

ПРОЯВЛЕНИЕ И РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОЙ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРОБОВАНИЯ НА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ

КОЗИН В. З.¹, КОМЛЕВ А. С.¹, ВОДОВОЗОВ К. А.¹

¹ Уральский государственный горный университет
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)

Цель работы. Несмотря на многочисленные проявления при опробовании руд и продуктов обогащения, вероятная систематическая погрешность на практике не рассчитывается и не определяется. Ее проявления чаще всего относят к специфическим необъяснимым эффектам опробования либо к погрешностям, которые могут быть устранены при правильном опробовании. Целью работы является изложение вариантов проявления вероятной систематической погрешности и возможностей оценки ее величины.

Методология исследования. Существует несколько вариантов проявления и расчета вероятной систематической погрешности: по невязке товарного баланса; по расхождению рассчитанных по технологическому балансу масс ценных компонентов и их фактическому наличию; по распределениям массовой доли результатов опробования; по полям корреляции массовых долей в точках опробования; непосредственным сравнением результатов опробования одной и той же точки принятым на предприятии способом и способом, исключающим вероятную систематическую погрешность.

Область применения результатов. Оценки вероятных систематических погрешностей привели к выводу о необходимости перехода при опробовании на обогатительных фабриках к непрерывному отбору проб, что означает отбор точечных проб при использовании способа поперечных сечений через короткие промежутки времени (вплоть до 30 с), либо отбор проб способом продольных сечений.

Выводы. Оценки вероятных систематических погрешностей следует включать в расчет допустимых значений невязок товарных балансов и учитывать при анализе результатов расчетов технологических балансов.

Ключевые слова: вероятная систематическая погрешность; оценки; непрерывный отбор проб.

Цель работы. Несмотря на многочисленные проявления при опробовании руд и продуктов обогащения, вероятная систематическая погрешность на практике не рассчитывается и не определяется (ГОСТ Р ИСО 5725-1,2,3,4,5,6-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений). Ее проявления чаще всего относят к специфическим необъяснимым эффектам опробования либо к погрешностям, которые могут быть устранены при правильном опробовании [1, 2].

Целью работы является изложение вариантов проявления вероятной систематической погрешности и возможностей оценки ее величины.

Проявления вероятной систематической погрешности связаны с внутренней природой технологии опробования. При опробовании отбирают точечные пробы, после анализа которых находят среднее значение массовой доли. Так как число точечных проб всегда ограничено и обычно невелико, то в них не попадают редкие пробы, массовая доля которых значительно отличается от среднего значения.

Такая практика приводит к тому, что среднее значение массовой доли в бедных продуктах оказывается заниженным, а в богатых – завышенным на величину вероятной систематической погрешности. Компенсируют это занижение (или завышение) так называемые ураганные пробы, которые обычно рассматриваются как погрешности опробования и исключаются из расчетов. Так вероятная систематическая погрешность превращается в систематическую [3, 4].

Методология проведения исследований. Необычные проявления вероятной систематической погрешности (ВСП) известны давно. Так, еще в 1959 г. И. Н. Шоршер писал: «На Каджаранской фабрике наблюдается факт систематических излишков молибдена при составлении ежемесячного баланса металлов. Аналогичное явление имеет место и на других молибденовых фабриках» [5]. И это не погрешности взвешивания, так как в этом случае «...при составлении баланса должен был бы обнаруживаться избыток и второго металла (меди), чего в действительности никогда не бывает».

Тогда возникновение положительной невязки товарного баланса, обнаруживаемое каждый месяц в течение года, не нашло объяснения. И даже много позже бороться с проявлением вероятной систематической погрешности предлагалось путем использования поправочных коэффициентов [6].

Таблица 1. Товарное и технологическое извлечения и невязка товарного баланса по цинку, %

Table 1. Trade and technological recovery and zinc trade balance inconsistency, %

Месяц	$\varepsilon_{\text{тов}}$	$\varepsilon_{\text{тех}}$	Невязка Δ	Невязка $\Delta_{\text{ВСП}}$
1	75,67	75,92	- 0,25	-
2	83,75	73,67	+10,08	+7,58
3	85,02	75,60	+9,42	+6,92
4	80,68	72,10	+8,58	+6,08

Теоретическое обоснование проявления вероятной систематической погрешности существовало, прямых оценок не было. Постепенно появились прямые и косвенные оценки этой специфической погрешности.

Существует несколько вариантов проявления и расчета вероятной систематической погрешности:

- по невязке товарного баланса;
- по расхождению рассчитанных по технологическому балансу масс ценных компонентов и их фактическому наличию;
- по распределениям массовой доли результатов опробования;
- по полям корреляции массовых долей в точках опробования;
- непосредственным сравнением результатов опробования одной и той же точки принятым на предприятии способом и способом, исключающим вероятную систематическую погрешность.

Оценка по невязке товарного баланса. Фактическую невязку Δ на фабрике можно найти по разности товарного и технологического извлечений:

$$\Delta = \varepsilon_{\text{тов}} - \varepsilon_{\text{тех}}.$$

На фабрике, обогащающей медно-цинковые руды, получены следующие результаты (табл. 1).

Случайная составляющая невязки равна $\pm 2,5$ %. Массовая доля цинка в руде составляет 4 %.

Тогда составляющая невязки за счет вероятной систематической погрешности в среднем за четыре месяца будет +5,1 %. Следовательно, занижение массовой доли в руде за счет вероятной систематической погрешности составит $\Delta\alpha_{\text{ВСП}} = -0,204$ %.

Отсутствие $\Delta_{\text{ВСП}}$ в первый месяц только подтверждает вероятный характер ее возникновения.

Вероятные систематические погрешности опробования хвостов и концентрата влияют на невязку противоположным образом и могут компенсировать друг друга.

Оценка по расхождению расчетов технологического баланса и фактическому наличию продуктов. Массы концентратов до их отгрузки на фабриках обычно определяют не взвешивая, а рассчитывая технологический баланс по формуле

$$M_{\beta} = M_{\alpha_{\text{сух}}} \gamma_{\beta},$$

где M_{β} – сухая масса концентрата; $M_{\alpha_{\text{сух}}}$ – сухая масса руды; γ_{β} – выход концентрата.

Влияние вероятных систематических погрешностей на величину γ_{β} может проявляться по-разному, поскольку расчет будет выполнен так:

$$\gamma_{\beta} = \frac{(\alpha - \Delta\alpha_{\text{ВСП}}) - (\vartheta - \Delta\vartheta_{\text{ВСП}})}{(\beta + \Delta\beta_{\text{ВСП}}) - (\vartheta - \Delta\vartheta_{\text{ВСП}})},$$

где ϑ – массовая доля металла в хвостах; $\Delta\vartheta_{\text{ВСП}}$ – вероятная систематическая погрешность опробования массовой доли металла в хвостах.

В зависимости от величины $\Delta\alpha_{\text{ВСП}}$, $\Delta\vartheta_{\text{ВСП}}$, $\Delta\beta_{\text{ВСП}}$ γ_{β} может быть как завышен, так и занижен. При завышении очевидно преобладает $\Delta\vartheta_{\text{ВСП}}$, а при занижении – $\Delta\alpha_{\text{ВСП}}$ и $\Delta\beta_{\text{ВСП}}$, что в итоге и приведет к различию рассчитанной и фактической массы концентрата [7, 8].

Так как наибольшее влияние на расчет выхода концентрата оказывает вероятная систематическая погрешность определения массовой доли в руде, то на фабриках вероятнее появление излишков металлов. Приведем данные по медно-цинковой фабрике (табл. 2).

Оценка вероятных систематических погрешностей по распределениям массовых долей. Величину вероятной систематической погрешности $\Delta\alpha_{\text{ВСП}}$ можно найти прямым расчетом по распределению массовой доли, построенному по большому числу анализов точечных проб по формуле

$$\Delta\alpha_{\text{ВСП}} = \alpha_{\text{мо}} - \bar{\alpha},$$

где $\bar{\alpha}$ – среднее значение массовой доли; $\alpha_{\text{мо}}$ – мода.

Можно найти $\Delta\alpha_{\text{ВСП}}$ по точечным оценкам распределения:

$$\Delta\alpha_{\text{ВСП}} = -\frac{S_{\alpha}^2}{N_{\text{т}} \bar{\alpha}},$$

где S_{α}^2 – дисперсия распределения; $N_{\text{т}}$ – число точечных проб, используемых для расчета среднего значения принятого контрольного периода.

Таблица 2. Излишки (+) и недостаки (–) металлов за месяц, %

Table 2. Surpluses (+) and shortages (–) of metals in a month, %

Месяц	Медь	Цинк
1	+1,40	+0,0
2	+0,50	+8,5
3	+0,01	+6,6
4	–0,60	+1,1
5	+0,40	+0,0

Приведем распределение (гистограмму) массовой доли и расчет $\Delta\alpha_{\text{ВСП}}$ для фабрики, обогащающей золотую руду (рис. 1).

Среднее значение массовой доли $\bar{\alpha} = 2,06$ г/т; дисперсия $S_{\alpha}^2 = 0,848$ (г/т)².

В смену отбирается шесть точечных проб, тогда $\Delta\alpha_{\text{ВСП}} = -0,07$ г/т.

Относительное смещение результата опробования от среднего $\bar{\alpha} = 2,06$ г/т на величину $-0,07$ г/т составляет $-3,4$ %.

Определение вероятной систематической погрешности путем сравнения результатов опробования двух точек технологического процесса по полю корреляции. Массовая доля в хвостах тесно связана с массовой долей в питании. Если построить поле корреляции (рис. 2), то на нем можно выделить теоретическую линию регрессии l и доверительные интервалы случайной погрешности 2. При этом часть точек окажется за пределами доверительных интервалов.

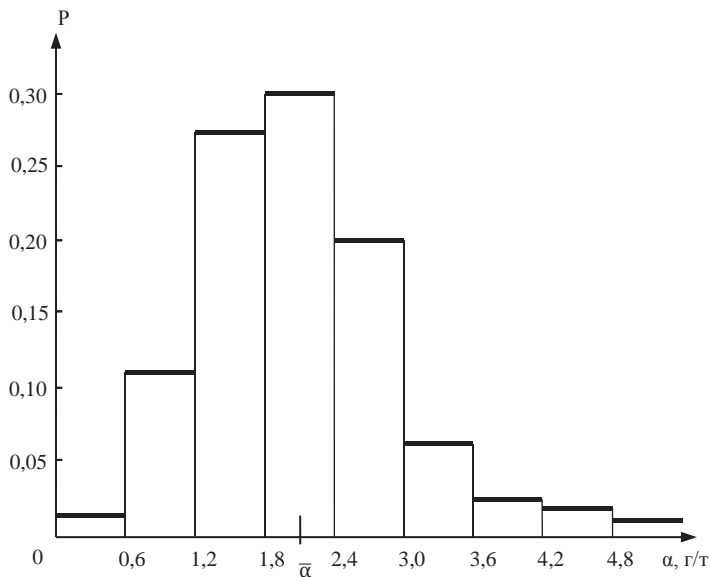


Рис.1. Гистограмма массовой доли золота в руде (298 сменных анализов за пять месяцев)

Fig.1. A histogram of gold mass fraction in ore (298 interchangeable analyses in five months)

Отклонение точек от верхней границы случайной погрешности можно считать минимальной оценкой вероятной систематической погрешности при опробовании руды.

Следует найти среднее значение для n выходящих за пределы точек:

$$\Delta\alpha_{\text{ВСП}} = \sum \Delta\alpha_{i\text{ВСП}} / n.$$

При построении поля корреляции для процесса флотации золотой руды обнаружилось 8,7 % точек, выходящих за верхнюю доверительную границу случайной погрешности, а среднее значение $\Delta\alpha_{\text{ВСП}} = -0,28$ г/т.

Непосредственное определение вероятной систематической погрешности. Если имеется возможность выполнить отбор проб от одного и того же опробуемого массива способом поперечных сечений (небольшое число точечных проб) и способом продольных сечений (большое число точечных проб), то можно непо-

средственно определить $\Delta\alpha_{\text{ВСП}}$. Результаты опробования оказываются разными, и отличаются они именно на величину $\Delta\alpha_{\text{ВСП}}$:

$$\Delta\alpha_{\text{ВСП}} = \bar{\alpha}_{\text{поп}} - \bar{\alpha}_{\text{пр}},$$

где $\bar{\alpha}_{\text{поп}}$ – средняя массовая доля металла, найденная по результатам опробования способом поперечных сечений; $\bar{\alpha}_{\text{пр}}$ – то же способом продольных сечений.

Такое опробование было реализовано на одной из медно-цинковых обогатительных фабрик. На одном и том же продукте (хвостах) был выполнен отбор проб как способом поперечных, так и способом продольных сечений. При отборе проб способом поперечных сечений (1300 проб) зафиксировано занижение массовой доли меди в хвостах на 0,025 % и цинка на 0,06 %, что составляет занижение по меди на 8,22 % и по цинку на 8,28 %.

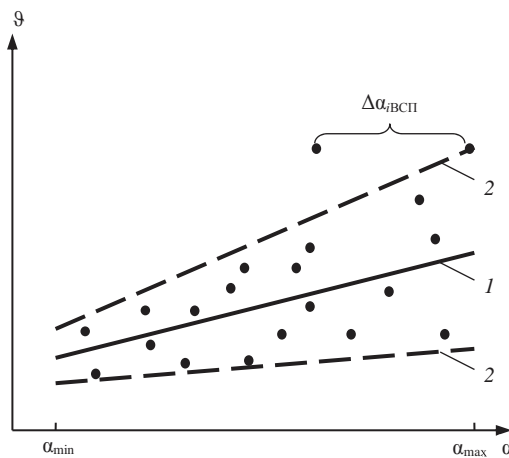


Рис. 2. Связь массовой доли в хвостах с массовой долей в руде
Fig. 2. Connection between mass fraction in tailings and mass fraction in ore

Аналогичная работа выполнена на хвостах золоторудной фабрики. При отборе проб способом поперечных сечений каждый час в течение месяца получено, что средняя массовая доля золота в хвостах равна 0,499 г/т, а при отборе проб способом продольных сечений – 0,527 г/т. Занижение составило 0,028 г/т, или 5,3 %.

Оценка вероятной систематической погрешности возможна при сопоставлении результатов анализа одних и тех же продуктов у поставщика и потребителя. Поставщики – обогатительные фабрики – обычно имеют меньше возможностей качественно отобрать пробы от концентратов, чем потребители – заводы. Тогда, приняв за опорное значение результат опробования у потребителя (завода), можно получить оценку вероятной систематической погрешности у поставщика (обогажительной фабрики).

Такое сопоставление выполнено на поставках медного концентрата по тринадцати партиям из 30 вагонов. Получено, что на фабрике завышают качество концентрата по меди на 0,187 % (1 % отн.) и занижают по золоту на 0,34 г/т (1,5 %), по серебру – на 0,35 г/т (1,4 %).

На этой же фабрике выполнено сопоставление качества концентрата по меди по сменным пробам: на производстве – 19,68 %, при отгрузке – 19,04 %. Завышение на производстве составило 0,64 % (3,4 % отн.).

Сравнение качества цинкового концентрата, полученного опробованием кека вакуум-фильтра (48,05 %) и на отгрузке концентрата (46,18 %), показало, что при опробовании кека массовая доля цинка в концентрате завышается на 1,87 %.

Результаты, анализ и обсуждение. Пять вариантов обнаружения проявления и оценок вероятной систематической погрешности, выполненных на разных обогащательных фабриках, дают основания рассматривать эту погрешность наравне с известными систематическими и случайными погрешностями опробования минерального сырья. Это позволит объективно оценить работу фабрик и при появлении неожиданных результатов, в том числе при появлении ураганных проб либо излишков ценных компонентов, снизить возможности получения брака по качеству концентратов и объяснить возможные разногласия с потребителями концентратов.

Область применения результатов. Оценки вероятных систематических погрешностей привели к выводу о необходимости перехода при опробовании на обогащательных фабриках к непрерывному отбору проб, что означает отбор точечных проб при использовании способа поперечных сечений через короткие промежутки времени (вплоть до 30 с), либо отбор проб способом продольных сечений [9–15].

Оценки вероятных систематических погрешностей следует включать в расчет допустимых значений невязок товарных балансов и учитывать при анализе результатов расчетов технологических балансов.

Выводы. Вероятная систематическая погрешность при опробовании продуктов обогащения может иметь значения, превосходящие случайные погрешности. Возможности определения вероятной систематической погрешности одним из пяти изложенных способов позволяют установить ее влияние и учесть при анализе получаемых результатов опробования и расчетах балансов. Для снижения вероятной систематической погрешности необходим переход к практически непрерывному отбору проб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Локонов М. В., Петрова М. И., Рейнгардт Е. П. Методика подготовки для анализа проб руды, содержащей интерметаллические соединения платиновых металлов // Обогащение руд. 1971. № 2. С. 44–47.
2. Прокопьева С. В., Ванина А. С., Кавчик Б. К. Проблемы пробоподготовки и анализа проб с различной крупностью золота // Золотодобыча. 2014. № 2. С. 11–14.
3. Козин В. З., Комлев А. С. Ураганные пробы и их учет // Обогащение руд. 2015. № 4. С. 39–43.
4. Козин В. З., Волозов К. А. Причины положительных невязок товарного баланса на обогащательных фабриках // Обогащение руд. 2013. № 2. С. 27–31.
5. Шоршер И. Н. О балансе молибдена на обогащательных фабриках // Обогащение руд. 1959. № 2. С. 50.
6. Чемезов В. В. Из опыта освоения россыпей // Маркшейдерский вестник. 2008. № 2. С. 34–40.
7. Петров С. В., Бедерова Л. Л., Бороздин А. П. К методике достоверного определения содержания благородных металлов в пробах с крупными выделениями самородных металлов // Обогащение руд. 2015. № 4. С. 44–48.
8. Pitard F. Correct sampling systems and statistical tools for metallurgical processes // XXVII International Mineral Processing Congress. Santiago, Chile. 2014. Chap. 15. P. 1.
9. Chunyue Song, Kailin Hu, Ping Li. Modeling and scheduling optimization for bulk ore blending process // Journal of Iron and Steel Research, International. 2012. Vol. 19. Issue 9. P. 20–28.
10. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых / В. В. Морозов [и др.]. М.: Руда и металлы, 2013. 512 с.
11. Kim T.-H., Maruta I., Sugie T. A simple and efficient constrained particle swarm optimization and its application to engineering design problems // Journal of Mechanical Engineering Science. 2010. Vol. 224. Issue C2. P. 389–400.
12. Adams M. D. Summary of gold plants and processes // Advances in Gold Ore processing. Ser. Developments in Mineral Processing. Vol. 15. P. 994–1013.
13. Морозов В. В., Столяров В. Ф., Коновалов Н. М. Повышение эффективности управления флотацией с использованием поточных анализаторов состава пульпы // Обогащение руд. 2003. № 4. С. 33–36.

14. Морозов В. В., Столяров В. Ф., Дэлгэрбат Л., Ганбаатар З. Управление флотацией медно-молибденовых руд на основе непрерывного рентгенофлуоресцентного анализа // Автоматизация в горном деле, обогащении и металлургии: сб. научн. тр. Чили, Мар-дель-Плата, 2009. С. 1145–1148.

15. Cleary P. W., Robinson G. K. Sampling of cohesive bulk materials by falling stream cutters // Chemical Engineering Science. 2011. Vol. 66. Issue 17. P. 3991–4003.

Поступила в редакцию 10 апреля 2018 года

Козин В. З., Комлев А. С., Водовозов К. А. Проявление и расчет вероятной систематической погрешности результатов опробования на обогатительных фабриках // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 6. С. 69–76.

Сведения об авторах:

Козин Владимир Зиновьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой обогащения полезных ископаемых, декан горно-механического факультета Уральского государственного горного университета. E-mail: gmf.dek@ursmu.ru

Комлев Алексей Сергеевич – кандидат технических наук, инженер кафедры обогащения полезных ископаемых Уральского государственного горного университета. E-mail: magister-43@mail.ru

Водовозов Константин Александрович – ассистент кафедры обогащения полезных ископаемых Уральского государственного горного университета. E-mail: gmf.opi@ursmu.ru

SAMPLING RESULTS PROBABLE SYSTEMATIC INCLINATION MANIFESTATION AND CALCULATION AT CONCENTRATING MILLS

Kozin V. Z.¹, Komlev A. S.¹, Vodovozov K. A.¹

¹ Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Research aim. Despite multiple manifestations at ores and concentration products sampling, in practice, probable systematic inclination is not calculated and determined. Its manifestations are commonly assigned to incomprehensible sampling effects or inclinations which can be eliminated by correct sampling. Research aim is to state the variants of probable systematic inclination and its value estimability.

Research methodology. There are several variants of probable systematic inclination manifestation and calculation: by inconsistency of trade balance, by divergence of valuable components masses calculated according to the technological balance and their actual presence, by sampling results mass fraction distribution, by mass fractions correlation functions in sampling points, by direct comparison of sampling results of one and the same point with the method adopted at an enterprise or with the method eliminating probable systematic inclination.

Results application area. Assessments of probable systematic inclinations have lead to the conclusion about the necessity of transition to continuous sample collection at concentrating mills, which is point sampling with a method of cross sections through short periods of time (up to 30 sec.) or sampling with a method of longitudinal sections.

Conclusions. Assessments of probability systematic inclinations is to be included in trade balance inconsistency acceptable values calculation and taken into account in technological balance calculation results analysis.

Key words: probable systematic inclination; assessments; continuous sampling.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-6-69-76

REFERENCES

1. Lokonov M. V., Petrova M. I., Reingardt E. P. [Methodology of preparing the samples of ore containing platinum metals intermetallic bonds for the analysis]. *Obogashchenie rud – Mineral Processing*, 1971, no. 2, pp. 44–47. (In Russ.)
2. Prokop'eva S. V., Vanina A. S., Kavchik B. K. [Problems of preparing and analyzing samples with various gold grain sizes]. *Zolotodobycha – Gold Mining*, 2014, no. 2, pp. 11–14. (In Russ.)
3. Kozin V. Z., Komlev A. S. [Hurricane samples and their registration]. *Obogashchenie rud – Mineral Processing*, 2015, no. 4, pp. 39–43. (In Russ.)
4. Kozin V. Z., Vodovozov K. A. [Reasons for positive inconsistencies of trade balance at concentration mills]. *Obogashchenie rud – Mineral Processing*, 2013, no. 2, pp. 27–31. (In Russ.)
5. Shorsheer I. N. [On molybdenum balance at concentration mills]. *Obogashchenie rud – Mineral Processing*, 1959, no. 2, p. 50. (In Russ.)
6. Chemezov V. V. [Basing on the experience of placer deposits exploitation] *Marksheiderskii vestnik – Mine Surveying Bulletin*, 2008, no. 2, pp. 34–40. (In Russ.)
7. Petrov S. V., Bederova L. L., Borozdin A. P. [Regarding the methodology of reliable determination of noble metals content in the samples with native metals large isolations]. *Obogashchenie rud – Mineral Processing*, 2015, no. 4, pp. 44–48. (In Russ.)
8. Pitard F. Correct sampling systems and statistical tools for metallurgical processes. Proc. 27th Int. Mineral Processing Congress. Santiago, Chile, 2014, chap. 15, p. 1.
9. Chunyue Song, Kailin Hu, Ping Li. Modeling and scheduling optimization for bulk ore blending process. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 2012, vol. 19, issue 9, pp. 20–28.

10. Morozov V. V., and others. [Mineral processing automated control systems development and application]. Moscow, Ruda i metally Publ., 2013. 512 p.
11. Kim T.-H., Maruta I., Sugie T. A simple and efficient constrained particle swarm optimization and its application to engineering design problems. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 2010, vol. 224, issue C2, pp. 389–400.
12. Adams M. D. Summary of gold plants and processes. *Advances in Gold Ore processing. Ser. Developments in Mineral Processing*, vol. 15, pp. 994–1013.
13. Morozov V. V., Stoliarov V. F., Konovalov N. M. [Improving the efficiency of flotation control with the use of pulp content continuous analyzers]. *Obogashchenie rud – Mineral Processing*, 2003, no. 4, pp. 33–36. (In Russ.)
14. Morozov V. V., Stoliarov V. F., Delgerbat L., Ganbaatar Z. [Controlling copper-molybdenum ores flotation on the basis of continuous X-ray fluorescence analysis]. *Avtomatizatsiia v gornom dele, obogashchenii i metallurgii: sb. nauchn. tr.* [Collection of studies "Automation in Mining, Processing, and Metallurgy"]. Chili, Mar-del-Plata, 2009, pp. 1145–1148.
15. Cleary P. W., Robinson G. K. Sampling of cohesive bulk materials by falling stream cutters. *Chemical Engineering Science*, 2011, vol. 66, issue 17, pp. 3991–4003.

Information about authors

Kozin Vladimir Zinov'evich – Doctor of Engineering sciences, Professor, Head of the Department of Mineral Processing, Dean of the Mining Engineering Department, Ural State Mining University. E-mail: gmf.dek@ursmu.ru

Komlev Aleksei Sergeevich – Candidate of Engineering sciences, engineer of the Department of Mineral Processing, Ural State Mining University. E-mail: magister-43@mail.ru

Vodovozov Konstantin Aleksandrovich – assistant lecturer of Department of Mineral Processing, Ural State Mining University. E-mail: gmf.opi@ursmu.ru
