29409$ , надежность аппроксимации  $R^2=0.56$ .

Математическая обработка показывает, что коэффициент корреляции между этими параметрами не превышает 0.77, тогда как на пробах класса -5 мм он обычно выше 0,9.

Анализ результатов показывает, что воспроизводимость по интенсивности в среднем равна 0,9% и колеблется от 0,3 до 1,98, а в пересчете на содержание железа среднее значение равно 2,38 % (минимальное -0,79 %, максимальное -5,29 %).

Только у двух проб воспроизводимость по содержанию железа не хуже 1 %. Безусловно, с такой низкой воспроизводимостью не представляется возможным контроль содержания железа даже с точностью  $\pm 1,5 \dots 2,0$  % абс.

Основная причина низкой корреляционной связи и воспроизводимости – невозможность качественного усреднения по содержанию железа материала по объему пробы из-за наличия в ней крупных фракций и существенного отличия содержания железа в мелких и крупных фракциях пробы. Следует подчеркнуть, что в первую очередь негативно влияет на воспроизводимость не столько наличие крупных фракций материала, а именно большое различие в содержании железа в мелкой и крупной фракциях пробы. Это подтверждается тем, что пробы с практически одинаковым гранулометрическим составом (проба №8 и №10) имеют существенно различные воспроизводимости (1.72 и 3.11 % соответственно) и, в тоже время, пробы с разным гранулометрическим составом (проба №1 и №6) имеют практически одинаковую и до-

вольно хорошую воспроизводимость, поскольку, в них содержание железа в мелкой и крупной фракциях отличаются незначительно.

Другим выводом анализа является то, что интенсивности рассеянного излучения материалом проб № 9 и № 12 практически одинаковы, а данные химического анализа указывают на расхождение в содержании железа на 10.6 %! Подобная ситуация с пробами №1 и №7, где расхождение в содержании железа составляет 6 %. Объяснение этому может быть только одно – материал проб по которому проводился химический анализ не адекватен материалу проб для экспресс-анализа радиометром ПАКС. Причина неадекватности – невозможность отбора двух идентичных по содержанию железа проб из материала такой крупности. Поэтому сопоставление результатов экспресс-анализа и химического правомерно только в том случае, когда вся масса пробы, входящая в кювету радиометра, после обмера измельчена до крупности аналитического порошка или хотя бы до –3 мм и уже после этого отобрана навеска для химического анализа.

Анализируя характер расхождения результатов контроля содержания железа радиометром ПАКС с данными химического анализа, можно отметить, что в подавляющем большинстве случаев радиометр завышает содержание. Причин этого две.

Первая - материал мелких фракций пробы, более богатых железом, при засыпке кюветы скапливается на ее дне, т.е. происходит дифференциация материала пробы по крупности и содержанию. В процессе приборного контроля содержания железа с датчиком БДНО именно нижние слои пробы, расположенные ближе к источникам и детектору излучений, обладают большей информативностью, и, в итоге, радиометр показывает завышенное содержание железа.

Это подтверждается характером приведенной на рис. 2 зависимости интенсивности рассеянного излучения от толщины слоя руды в кювете при облучении через дно кюветы проб с содержанием железа 25,9 и 32,5 %%. В результате обработки получены аналитические выражения:

1 -  $N=58,94h^3 - 938,22h^2 + 4590,7h + 5317,4$ , надежность аппроксимации  $R^2=0,99$ ;

2 -  $N=54,19h^3 - 847,19h^2 + 4047,6h + 5311,2$ , надежность аппроксимации  $R^2=0,99$ .

Это также подтверждается приведенными на рис. 3 зависимостями интенсивности рассеянного излучения от толщины слоя руды с содержанием 62 % железа при размещении руды на поверхности из алюминия (кривая 1) и свинца (кривая 2), при облучении материала пробы сверху.

Как видно из рис. 2, из общего числа регистрируемых квантов 96..97%% идет от слоя руды толщиной 3 см, причем, вклад от дна кюветы (толщина 0,8мм алюминия) составляет 44..45 %. Из рис. 2 также видно, что после толщины слоя в 3,0 см приращение интенсивности не наблюдается (незначительные колебания объясняются статистическим разбросом). Исходя из сказанного, информативный слой для руды с указанным содержанием железа

ограничен 3.0 см, а остальной материал пробы является балластом. Причем, согласно классическому определению слоя насыщения (толщина слоя, от которого рассеивается 95 % от числа квантов, рассеиваемых слоем бесконечной толщины) слой насыщения для руд с указанным содержанием железа находится в пределах 2,5 см, а для руд с содержанием 50...65 % это значение еще меньше, что подтверждается экспериментом, результаты которого приведены на рис. 3.

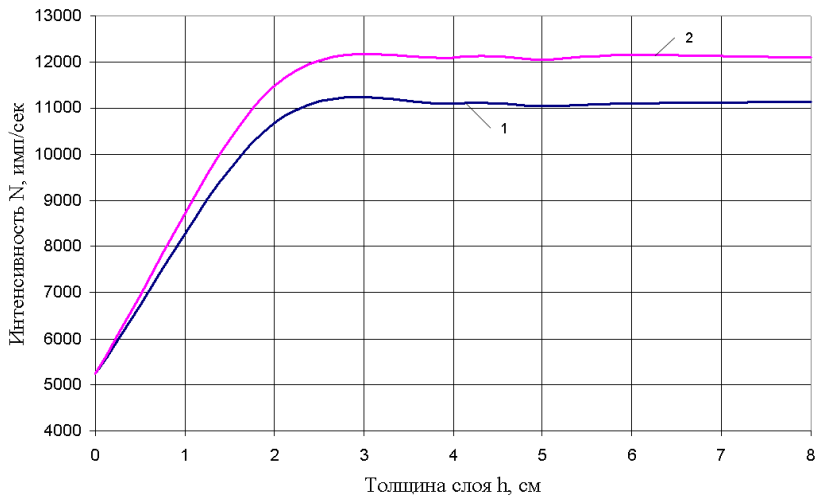


Рис. 2. Зависимость интенсивности рассеянного излучения от толщины слоя руды в кювете: 1 – Содержание железа 32,5 %, 2 – содержание железа 25,9 %

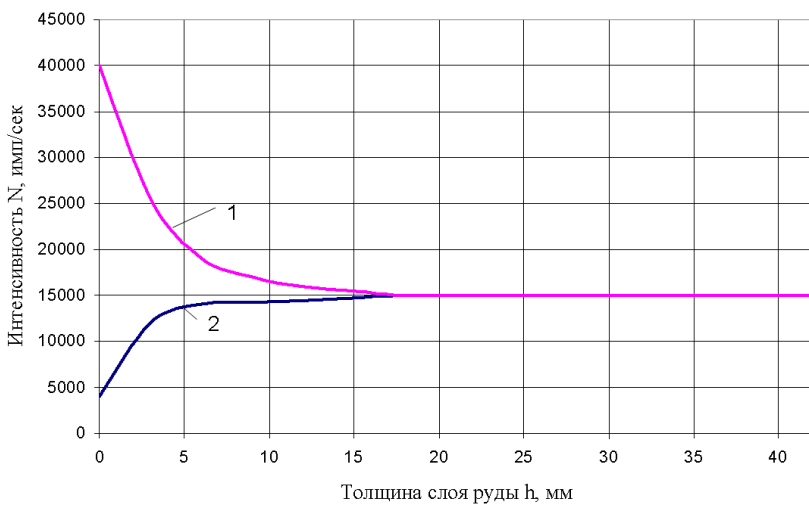


Рис. 3. Зависимость интенсивности рассеянного излучения от толщины слоя руды на поверхности из Al (1) и Pb(2)

Из рис. 3 видно, что кривые 1 и 2 сливаются при толщине слоя руды 18 мм. Это говорит о том, информативным является слой такой толщины, и материал лежащий за слоем толщиной 18...20 мм не несет никакой информации. В результате обработки получены аналитические выражения:

1-  $N = -1,8368h^3 + 142,36h^2 - 3272,2h + 36839$ , надежность аппроксимации  $R^2=0,93$ ;

2-  $N = 0,8196h^3 - 62,345h^2 + 1391,4h + 6119,3$ , надежность аппроксимации  $R^2=0,84$ .

Полученные значения толщины информативного слоя удовлетворительно согласуются с рекомендациями [1] определения толщины слоя насыщения как  $d_{\text{нас}} = 1,5/\mu$ , где  $\mu$ -линейный коэффициент ослабления интенсивности излучения,  $\text{см}^{-1}$ . Измеренные нами значения  $\mu$  для проб руды крупностью  $-5$  мм с содержанием железа 52...63% лежат в диапазоне 1,6...2,15  $\text{см}^{-1}$ , а отсюда  $d_{\text{нас}} = 1,7...1,9$  см

Для сравнения можно указать что слой насыщения при использовании излучения радионуклида кобальт-57 более чем в 3 раза больший, чем для радионуклида америций -241 (например, для  $Z=20$  массовые коэффициенты ослабления равны 0,2 и 0,637  $\text{см}^2/\text{г}$  соответственно [2]).

На рис. 4, для наглядности, приведена зависимость вклада в суммарную интенсивность рассеянного излучения от толщины слоя руды крупностью  $-1$  мм с содержанием железа 62 %.

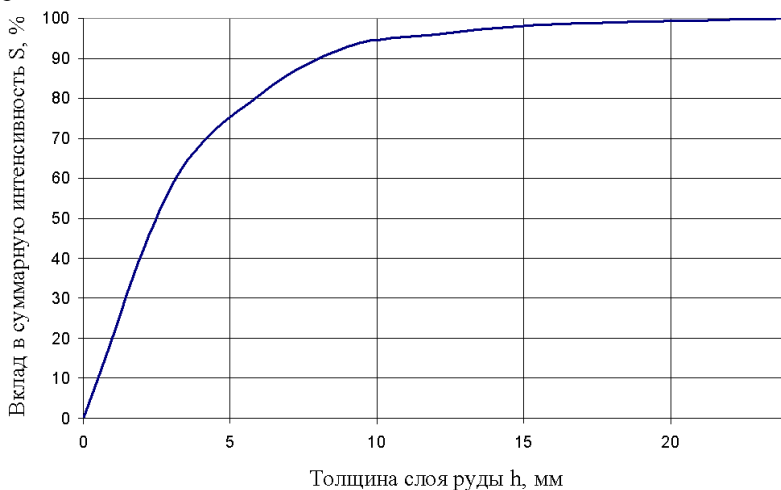


Рис. 4. Зависимость вклада в суммарную интенсивность рассеянного излучения от толщины слоя руды с содержанием железа 62 %

Из рис. 4 следует, что слой насыщения для руды этого содержания находится в пределах 6 мм, что согласуется, например, с данными Финской фирмы Оутокумпу [3], которая гарантирует, при использовании излучения радионуклида Am-241, глубинность контроля руд черных металлов рав-

ную 15 мм. В результате обработки получено аналитическое выражение  $S=0,027h^3 - 1,3017h^2 + 19,763h + 3,3251$ ,  $R^2=0,98$ .

Вторая причина расхождения данных экспресс-анализа и химического метода заключается в том, что наиболее крупные куски пробы (+20 мм) являются и наиболее бедными, что существенно снижает содержание железа. Поскольку они монолитны, то занимают в кювете меньший объем и поэтому меньше их вероятность попадания в информативную область пробы.

Это подтверждается проведенными нами исследованиями непосредственно на пробах товарной руды ш. Октябрьская. Эксперименты проводились с использованием радиометра ПАКС-4М.

Из аглоруды (в которой допускается 5 % фракции крупности +10 мм) была отобрана проба, которая после предварительного усреднения рассыпана по 3 кюветам. В первом случае анализ материала всех 3х кювет проводили без предварительного дробления материала пробы. В результате анализа получено значение содержания железа  $q=60,95$  %, при среднеквадратическом расхождении (СКО) в содержании между кюветами 1,01 %. После первой стадии дробления материала пробы на валковой дробилке (крупность –6 мм) прибор показал содержание железа  $q=59,24$  %, и СКО=0,3 %, после второй стадии (крупность –3 мм) -  $q=58,6$  %, СКО=0,3 %. В приведенном примере четко прослеживается связь показаний прибора с крупностью пробы – с уменьшением крупности материала пробы уменьшается значение содержания. Снижение крупности с –10 мм до –3 мм приводит к снижению показаний прибора более чем на 2%. С уменьшением крупности увеличивается достоверность результатов контроля, что видно по снижению СКО.

**Выводы.** Таким образом, на основании проведенных исследований установлено:

- воспроизводимость результатов при экспресс контроле радиометрами ПАКС проб руды крупностью –20...25 мм находится в пределах 0,8...5,3 % (средняя - 2,32), что ограничивает точность определения содержания в пределах  $\pm 2...3$  % абс. и ниже;

- причинами низкой воспроизводимости и точности являются неоднородность гранулометрического состава проб, большое количество материала крупностью более 5 мм (60...80 %) и, самое главное, существенное различие по содержанию железа в материале мелкой и крупной фракций пробы;

- основной причиной высоких расхождений результатов (>5 %) экспрессного и химического анализов руд крупностью – 20...25 мм является нетождественность материала проб поступающих на экспресс и химический анализы. Для увеличения сходимости результатов необходимо после проведения экспрессного контроля весь материал пробы, заполняющий кювету радиометра, дробить до крупности как минимум 3 мм и уже из него отбирать пробу для химического анализа;

- при невозможности обеспечить лучшее измельчение материала проб можно добиться несколько лучшей точности контроля использованием в качестве источника излучения радионуклида кобальт–57 (120 кэВ), обеспечи-

вающего в три раз большую глубинность контроля, и применение радиометра ПАКС-4М, блок измерения которого позволяет увеличить объем контролируемого материала пробы, чем повышается достоверность контроля.

#### *Список литературы*

1. **А.Г. Рысенко, У.А. Улманис.** Некоторые исследования альбедро гамма-лучей "Радиоактивные излучения и методы их исследования" АН Латв. ССР, Рига, 1961.
2. **Г.В. Горшков.** Проникающие излучения радиоактивных источников. -Л.: "Наука", 1967.
3. Проспект фирмы Оутокумпу.

УДК 658.652.64:622.3

А.В. ГОЛОВКО, Криворожский технический университет

### **СЕЛЕКТИВНЫЙ ГАММА-ГАММА КАРОТАЖ ПОДЗЕМНЫХ СКВАЖИН С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВА ПАКС-401**

Приведено описание пристрою та програмного забезпечення свердловинного рудничного радіометра, що використовується при каротажі підземних свердловин.

Приведено описание устройства и программного обеспечения скважинного рудничного радиометра, применяемого для каротажа подземных скважин.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Горнодобывающий комплекс занимает ведущее место в промышленности Украины. Острой и актуальной остается проблема обеспечения металлургического производства высококачественным сырьем. Известно, что процесс отработки каждого месторождения сопровождается комплексом геологоразведочных работ, в состав которых входит построение детальных геологотехнологических планов и разрезов с обязательным контролем качества сырья в естественном залегании.

Получение оперативных данных о содержании железа непосредственно в зоне залегания, а также определение контактов и контуров рудных тел по данным геофизического каротажа разведочных и эксплуатационных подземных скважин позволяет управлять процессом добычи горной массы, рассчитывать массу взрывчатых веществ и планировать объемы и качество добываемых руд. В результате этого уменьшаются потери и засорение руд, а также снижается себестоимость и повышается качество товарной продукции

**Анализ последних исследований.** Радиометрические методы занимают ведущее место в комплексе поисково-разведочных работ. Эти методы позволяют не только обнаружить повышенные концентрации химических элементов, но и оперативно получать информацию о содержании полезного компонента, как в отобранных пробах, так и в рудах на месте залегания [1]. Подобные возможности методов важны на всех этапах поисков и разведки, а также разработки месторождений полезных ископаемых. Метод гамма-гамма каротажа основан на облучении горных пород  $\gamma$ -квантами средней энергии и измерении рассеянного  $\gamma$ -излучения. Гамма-гамма каротаж используется при