

УДК 622.329

DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-1-34-40

ALGORITHM OF DECISION-MAKING ON PIECES REMOVAL IN PHOTOMETRIC SEPARATION

АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ОБ УДАЛЕНИИ КУСКОВ ПРИ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ



V. Я. Потапов,
Уральский
государственный
горный университет,
г. Екатеринбург

*V. Potapov,
Ural State Mining
University,
Yekaterinburg
2c I@inbox.ru*



E. F. Цыпин,
Уральский
государственный
горный университет,
г. Екатеринбург

*E. Tsypin,
Ural State Mining
University,
Yekaterinburg
tsipin.e@mail.ru*



B. V. Потапов,
Уральский
государственный
горный университет,
г. Екатеринбург

*V. Potapov,
Ural State Mining
University,
Yekaterinburg
2c I@inbox.ru*



E. E. Франюк,
Уральский
государственный
горный университет,
г. Екатеринбург

*E. Franyuk,
Ural State Mining
University,
Yekaterinburg
2c I@inbox.ru*

Изложен комплексный подход к использованию оптических характеристик минералов для разработки анализатора и фотометрического сепаратора. Установлено, что для идентификации кусков жильной и вкрапленной структур при фотометрической сепарации недостаточно использования в качестве признака разделения коэффициента отражения куска. Выявлено, что необходимы сканирование поверхности куска узко фокусированным лучом света и использование специального алгоритма обработки оптической информации. Для исследования алгоритмов идентификации асбестосодержащих кусков при фотометрической сепарации разработан лазерный фотометрический анализатор, позволяющий фиксировать коэффициенты отражения части поверхности куска при сканировании ее узко фокусированным лучом лазера. Отмечено, что с его помощью возможно производить вычисление относительных площадей отражающих минералов, которые занимают поверхность исследуемого образца. Показано, что для принятия решения об удалении куска при сепарации необходимо знать содержание компонентов в куске. В связи с этим особый интерес представляет рассмотрение связи соотношения площади и весовых содержаний компонентов в кусках. В результате проведенного исследования получены две формулы вычисления содержания через известные площади для жильной и вкрапленной структур. Установлено, что параметры размеров площади включений минералов возможно вычислить, если известны коэффициенты отражения слагающих минералов. В связи с этим появляется возможность оценить содержание ценного компонента непосредственно в куске. Для вычисления содержания описана форма включений с помощью математических моделей кусков жильной структуры, что характерно для асбеста и вкрапленной структуры – для угольных и других полезных ископаемых. Установлен наиболее эффективный алгоритм идентификации асбестосодержащих кусков – алгоритм долевого типа. Приведены результаты имитации сортировки асбестовой руды.

Ключевые слова: лазерный фотометрический анализатор; кусок жильной и вкрапленной структур; алгоритмы; формулы; фотометрический метод сортировки; алгоритм идентификации; сканирование поверхности; математическая модель; шар; коэффициент отражения

An integrated approach to the use of optical characteristics of minerals for the development of an analyzer and a photometric separator is presented. It has been established that identification of pieces of veined and interspersed structures during photometric separation is not enough to use as a sign of separation the reflection coefficient of a piece. It has been revealed that it is necessary to scan the surface of a piece with a narrowly focused beam of light and use a special algorithm for processing optical information. To investigate the algorithms for identifying asbestos-containing pieces in photometric separation, a laser photometric analyzer has been developed that allows one to fix the reflection coefficients of a part of the surface of a piece when scanning it with a narrowly focused laser beam. It is noted that with its help it is possible to calculate the relative areas of reflecting minerals that occupy the surface of the sample under study. It is shown that in order to make a decision to remove a piece during separation it is necessary to know the content of the components in the piece. In this connection, it is of particular interest to consider the relationship between the ratio of the area and the weight content of the components in the pieces. As a result of the study, two formulas for calculating the content through known areas for vein and interspersed structures were obtained. It is established that the parameters of the size of the inclusions of minerals can be calculated if the coefficients of reflection of the constituent minerals are known. In this regard, it becomes possible to evaluate the content of a valuable component directly in the piece. To calculate the content, the form of inclusions is described using mathematical models of pieces of vein structure, which is characteristic of asbestos and interspersed structure - for coal and other minerals. The most effective algorithm for the identification of asbestos-containing pieces is established - the algorithm of the shared type. The results of imitating the sorting of asbestos ore are given

Key words: *laser photometric analyzer; a piece of veined and interspersed structures; algorithms; formulas; photometric sorting method; identification algorithm; surface scanning; mathematical model; ball; reflection coefficient*

The photometric sorting method [1–13] can be implemented in various modifications by different separation criteria [5; 7] which may be formed by special algorithms. The type of the algorithm is determined by the spectral optical characteristics of raw material components and the type of mineralization. For asbestos ores as noted [2; 3; 9] the greatest differences in reflectivity of asbestos and rocks are available at wavelengths of 550 to 750 nm. Previous studies have shown that the specific mineralization of asbestos does not allow using the simplest algorithms for identifying the type of integral reflection coefficient. Obviously it requires the use of such measurement principles that allow to fix optical heterogeneity of very small pieces of surface of pieces. Such principles are realized using the operation of scanning the surface with a thin beam.

For the research experimental facilities have been developed [2; 3; 9]. A block-scheme of a laser photometric analyzer is shown in Fig. 1.

When developing optical separators for a particular type of raw material the principal questions must be justification of structural

elements of a measuring chamber and the choice of algorithms for decision –making on pieces removing.

Using a laser photometric analyzer it is possible to calculate relative areas of reflecting minerals, occupying the surface of a tested sample.

To make a decision on removing a piece during separation it is necessary to know the content of components in the piece. Therefore it is of interest to consider the relationship between the ratio of the area and weight content of the components in pieces.

The size parameters of inclusions of minerals can be calculated if coefficients of reflection of the constituent minerals are known. In this regard it becomes possible to evaluate the content of a valuable component directly in the piece. To calculate the content we describe the shape of inclusions using mathematical models of pieces of vein structure, being characteristic for asbestos and disseminated one- for coal and other minerals.

As a model of the vein structure a ball that is crossed by a vein valuable component is considered (Fig. 2).

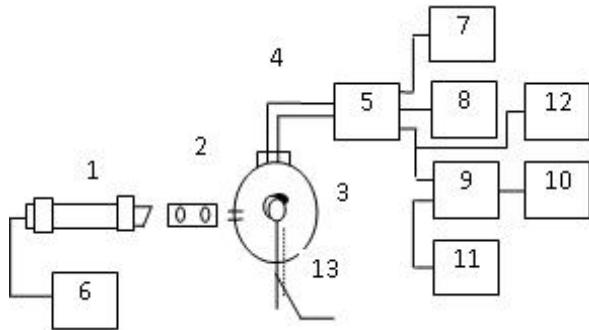
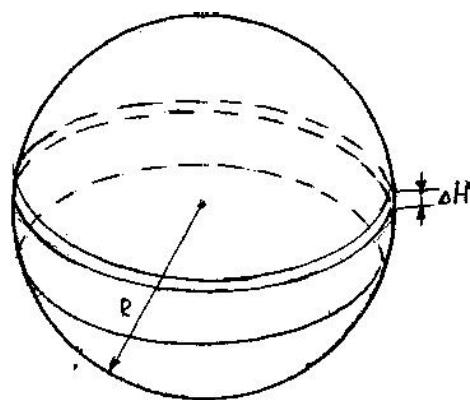


Fig. 1. Block-scheme of a laser photometric analyzer:
 1 – laser; 2 – focusing system; 3 – optical camera;
 4 – lightguide; 5 – detector; 6 – laser power supply;
 7 – high-voltage detector power supply;
 8 – low-voltage detector power supply; 9 – pulse
 analyzer; 10 – digital printer; 11 – generator pulses;
 12 – recording potentiometer; 13 – connector with a
 plug (rotatable stand) / Рис. 1. Блок-схема
 лазерного фотометрического анализатора:
 1 – лазер; 2 – фокусирующая система;
 3 – оптическая камера; 4 – световод; 5 – детектор;
 6 – блок питания лазера; 7 – блок питания
 детектора высоковольтный; 8 – блок питания
 детектора низковольтный; 9 – анализатор
 импульсов; 10 – цифропечатающее устройство;
 11 – генератор импульсов; 12 – самопищущий
 потенциометр; 13 – штукер с вилкой (вращаемая
 подставка)



The written equation to calculate the true content is the following:

$$\alpha = \frac{V_{\text{vein}} \rho_i}{V_{\text{vein}} + (V_{\text{ball}} - V_{\text{vein}}) \rho_r} \beta_i , \quad (1)$$

where V_{vein} – volume of vein, m^3 ;

V_{ball} – volume of ball, m^3 ;

ρ_i – mineral density, kg/m^3 ;

ρ_r – rock density, kg/m^3 ;

β_i – content of valuable component in the mineral, %.

Let us replace in (2) the parameters of volumes through the parameters of the cut out cylinder of the vein of a valuable component:

$$\alpha = \frac{\frac{2}{3}\pi R^2 \Delta H \rho_i}{\frac{2}{3}\pi R^2 \Delta H \rho_i + (\frac{4}{3}\pi R^3 - \frac{2}{3}\pi R^2 \Delta H) \rho_r} \beta_i \quad (2)$$

Expressing R and ΔH through known areas

$$R_{\text{ball}} = \sqrt{\frac{S_{\text{vein}}}{4\pi}} \quad (3)$$

Fig. 2. The vein model structure:
 R – radius of ball; ΔH – thickness of vein /

Рис. 2. Модель жильной структуры:
 R – радиус шара; ΔH – толщина жилы

$$\Delta H = \frac{S_{\text{vein}} 4\pi}{2\pi \sqrt{S_{\text{vein}} \pi}} = \frac{S_{\text{vein}}}{\sqrt{S_{\text{vein}} \pi}} \quad (4)$$

where S_{vein} – volume of ball, m^2 ;
 S_{vein} – vein area, m^2 .

Then, from the equations (3 and 4):

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\frac{2}{3}\pi \frac{S_{\text{vein}}}{4\pi \sqrt{S_{\text{vein}} \pi}} \rho_i}{(\frac{2}{3}\pi \frac{S_{\text{vein}}}{4\pi \sqrt{S_{\text{vein}} \pi}} + (\frac{4}{3}\pi (\frac{S_{\text{vein}}}{4\pi})^2/2 - \frac{2}{3}\pi \frac{S_{\text{vein}}}{4\pi \sqrt{S_{\text{vein}} \pi}}) \rho_r) \rho_r} \beta_i = \\ &= \frac{\frac{S_{\text{vein}} \sqrt{S_{\text{vein}}}}{6\sqrt{\pi}} \rho_i}{\frac{S_{\text{vein}} \sqrt{S_{\text{vein}}}}{6\sqrt{\pi}} + \left(\frac{S_{\text{vein}}^2}{6\sqrt{\pi}} - \frac{S_{\text{vein}} \sqrt{S_{\text{vein}}}}{6\sqrt{\pi}} \right) \rho_r} \beta_i = \\ &= \frac{S_{\text{vein}} \sqrt{S_{\text{vein}}} \rho_i}{\sqrt{S_{\text{vein}}} (S_{\text{vein}} \rho_r + (S_{\text{vein}} - S_{\text{vein}}) \rho_r)} \beta_i. \end{aligned} \quad (5)$$

And in the final form the content may be estimated by the formula:

$$\alpha = \frac{S_{\text{vein}} \rho_i}{S_{\text{vein}} \rho_r + (S_{\text{vein}} - S_{\text{vein}}) \rho_r} \beta_i. \quad (6)$$

For the interspersed structure we use a ball with a segment as a model (Fig. 3).

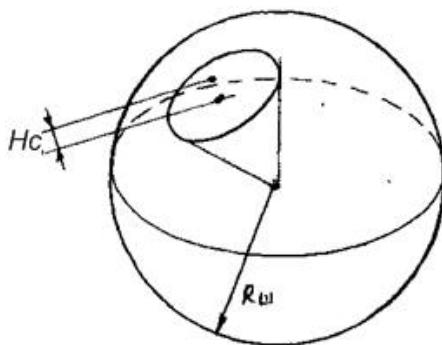


Fig. 3. Model of interspersed structure:
 R_w – radius of sphere; H_c – height of segment
/Рис. 3. Модель вкрапленной структуры:
 R_w – радиус шара; H_c – высота сегмента

The true content through the parameters of the segment is determined from the expression

$$\alpha = \frac{\frac{\pi H_c^2}{3} (3R_w - H_c) \rho_m}{\frac{\pi H_c^2}{3} (3R_w - H_c) \rho_m + \left(\frac{4}{3} \pi R_w^3 - \frac{\pi H_c^2}{3} (3R_w - H_c) \right) \rho_n} \beta_m, \quad (7)$$

where R_w – radius of ball, m;

H_c – segment height, m;

ρ_m – mineral density, kg/m³;

ρ_n – rock density, kg/m³;

β_m – content of valuable component in the mineral, %.

Having expressed R_w and H_c through the known areas:

$$R_w = \sqrt{\frac{S_{uw}}{4\pi}}, \quad (8)$$

$$H_c = \frac{S_c}{\sqrt{S_{uw}\pi}}, \quad (9)$$

where S_{uw} – area of ball, m²;

S_c – segment area, m².

We get

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\frac{\pi S_c^2}{3} \left(3 \sqrt{\frac{S_{uw}}{4\pi}} - \frac{S_c}{\sqrt{S_{uw}\pi}} \right) \rho_m}{\frac{\pi S_c^2}{3} \left(3 \sqrt{\frac{S_{uw}}{4\pi}} - \frac{S_c}{\sqrt{S_{uw}\pi}} \right) \rho_m + \left(\frac{4}{3} \pi \left(\frac{S_{uw}}{4\pi} \right)^{3/2} - \frac{\pi S_c^2}{3} \left(3 \sqrt{\frac{S_{uw}}{4\pi}} - \frac{S_c}{\sqrt{S_{uw}\pi}} \right) \right) \rho_n } \beta_m \\ &= \frac{\frac{S_c^2 (3S_{uw} - 2S_c)}{6\sqrt{\pi} S_{uw}^{3/2}} \rho_m}{\frac{S_c^2 (3S_{uw} - 2S_c)}{6\sqrt{\pi} S_{uw}^{3/2}} \rho_m + \left(\frac{S_{uw}^2 - S_c^2 (3S_{uw} - 2S_c)}{6\sqrt{\pi} S_{uw}^{3/2}} \right) \rho_n } \beta_m. \end{aligned} \quad (10)$$

And in the final form the equation for determining the interspersed structure

$$\alpha = \frac{S_c^2 (3S_{uw} - 2S_c) \rho_m}{S_c^2 (3S_{uw} - 2S_c) (\rho_m - \rho_n) + S_{uw}^2 \rho_n} \beta_m. \quad (11)$$

So we have obtained two formulas for calculating the content through known areas: formula (6) for the vein structure, formula (11) for the interspersed structure. To identify asbestos pieces it is necessary to scan the surface of a piece with a narrowly focused beam of light and use a special algorithm for processing optical information, being the basis for development of a photometric separator. On the basis of the obtained equations after identification of pieces it is possible to estimate the true content of asbestos in a piece according to the equation (6).

The information obtained with the help of the laser analyzer may be processed differently. Table 1 shows the results of an experimental imitation of asbestos or sorting. The primary information was obtained by scanning the surface of pieces with a laser beam, measuring the reflection coefficient, changing the laser beam along a piece of ore as the laser moved. The processing of information was carried out according to various algorithms, taking into account the content of vein structures [2; 3; 9].

Algorithms differ only by the formed separation feature. To fundamentally different of them should be attributed to the signs using differences in amplitudes of signals, in the share of signals of a given amplitude level to the total number of signals from the piece as a whole. To amplitude-type algorithms the measurement of the reflection coefficient R_l of the piece as a whole may be related or the measurement of the maximum pulse amplitude A_m from the group of pulses characterizing the piece as a whole. Fractional-type algorithms, for example, may be considered the calculation of the ratio of a number of pulses with a given amplitude to the total number of pulses from a piece ($f_a \bar{\Pi}_a$) or calculation of the product of such a ratio on to the average duration of the amplitude pulses of the given level ($f_a A_m \bar{\Pi}_a$). It is possible to combine both groups of algorithms [2; 3; 9].

**Effectiveness of algorithms in simulation of photometric separation /
Эффективность алгоритмов при имитации фотометрического разделения**

Sign of separation* / Признак разделения*	Correlation relation, d. e. / Корреляционное отноше- ние, д. е.	Theoretical yield of tails / Теоретический выход хвостов	
		to the class, % / к классу, %	to ore, % / к руде, %
$a = a + bf_a + cfa^2$	0,77	93	47,43
$a = a + bf_a \bar{\Pi}_a + c(fa\bar{\Pi}_a)^2$	0,53	96,5	49,22
$a = R_{550}$	0,61	61	31,11
$a = a + bf_a + c\Pi_M + dA_M$	0,91	95,5	48,71

Note. *a, b, c, d – numerical coefficients; fa – specific number of discrete pulses of a given amplitude (“asbestos”) with respect to the total number of pulses from a piece; $\bar{\Pi}_a$ – average duration of discrete pulses of a given amplitude (“asbestos”); Π_M – maximum pulse duration of a given amplitude from a piece; A_M – maximum amplitude of “asbestos” pulses of maximum duration, R_{550} – reflection coefficient at a wavelength of 550 nm / Примечание.*a, b, c, d – числовые коэффициенты; fa – удельное число дискретных импульсов заданной амплитуды («асбестовых») по отношению к общему числу импульсов от куска; $\bar{\Pi}_a$ – средняя продолжительность дискретных импульсов заданной амплитуды («асбестовых»); Π_M – максимальная длительность импульса заданной амплитуды от куска; A_M – максимальная амплитуда «асбестовых» импульсов максимальной длительности; R_{550} – коэффициент отражения на длине волны 550 нм

The efficiency of the above algorithms with respect to asbestos ore is very high; the best indicators should be expected when using algorithms of a shared or combination type. Therefore, in the photometric separator in the information processing and decision-making unit, it is necessary to provide for flexibility

of the structure, making it possible to form various types of separation algorithms from among those considered above. In addition, to implement such algorithms in the photometric separator it is necessary to provide a system for scanning the surface of pieces.

References

1. Gulin Ye. N. *Laboratornye i tehnologicheskie issledovaniya i obogashchenie mineralnogo syriya* (Laboratory and technological studies and mineral raw materials' enrichment). Moscow: EM VIMS, 1984, issue 4, pp. 10–12.
2. *Kompleksny metod pererabotki karbonatnyh margancevyyh rud Severo-Ural'skogo basseyna* (Complex method of processing carbonate manganese ores of the North-Ural basin) / Yu. E. Sutyrin [and others] // Problems of complex processing of mineral raw materials and environmental protection (Plaksinsky readings): reports of the Int. meeting, Petrozavodsk, 15–18 Sept. 1998. Moscow: NSC GP-IGD named after A. A. Skochinsky, 1999. 244 p.
3. Kravets B. N. *Izvestiya vuzov. Gorny zhurnal* (Proceedings of high schools. Mining journal), 1999, no. 3–4, pp. 89–93.
4. Kurganov E. N. *Izvestiya vuzov. Gorny zhurnal* (Proceedings of high schools. Mining journal), 1983, no. 1, pp. 127–129.
5. *Obogashchenie rud* (Enrichment of ores), 2007, no 5, pp. 41–44.
6. *Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo syriya* (Complex use of mineral raw materials), 1983, no. 2, pp. 10–14.
7. *Gorny zhurnal* (Mining Journal), 2007, no. 12, pp. 88–92.
8. Teterina N. N., Kravets B. N., Kurganov Ye. N. *Obogashchenie rud* (Enrichment of ores), 1982, no. 5, pp. 5–7.
9. Tsypin E. F., Polapov V. Ya. *Izvestiya vuzov. Gorny zhurnal* (Proceedings of high schools. Mining journal), 2002, no. 2, pp. 57–64.
10. Chernitsky L. P., Kozhevnikov E. K., Chernov A. P. *Sovershenstvovanie protsessov rudopodgotovki: sb. nauch. tr.* (Perfection of ore preparation processes: coll. sci. works). Leningrad, 1980. P. 121–123.
11. *Mining and Miner. Eng.* (Mining and Miner. Eng.), 1970, vol. 6, no. 12, pp. 46–49.

12. 10-th Int. Miner Process. Congr. (10-th Int. Miner Process. Congr.). London, 1973. London, 1974, pp. 1007–1022.

13. Engineering and Mining Journal (Engineering and Mining Journal), 1976, vol. 177, no. 6, pp. 231–236.

Список литературы

1. Гулин Е. Н. Особенности фотоабсорбционной сепарации кварцевого сырья // Лабораторные и технологические исследования и обогащение минерального сырья. М.: ЭМ ВИМС, 1984. Вып. 4. С. 10–12.
2. Комплексный метод переработки карбонатных марганцевых руд Северо-Уральского бассейна / Ю. Е. Сутырин [и др.] // Проблемы комплексной переработки минерального сырья и охраны окружающей среды (Плаксинские чтения): доклады межд. совещания, г. Петрозаводск, 15–18 сент. 1998 г. М.: ННЦ ГП-ИГД им. А. А. Скочинского, 1999. 244 с.
3. Кравец Б. Н. Фотометрическая сортировка полезных ископаемых // Известия вузов. Горный журнал. 1999. № 3-4. С. 89–93.
4. Курганов Е. Н. О возможности фотометрического обогащения сильвинитовых руд // Известия вузов. Горный журнал. 1983. № 1. С. 127–129.
5. Об использовании оптико-электронных методов в системах регистрации радиометрических сепараторов алмазосодержащего сырья / Е. В. Бутырь [и др.] // Обогащение руд. 2007. № 5. С. 41–44.
6. Обогащение бокситов СУБРа методом фотометрической сепарации / В. С. Шемякин [и др.] // Комплексное использование минерального сырья. 1983. № 2. С. 10–14.
7. Полихромная фотометрическая сепарация золотосодержащих руд / В. К. Рябкин [и др.] // Горный журнал. 2007. № 12. С. 88–92.
8. Тетерина Н. Н., Кравец Б. Н., Курганов Е. Н. О возможности предварительного фотометрического обогащения сильвинитов // Обогащение руд. 1982. № 5. С. 5–7.
9. Цыпин Е. Ф., Потапов В. Я. Фотометрическая сортировка асBESTовых руд // Известия вузов. Горный журнал. 2002. № 2. С. 57–64.
10. Черпицкий Л. П., Кожевников Е. К., Чернов А. П. Фотометрическая сепарация — перспективный метод обогащения магнезитов Саткинской группы месторождений // Совершенствование процессов рудоподготовки: сб. науч. тр. Ленинград, 1980. С. 121–123.
11. Electronic sorting machine upgrades soft industrial minerals // Mining and Miner. Eng., 1970, vol. 6, no. 12, pp. 46–49.
12. Ore sorters for asbestos and scheelite / D. Collier, F. B. Dwyer, R. L. Thompson, E. Wulff // 10-th Int. Miner Process. Congr. London, 1973. London, 1974, pp. 1007–1022.
13. Photometric sorting concentrates gold ore // Engineering and Mining Journal, 1976, vol. 177, no. 6, pp. 231–236.

Коротко об авторах

Потапов Валентин Яковлевич, д-р техн. наук, профессор кафедры горной механики, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия. Область научных интересов: математическое моделирование

Цыпин Евгений Федорович, д-р техн. наук, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых

Потапов Владимир Валентинович, канд. техн. наук, доцент, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия. Область научных интересов: математическое моделирование

Екатерина Евгеньевна Франюк, ст. преподаватель кафедры иностранных языков, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия. Область научных интересов: иностранные языки

Briefly about the authors

Valentin Potapov, doctor of technical sciences, professor, Technical Mechanics Department, Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia. Sphere of scientific interests: mathematical modeling
2c1@inbox.ru

Evgeny Tsypin, doctor of technical sciences, professor, Mineral Processing department, Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia. Sphere of scientific interests: mathematical modeling
tsipin.e@mail.ru

Vladimir Potapov, candidate of technical sciences, associate professor, Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia.
Sphere of scientific interests: mathematical modeling

Ekaterina Franyuk, senior teacher, Foreign Languages and Business Communication department, Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia. Sphere of scientific interests: foreign languages

Образец цитирования

Потапов В. Я., Цыпин Е. Ф., Потапов В. В., Франюк Е. Е. Algorithm of decision-making on pieces removal in photometric separation // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2018. Т. 24. № 1. С. 34–40. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-1-34-40.

Potapov V., Tsypin E., Potapov V., Franyuk E. Algorithm of decision-making on pieces removal in photometric separation // Transbaikal State University Journal, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 34–40. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-1-34-40.

Статья поступила в редакцию: 21.12.2017 г.
Статья принята к публикации: 30.01.2018 г.

