

Результаты решения задачи

Номер двутаврового профиля	Тип активного ограничения	Начальные напряжения σ_0 , МПа	Шаг интегрирования Δt , лет	Долговечность t^* , лет	Количество итераций n
10	1	85,50	0,129	1,455	12
10	1	97,10	0,138	1,306	10
12	1	89,93	0,141	1,435	11
12	0	78,07	0,999	1,233	2
14	1	87,49	0,148	1,508	11

Выводы. Приведенный в статье алгоритм решения задачи прогнозирования долговечности с использованием нейросетевой модели определения вида активного ограничения и шага интегрирования, в отличие от других алгоритмов, позволяет получить решение задачи НДС и долговечности, не только с заранее заданной точностью расчета, но и существенно повысить его эффективность.

Список литературы

1. **Зеленцов Д.Г.** Расчет конструкций с изменяющейся геометрией в агрессивных средах. Стержневые системы. - Днепропетровск: УГХТУ, 2002. - 168 с.
2. **Иванова А. П.** К вопросу прогнозирования долговечности многоэлементных стержневых металлических конструкций /Иванова А. П. // Уголь Украины. Научно-технический, производственный и экономический журнал. Вып. 1 - 2 (697 - 698). - Киев, 2015. - С. 50 - 53.
3. **Расторгуев Б.С.** Обеспечение живучести зданий при особых динамических воздействиях. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений, 2003, №4. - С. 45^18.
4. **Райзер В.Д.** Теория надежности в строительном проектировании / Райзер В.Д. - М.: АСВ, 1998, - 304 с.
5. **В.В. Хворост.** Дослідження міцності і надійності конструктивних елементів об'єктів, розташованих на поверхні гірничопромислових підприємств / Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг: КНУ. - Вип. 37, 2014. - С. 31-35.
6. **Александров А. В.** Роль отдельных элементов стержневой системы при потере устойчивости // Вестн. МИИТ. -2001.-№5.-С.46-50.
7. **Овчинников И Г.** Банк математических моделей коррозионного износа, применяемых для прогнозирования поведения металлоконструкций / **Овчинников И. Г., Дворкин М. С, Сабитов Х. А** // Проблемы прочности материалов и конструкций, взаимодействующих с агрессивными средами: Межвуз. научн. сб. -Саратов: СПУ, 1993. -С. 141 -150.
8. **Зеленцов Д.Г.** Балочный конечный элемент переменной жесткости для расчета конструкций, подверженных коррозионному износу / **Зеленцов Д.Г.** // Системні технологи. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Вип. 6 (17). - Дніпропетровськ, 2001. - С. 64 - 70.
9. **Наумова Г.А.** Расчеты на прочность сложных стержневых и трубопроводных конструкций с учетом коррозионных повреждений / **Наумова Г.А.** // Саратов: СГТУ, 2000. – 227 с.
10. **Иванова А.П.** Живучесть и разрушение многоэлементных конструкций / **Иванова А.П.** // Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції «Техногенні катастрофи, моделі, прогноз, запобігання»- НГУ, Дніпропетровськ, 2013-С 64- 73.

Рукопись поступила в редакцию 17.04.15

УДК 622.7.09: 620.113

С. Н. ДАЦУН аспирант, ГВУЗ «Национальный горный университет»

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОБЫ ПРИ ПОКУСКОВОМ ОПРОБОВАНИИ

В статье представлен новый метод нахождения минимальной массы пробы, таким образом, вопрос минимизации пробы влечет за собой минимизацию расходов на опробование и контроль технологических показателей обогащательных процессов. В данной работе осуществлена попытка учесть показатели раскрытия ценного компонента и текстурно-структурных признаков руды для определения минимальной массы пробы руды. Как следует из анализа работ по опробованию массивов полезных ископаемых, одним из важнейших показателей опробования является количество кусков массива, которые необходимо отобрать в пробу. Это количество, в первую очередь, зависит от соотношений точности, которую требуется обеспечить и точности отбора, или неоднородности распределения компонентов. Найдены зависимости минимально и максимально возможного содержания ценного минерала в частицах определенного размера и определенной формы. Форма учета этой зависимости представлена в виде отношения погрешности измерения к заданной погрешности. В формулу это отношение вошло как произведение. Особое внимание уделяется точному определению минимального объема минерала. Таким образом, на основании расчетов по

раскрытию ценного компонента и по распределению Бернулли можно найти требуемое количество частиц в пробе в зависимости от показателей обогатимости сырья, то есть можно найти минимальную массу пробы.

Проблема и ее связь с научной и практической задачей. Актуальность всякой работы определяется возможностью снижения затрат на её выполнение, в нашем случае вопрос стоит о минимальной массе пробы. Известно, что чем больше масса пробы, тем больше достоверность получаемой информации. В тоже время, чем больше масса пробы, тем больше непроизводительные затраты на подготовку аналитической пробы. Таким образом, вопрос минимизации пробы влечет за собой минимизацию расходов на опробование и контроль технологических показателей обогатительных процессов. Каков бы ни был способ отбора проб, всегда она будет сформирована набором кусков или частиц. Отбирая, например, лопатой набирают некоторую массу, которая состоит из некоторого множества кусков. То же самое можно сказать о тонкоизмельченном продукте, хотя посчитать количество частиц задача весьма громоздкая и затратная. Таким образом, теоретически следует исходить из того, что проба состоит из конечного множества кусков – N , которое необходимо определить.

Анализ исследований и публикаций. Обзор литературных источников по формированию проб показал, что оценка количества частиц в пробе проводилась графоаналитически и поэтому, при очень малых значениях крупности, графики становились не различимы. В настоящее время на кафедре обогащения полезных ископаемых ГВУЗ «НГУ» разработаны математические модели [1], согласно которым можно теоритически определить показатели раскрытия, воспользовавшись ими и в итоге количество частиц превратится в массу пробы по известным соотношениям между объемом частицы и её массой и объемом пробы.

Изложение материала. Масса пробы или массива характеризуется некоторой функцией распределения по крупности частиц $F_1(d)$, а отбор пробы от нее (пробы от массива) представляет собой некоторое событие (A), в то же время отобранная проба будет характеризоваться дисперсией σ_d^2 и средним значением \bar{d} , а также такими же величинами для всех показателей обогатительных признаков, например, содержанием ценного минерала α , то есть σ_α^2 и $\bar{\alpha}$ (событие B).

Таким образом, масса пробы зависит и от крупности и от содержания ценного минерала, следовательно, два события: отбор кусков и содержание ценного минерала - логически перемножаются.

Распределение по крупности не влияет на распределение по содержанию ценного компонента в силу того, что может быть различное раскрытие. По этому, событие отбора кусков и содержания в них ценного компонента статистически не зависимы и тогда логическое умножение влечёт за собой математическое умножение: $A \cdot B \square P(A) \cdot P(B)$, и если количество событий $A \square \frac{\sigma_d^2}{\sigma_{d3}^2}$ и $B \square \frac{\sigma_\alpha^2}{\sigma_{\alpha3}^2}$, то $P(A) \cdot P(B) \square \frac{\sigma_d^2}{\sigma_{d3}^2} \cdot \frac{\sigma_\alpha^2}{\sigma_{\alpha3}^2}$, где σ_{d3}^2 $\sigma_{\alpha3}^2$ – заданные дисперсии соответствующих событий.

В каждом классе крупности должно быть столько частиц n_1 этой крупности, чтобы $\alpha_{исх} = \alpha(d)$, где $\alpha_{исх}$ – содержание ценного компонента в опробуемом массиве, $\alpha(d)$ – содержание ценного компонента в заданном классе крупности, и частиц должно быть столько – n_2 , чтобы в каждом классе было столько зерен с заданным содержанием сколько соответствует раскрытию. Например, чтобы содержание открытых рудных зерен (или другой фракции) соответствовало содержанию тех же фракций в массиве n_1, n_2 .

Как следует из анализа работ по опробованию массивов полезных ископаемых, одним из важнейших показателей опробования является количество кусков n (частиц) массива, которые необходимо отобрать в пробу. Это количество, в первую очередь, зависит от соотношений точностей, которую требуется обеспечить σ_3^2 и точности измерения или отбора, или неоднородности распределения компонентов σ_α^2 и т.п.

В теории вероятностей [3] выведено соотношение, которое связывает эти три показателя

$$\sigma_3^2 = \left(\sigma_\alpha^2 / n \right).$$

Таким образом, чтобы определить объем пробы, необходимо располагать показателем точности исследуемого показателя массива. Или же зная показатели точности определить объем.

Отбор кусков из массива – это последовательность случайных событий. В каждом из испытаний с вероятностью P_{PC} отбирается богатый сросток, а с вероятностью P_{HC} – бедный (предположим, что иных частиц нет) т.к. $P_{PC} + P_{HC} = 1$, то этот процесс подчиняется закону Бернулли и необходимое количество испытаний n (количество кусков), т.е. когда в отобранной пробе окажется количество богатых и бедных сростков в соответствии с их содержанием в массиве, или отличие будет удовлетворять заданной точности опробования σ_α^2 , может быть определено по формуле Бернулли, т.е. вероятность, что в n отобранных кусках окажется ровно m , например богатых сростков составит: $P_{nm} = C_n^m \square P_{PC}^m \square P_{HC}^{n-m}$, где C_n^m - количество сочетаний из n по m , m – желаемое количество благоприятных исходов (все элементы – целые числа). Но т.к. $m = n \square P_{PC}$ и $m + (n - m) = n$, то

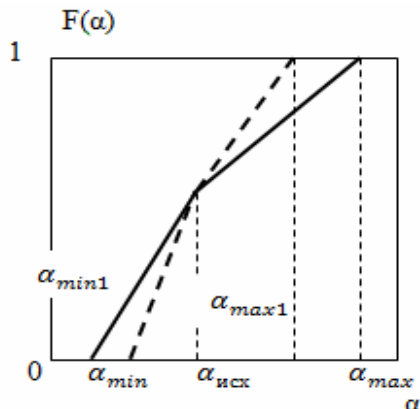
$$P_{PC} = C_n^{nP_{PC}} \square P_{PC}^{nP_{PC}} \square (1 - P_{PC})^{n(1-P_{PC})} \quad (1)$$

В результате осуществляется поиск общего количества испытаний n . Обратной функции от факториальной пока не найдено, поэтому поиск n осуществляется численно. Функция (1) будет монотонно убывающей от 1 (при $n=0, P=$), т.к. показатели степеней необходимо будет округлять до ближайшего целого.

Если содержание ценного минерала в массиве α_H , то ожидаемое количество богатых сростков составляет $P_{PC} = 1 - \alpha_H$. Поэтому задавшись погрешностью определения P_{PC} , получим $\sigma = P_{PCn} - P_{PC(n+1)}$ в области ожидаемого значения P_{PC} и при надежном изменении функции принимаем значение n .

Проведенные рассуждения справедливы, когда среди частиц не встречаются открытые фракции. Функции распределения сростков будут выглядеть, в соответствии с рис. 1.

Рис. 1. Функция распределения сростков в дробленом продукте



С увеличением крупности дробления функция будет увеличивать свою производную (пунктир) В результате дисперсия содержания ценного минерала будет уменьшаться

$$\sigma_\alpha = \alpha_{\max} - \alpha_{\min}$$

Следовательно, при увеличении крупности дробления количество кусков, отбираемых в пробу, уменьшается.

Эти два параметра определяются на основании текстурных признаков полезного ископаемого: размеров полосчатости и содержанием ценного минерала в богатых, средних и бедных прослоях. Эти показатели определяются геологической службой. В зависимости от

класса крупности эта функция видоизменяется: чем меньше размеры кусков, тем больше α_{\max} и меньше α_{\min} . А когда $d \rightarrow \infty$, то $\alpha_{\max} \rightarrow \alpha_{\min} \rightarrow \alpha_{\text{исх}}$. При условии, что $d \rightarrow 0$, $\alpha_{\max} \rightarrow 1$, а $\alpha_{\min} \rightarrow 0$.

Например, железную руду характеризуют рудные прослои, мало рудные и нерудные.

Каждый прослой численно характеризуют его толщиной т.е. L_P, L_{MP}, L_H , в которых содержится рудный минерал в количестве $\alpha_P, \alpha_{MP}, \alpha_H$. Среднее содержание минерала в руде составит

$$\alpha = \frac{\alpha_P L_P + \alpha_{MP} L_{MP} + \alpha_H L_H}{L_P + L_{MP} + L_H}.$$

Когда руда измельчается, то в кусках сосредотачивается различное количество всех прослоев, поэтому содержание ценного минерала в них теоретически разное.

Наконец, существует кусок такого размера, больше которого качественные характеристики рудных кусков будут практически одинаковыми.

Минимальное содержание в кусках будет таким, что кроме набора всех прослоев будет еще один нерудный, а максимальное содержание, когда включают еще один рудный прослой.

Однако, содержание ценного минерала в этих кусках будет различное и достоверной оценки качества руды не будет осуществлено, поскольку неизвестна дисперсия содержания ценного минерала в этих кусках.

В богатой фракции будут находиться куски руды образованные из богатых прослоев, а в бедной те частицы, которые образованы из нерудных и малорудных прослоев. Таким образом, смешанные и нерудные прослои объединены в малорудные прослои:

$$l_{MP} = l_C + l_H.$$

Для установления связи крупности частиц и возможного в них содержания магнетита выполнены такие рассуждения. По мере увеличения размера кусков в них может быть несколько рудных или нерудных прослоев.

По этой причине куски $d > l_P$ и $d > l_H$ уже не могут принадлежать к открытым фракциям они обязательно являются сростками.

Когда размер куска $d = l_P$, то максимально возможное содержание магнетита в нем α_P .

Когда размер куска $d = l_H$, тогда минимально-возможное содержание магнетита в нем составляет α_H .

Когда размер куска $l_P < d < l_H$, то максимально возможное содержание магнетита в нем будет

$$\alpha_{MK} = \frac{l_P}{l_P + l_{MP}} \alpha_P$$

Увеличение размера куска приводит к тому, что кусок может включать два рудных прослоя и один малорудный, тогда

$$\alpha_{MK} = \frac{2l_P \alpha_P}{2l_P + l_{MP}}$$

Аналогичные дальнейшие рассуждения показали, что богатый кусок руды общем случае включает на один рудный прослой больше по сравнению с бедным (максимально возможное содержание ценного минерала).

Бедный кусок содержит на один нерудный прослой больше по сравнению с богатым (минимально возможное содержание ценного минерала):

Таким образом, при изменении размера кусков наблюдается зависимость предельных значений содержания в них магнетита.

Таких предельных показателей два:

минимально-возможное:

$$\alpha_{МИН} = \frac{nl_P \alpha_P + (n+1)l_H \alpha_H}{nl_P + (n+1)l_H}; \quad (2)$$

максимально-возможное:

$$\alpha_{МАКС} = \frac{nl_H \alpha_H + (n+1)l_P \alpha_P}{nl_H + (n+1)l_P} \quad (3)$$

Разность между этими двумя величинами уменьшается по мере увеличения размера кусков. Размер кусков выражен в количестве прослоев: чем больше прослоев (величина n), тем больше размер куска.

Моделирование с помощью выражений (2) и (3) при условии, что $l_P=5$ мм, $l_H=13$ мм, $\alpha_P=0,7$, $\alpha_H=0,2$ дало зависимость, приведенную в табл. 1.

Таблица 1

Предельные значения содержания магнетита в кусках в зависимости от их размера

$n=d/l$	0	1	2	3	10	∞
$\alpha_{МИН}$	0,2	0,28	0,3	0,31	0,33	0,35
$\alpha_{МАКС}$	0,7	0,42	0,38	0,36	0,34	0,35

Как видно из табл. 1, после $n=3$ зависимость резко снижает чувствительность и только куски размером $d=10$ $l_H=130$ мм могут иметь различие в содержании магнетита около одного процента.

Теория случайных величин утверждает, что количество кусков, отбираемых в пробу, зависит от отношения дисперсии содержания в классе крупности к требуемой дисперсии измерения - σ_3 .

Тогда

$$n = \frac{\sigma^2}{\sigma_3^2} \quad (4)$$

Кроме того, распределение Бернулли характеризуется параметрами распределения:

математическим ожиданием: $m_N = nP_{PC}$

дисперсией: $\sigma_N^2 = nP_{P3}(1 - P_{P3})$

Последний показатель характеризует точность закона распределения, а точность соответствия вероятности и частоты будет задана - σ_{N3}^2 , тогда

$$n_1 = \frac{\sigma_N^2}{\sigma_{N3}^2} \quad (5)$$

Итак, определив достаточное количество частиц в пробе в соответствии с методикой (1), корректируем его с помощью соотношения (4) и (5).

Тогда минимальная масса пробы при покусковом опробовании составит

$$q = \frac{\pi d^3}{6} \frac{\sigma_N^2}{\sigma_{N3}^2} \frac{\sigma^2}{\sigma_3^2} \delta$$

Дальнейшее снижение крупности дробления приводит к тому, что появляются частицы полностью из рудных и малорудных прослоев.

Таким образом, в кусках руды, размер которых меньше мощности нерудного и рудного прослоев максимально-возможное содержание магнетита может быть таким, которое содержится в этих прослоях: $\alpha_{\max}=0,7$ и $\alpha_{\min}=0,2$.

По мере увеличения размера куска эти значения уменьшаются и стремятся к одному значению – содержанию магнетита в монолите. Для расчетов раскрытия нерудных прослоев принято $n_1=3$.

Итак, общее количество каждой из четырех фракций по всем классам крупности кусков руды определяется путем суммирования приращений и составит:

открытых кусков из рудного прослоя (рудных зерен):

$$P_{P3} = \frac{l_P}{l_{MP} + l_P} \sum_{i=1}^k \left(1 - \frac{d_i}{l_P}\right) \Delta F(d_i);$$

открытых кусков из нерудных прослоев (нерудные зерна):

$$P_{H3} = \frac{l_{MP}}{l_P + l_{MP}} \sum_{i=1}^k \left(1 - \frac{d_i}{l_{MP}}\right) \Delta F(d_i);$$

промежуточных фракций: богатых (рудных сростков)

$$P_{PC} = \frac{l_P}{l_P + l_{MP}} \left(\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{l_P} \Delta F(d_i) + (F(3l_P) - F(l_P)) \right) + (1 - F(3l_P));$$

бедных сростков

$$P_{HC} = \frac{l_H}{l_P + l_{MP}} \left(\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{l_H} \Delta F(d_i) + (F(3l_{MP}) - F(l_{MP})) \right),$$

где $\Delta F(d)$ – приращение функции распределения кусков руды по крупности.

Таким образом, при некоторой промежуточной крупности дробления возможно наличие четырех фракций в продукте, а в зависимости от крупности частиц в пробе будем иметь некоторое раскрытие ценного минерала, которое охарактеризуем содержаниями.

Естественно, что

$$P_{P3} + P_{PC} + P_{HC} + P_{H3} = 1,$$

а

$$1 \times P_{P3} + \alpha_{PC} \times P_{PC} + \alpha_{HC} \times P_{HC} + 0 \times P_{H3} = \alpha_{II}.$$

Набирая в произвольном порядке пробу, будем случайным образом брать эти четыре вида частиц. Причем, вероятность извлечения каждого типа частиц соответствует содержанию их в массиве. Таким образом, если в n отобранных частицах будет содержаться $M \approx nP_{P3}$ частиц, представляющих собой открытые рудные зерна, то минимальная масса пробы будет считаться сформированной. Следовательно, в результате отбора кусков массива в пробу мы оперируем двумя событиями:

отбираемый кусок есть рудное зерно - A ;

отбираемый кусок не есть рудное зерно - \bar{A} .

Дальнейшее уменьшение крупности измельчения приводит к раскрытию вкраплений.

Раскрытие определяется по таким соотношениям

$$P_{P3} = \frac{\alpha_{II}}{d} \int_0^{d_{\text{вк}}} \left(1 - \frac{d}{d_{\text{вк}}}\right) \exp\left(-\frac{d}{d}\right) \partial d;$$

$$P_{P3} = \frac{1 - \alpha_{II}}{d} \int_0^{r_{\text{вк}}} \left(1 - \frac{d}{r_{\text{вк}}}\right) \exp\left(-\frac{d}{d}\right) \partial d;$$

$$P_{P3} = \frac{\alpha_{II}}{d} \left(\int_0^{d_{\text{вк}}} \left(\frac{d}{d_{\text{вк}}}\right) \exp\left(-\frac{d}{d}\right) \partial d + \int_{d_{\text{вк}}}^{10d_{\text{вк}}} \exp\left(-\frac{d}{d}\right) \partial d \right);$$

$$P_{P3} = \frac{1 - \alpha_{II}}{d} \left(\int_0^{r_{\text{вк}}} \left(\frac{d}{r_{\text{вк}}}\right) \exp\left(-\frac{d}{d}\right) \partial d + \int_{r_{\text{вк}}}^{10d_{\text{вк}}} \exp\left(-\frac{d}{d}\right) \partial d \right);$$

$$r_{\text{вк}} = d_{\text{вк}} \left(\sqrt[3]{\frac{0,65}{\alpha_{II}}} - 1 \right),$$

где α_{II} , \bar{d} , $d_{\text{вк}}$ - содержание ценного минерала, средняя крупность частиц, средняя крупность вкрапления соответственно.

Естественно, что вместо интегралов следует воспользоваться конечными суммами, а вместо дифференциалов - конечными разностями.

В работе [1] приведены функции, связывающие размер частиц d с предельным содержанием в них ценного минерала α , если известны текстурно-структурные признаки руды и содержание ценного минерала. Эти зависимости имеют вид:

для максимального значения

$$\alpha_{\text{max}} = \left(\frac{nd_{BK} + \Delta d}{nL_{BK} + \Delta d} \right)^3, \quad 0 < \Delta d < d_{BK}; \quad (6)$$

для минимального значения

$$\alpha_{\text{min}} = \left(\frac{nd_{BK}}{nL_{BK} + \Delta d} \right)^3, \quad 0 < \Delta d < r_{BK}; \quad (7)$$

$$r_{BK} = d_{BK} \left(\sqrt[3]{\frac{0,65}{\alpha_{II}}} - 1 \right); \quad L_{BK} = d_{BK} \sqrt[3]{\frac{0,65}{\alpha_{II}}} = d_{BK} + r_{BK},$$

где d_{BK} - размер вкрапления ценного минерала; α_{II} - содержание ценного минерала в монолите руды; n - количество измерений L_{BK} , укладываемых в поперечнике частицы.

Таким образом, при известных d_{KP} , $n = \frac{d_{KP}}{L_{BK}}$, - а значение Δd принять - максимальным $\Delta d = d_{BK}$ для поиска α_{max} и $\Delta d = r_{BK}$ - для α_{min} . Преобразовав выражения (6) и (7), получим

$$\alpha_{max} = \left(\frac{n+1}{n^3 \sqrt[3]{\frac{0,65}{\alpha_{II}} + 1}} \right), \quad \alpha_{min} = \left(\frac{n}{(n+1)^3 \sqrt[3]{\frac{0,65}{\alpha_{II}} - 1}} \right)$$

Теперь среднее квадратическое отклонение качества частиц составит функцию

$$\left(\frac{n+1}{n \cdot \sqrt[3]{\frac{0,65}{\alpha_{II}} + 1}} \right)^3 - \left(\frac{n}{(n+1) \cdot \sqrt[3]{\frac{0,65}{\alpha_{II}} - 1}} \right)^3 = 4\sigma_\alpha.$$

И если распределение частиц по крупности $f(d)$ известно, то среднее квадратическое отклонение смеси частиц составит средневзвешенную величину $\bar{\sigma} = \int_0^{d_{max}} f(d)\sigma_\alpha(d)\partial d$. Ее и примем для определения массы пробы.

Выводы. Таким образом, покусковое опробование является общим принципом формирования проб, которое необходимо для проведения качественного анализа массива.

Определение минимальной массы пробы неотъемлемая часть опробования и контроля качества сырья.

Список литературы

1. **Младецкий И. К., Мостика Ю. С.** Аналітичне визначення показників розкриття руди. – Дніпропетровськ: Системні технології, 1999, - 106 с.
2. **Кармазин В. В., Младецкий И. К., Пилов И. К.** Расчеты технологических показателей обогащения полезных ископаемых: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ, 2006, 221 с. с ил.
3. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
4. **Козин В. З.** Контроль технологических процессов обогащения. Конспект лекций. – Екатеринбург, 2003, 161 с. с ил.
5. **Козин В. З.** Универсальная формула минимальной массы пробы. Известия вузов, Горный журнал, №1, 2004, с. 102–106.
6. **Локонов М. Ф.** Опробование на обогатительных фабриках. – М.: Госгортехиздат, 1961, 270 с.
7. **Bada S.O., Falcon L.M., Falcon R.M.S., Du Cann V.M.-** Qualitative analysis of fine coals obtained from tribo-electrostatic separation, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Volume 112, January 2012, pp. 55-62.
8. **Ozgen S.-** Modelling and optimization of clean chromite production from fine chromite tailings by a combination of multigravity separator and hydrocyclone, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Volume 112, May 2012, pp. 387-394.
9. **Steinhaus R.C., Minnitt R.C.A.-** Mechanical sampling—a manufacturer’s perspective, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Volume 114, January 2014, pp. 121-130.
10. Coal for Energy Independence, Engineering and Mining Journal, January 2012, pp. 58-59.
11. Physical and chemical properties of rocks and well cement for CO2 storage applications in a full-scale borehole simulator, First break, Volume 31, December 2013, pp. 103-104.

Рукопись поступила в редакцию 17.04.15