

производится при отсутствии каких-либо объектов в зоне анализа, что позволяет определять диапазон достоверно определяемых градаций прозрачностей для образцов разной крупности и определять по изображениям анализируемых образцов их внутренние дефекты.

Условия, материалы и методы. Экспериментальные исследования АПК проводились в Научно-исследовательском центре оптико-электронного приборостроения Университета ИТМО. 3D-модель АПК показана на рис. 2, где 1 — проектор; 2 — телевизионная камера; 3 — источники верхней подсветки.

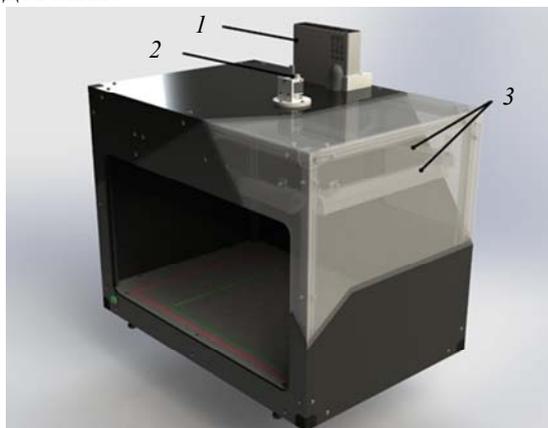


Рис. 2

Представленное техническое исполнение АПК позволяет работать с образцами размером от 5 мм в зоне анализа с размерами 430×300 мм².

Для проведения исследований и подтверждения характеристик АПК использовались 69 минеральных образцов различной крупности:

- 35 необработанных образцов бериллиевого сырья;
- 9 образцов бериллиевого сырья, подвергшихся проклеиванию;
- 13 образцов хризолита, подвергшихся голтовке;
- 1 образец аметиста нестандартной (голубовато-зеленой) окраски, подвергшийся голтовке;
- 7 образцов лазурита синей и белой окраски, подвергшихся голтовке;
- 2 образца кварца белой и коричневой окраски, подвергшихся голтовке;
- 1 образец необработанного кристалла кварца;
- 1 образец необработанного сильно трещиноватого кристалла аквамарина зелено-голубой окраски.

Путем изменения положения и ориентации образцов в зоне анализа фиксировались изменения координат цвета и прозрачности образцов, наличие включений и трещин, а также размерные параметры.

Результаты и обсуждение. На рис. 3—5 приведены примеры результатов обнаружения с помощью АПК образцов, отличающихся по цвету, размерности, а также прозрачности и наличию дефектов структуры. На рис. 3 выделены образцы, характеризующиеся наличием светло-зеленых оттенков, на рис. 4 — образцы крупностью от 10 до 15 мм, на рис. 5 — образцы с классом чистоты 2.



Рис. 3



Рис. 4

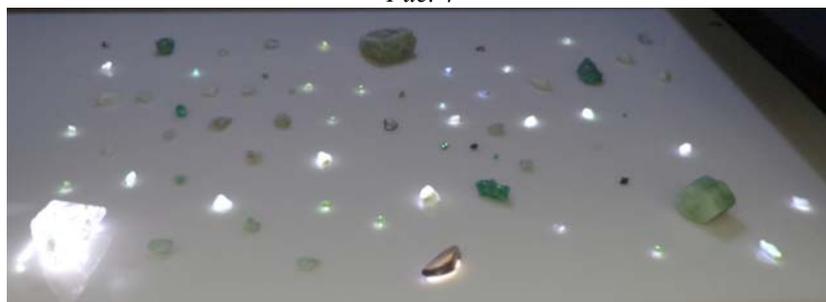


Рис. 5

Аналогичным образом можно обеспечивать выделение образцов по совокупности нескольких параметров и/или диапазонам их изменения.

Проведенные экспериментальные исследования, с учетом всех 69 анализируемых образцов, позволили установить следующие значения погрешностей.

1) Средний разброс определяемых значений цветового тона для одних и тех же минеральных образцов при изменении их ориентации и положения в зоне анализа составляет 7,9 градаций, что соответствует относительной погрешности определения цветового тона в 2,2 % от всего измеряемого диапазона значений. Для светлоты и насыщенности данная характеристика составляет соответственно 6,2 и 9,1 % от измеряемого диапазона. При этом для голтованных образцов значения светлоты повышены из-за появления блика на поверхности образцов при их съемке в режиме „на отражение“.

2) Средний разброс определяемых значений прозрачности, количество определяемых включений и определяемых трещин для одних и тех же минеральных образцов при изменении их ориентации и положения в зоне анализа составляют соответственно 3,1, 9,5 и 4,8 % от измеряемого диапазона.

Указанные значения взаимозависимы и отчасти компенсируют друг друга, что приводит к слабому влиянию на определяемый класс чистоты минерального образца (изменение класса чистоты наблюдалось только для трех проанализированных образцов).

3) Средний разброс определяемых значений размерных параметров для одних и тех же минеральных образцов при изменении их ориентации и положения в зоне анализа составил 0,5 мм. Этот параметр влияет на классификацию по размерам только в случае граничных ситуаций (изменение класса крупности наблюдалось только для двух минеральных образцов).

Заключение. Представлено техническое решение для выполнения сортировки и классификации образцов минерального сырья в полуавтоматическом режиме. Это решение может быть использовано:

— для технологической оценки обогатимости минерального сырья методом оптической сортировки с автоматическим определением оптимальных порогов разделения и предварительной оценкой эффективности сортировки без опробования на конкретных моделях оптических сортировщиков;

— для подготовки к продаже на горно-обогатительных комбинатах лотов добытого сырья драгоценных камней;

— для подбора в ювелирных мастерских комплектов обработанных драгоценных камней, имеющих одинаковые или, наоборот, специфичные оптические свойства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романчук А. И., Тихвинский А. В., Жарков В. В., Богомолов В. А. Фотометрическая сепарация руд золота различных типов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 2. С. 109—113.
2. Цыпин Е. Ф., Колтунов А. В., Комлев С. Г., Вегера А. Г. Обогащение изумрудоносных бериллиевых руд с использованием информационных методов // Изв. вузов. Горный журнал. 2012. № 5. С. 106—111.
3. Чертов А. Н., Горбунова Е. В., Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П. Возможности обогащения кварц-полевошпатового сырья месторождений Северной Карелии оптическим методом // Обогащение руд. 2015. № 4. С. 54—59.
4. Садовничий Р. В., Рожкова Н. Н., Горбунова Е. В., Чертов А. Н. Исследование возможностей оптической сепарации шунгитовых пород Максовской залежи (Зажогинское месторождение) // Обогащение руд. 2016. № 1. С. 10—15.
5. Ergin Gülcan, Özcan Y. Gülsoy. Evaluation of complex copper ore sorting: Effect of optical filtering on particle recognition // Minerals Engineering. 2018. Vol. 127. P. 208—223.
6. Wotruba H., Knapp H., Neubert K., Schropp C. Anwendung der sensorgestützten Sortierung für die Aufbereitung mineralischer Rohstoffe // Chemie Ingenieur Technik. 2014. Vol. 86, N 6. P. 773—783.
7. Рябкин В. К., Черпасов И. В., Тихвинский А. В. Исследования по оценке возможности обогащения руд черных, легирующих металлов полихромным фотометрическим методом сепарации. Часть 1 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 11. С. 82—89.
8. Рябкин В. К., Черпасов И. В., Тихвинский А. В. Исследования по оценке возможности обогащения руд черных, легирующих металлов полихромным фотометрическим методом сепарации. Часть 2 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 12. С. 61—70.
9. Guo Y., Zong X., Qi M. et al. Feasibility study on color evaluation of jadeite based on GemDialogue color chip images // J. Image Video Proc. 2018. 95. P. 1—9.
10. Sinkevicius S., Lipnickas A., Rimkus K. Amber gemstones sorting by colour // Elektronika ir elektrotechnika. 2017. Vol. 23, N 2. P. 10—14.
11. Dadong Wang, Bischof L., Lagerstrom R. et al. Automated opal grading by imaging and statistical learning // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. 2016. Vol. 46, N 2. P. 185—201.
12. Мельников Е. П., Ножкина А. В. Состояние и проблемы диагностики драгоценных камней и промышленных минералов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S1. С. 563—567.

Сведения об авторах

- Александр Николаевич Чертов** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, факультет прикладной оптики; доцент; E-mail: a.n.chertov@mail.ru
- Елена Васильевна Горбунова** — канд. техн. наук; Университет ИТМО, факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники; ведущий научный сотрудник; E-mail: evgorbunova@itmo.ru
- Анастасия Сергеевна Кушкочева** — аспирант; Университет ИТМО, факультет прикладной оптики; E-mail: askushkoeva@gmail.com
- Алексей Александрович Горбачёв** — канд. техн. наук; Университет ИТМО, факультет прикладной оптики; доцент; E-mail: gorbachev@itmo.ru

Поступила в редакцию
08.04. 2021 г.

Ссылка для цитирования: Чертов А. Н., Горбунова Е. В., Кушкочева А. С., Горбачёв А. А. Аппаратно-программный комплекс для сортировки и классификации минерального сырья по визуальным показателям // Изв. вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 7. С. 589—594.

HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR SORTING AND CLASSIFICATION OF MINERAL RAW MATERIALS BY VISUAL INDICATORS

A. N. Chertov, E. V. Gorbunova, A. S. Kushkoeva, A. A. Gorbachev

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia
E-mail: a.n.chertov@mail.ru

A hardware and software complex developed by the authors is presented. The complex is designed for sorting and classifying samples and small batches of mineral raw materials in a semi-automatic mode according to parameters such as size, color, and purity. The complex contains nodes for the lower and upper illumination, a registration unit with a television camera, as well as a projection unit for displaying the classification results into the analysis zone. The role of the operator is reduced to mechanical actions to place and remove mineral samples from the analysis area. Experimental studies were carried out using beryl, chrysolite, amethyst, lapis lazuli, quartz and aquamarine, 69 samples in total. The relative errors in determining the color tone, saturation and lightness were 2.2, 6.2 and 9.1% of the entire measured range, respectively. The average spread of the determined values of transparency, the number of inclusions and cracks is 3.1, 9.5 and 4.8%, respectively. The error in determining the dimensional parameters is 0.5 mm. The proposed technical solution can be used for the technological assessment of the raw materials suitability for beneficiation by the method of optical sorting with the optimal separation thresholds determination.

Keywords: mineral raw materials, precious stones, classification, sorting, hardware and software complex, color, transparency

REFERENCES

1. Romanchuk A.I., Tikhvinskiy A.V., Zharkov V.V., Bogomolov V.A. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2013, no. 2, pp. 109–113. (in Russ.)
2. Tsylin E. F., Koltunov A.V., Komlev S.G., Vegera A.G. *Proceedings of universities. Mining magazine*, 2012, no. 5, pp. 106–111. (in Russ.)
3. Chertov A.N., Gorbunova E.V., Skamnitckaya L.S., Bubnova T.P. *Obogashcheniye rud*, 2015, no. 4, pp. 54–59. (in Russ.)
4. Sadovnichy R.V., Rozhkova N.N., Gorbunova E.V., Chertov A.N. *Obogashcheniye rud*, 2016, no. 1, pp. 10–15. (in Russ.)
5. Gülcan E., Gülsoy Ö.Y. *Minerals Engineering*, 2018, vol. 127, pp. 208–223.
6. Wotruba H., Knapp H., Neubert K., Schropp C. *Chemie Ingenieur Technik*, 2014, no. 6(86), pp. 773–783.
7. Ryabkin V.K., Cheprasov I.V., Tikhvinskiy A.V. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2013, no. 11, pp. 82–89. (in Russ.)
8. Ryabkin V.K., Cheprasov I.V., Tikhvinskiy A.V. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2013, no. 12, pp. 61–70. (in Russ.)
9. Guo Y., Zong X., Qi M. et al. *Journ. Image Video Proc.*, 2018, vol. 95, pp. 1–9.
10. Sinkevicius S., Lipnickas A., Rimkus K. *Elektronika ir elektrotechnika*, 2017, no. 2(23), pp. 10–14.
11. Wang D., Bischof L., Lagerstrom R. et al. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics: Systems*, 2016, no. 2(46), pp. 185–201.
12. Melnikov E.P., Nozhkina A.V. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2015, no. S1, pp. 563–567. (in Russ.)

Data on authors

- | | |
|--------------------------------|---|
| Aleksander N. Chertov | — PhD, Associate Professor; ITMO University, Faculty of Applied Optics; E-mail: a.n.chertov@mail.ru |
| Elena V. Gorbunova | — PhD; ITMO University, Faculty of Laser Photonics and Optoelectronics, Leading Researcher; E-mail: evgorbunova@itmo.ru |
| Anastasiya S. Kushkoeva | — Post-Graduate Student; ITMO University, Faculty of Applied Optics; E-mail: askushkoeva@gmail.com |
| Alexey A. Gorbachev | — PhD; ITMO University, Faculty of Applied Optics; E-mail: gorbachev@itmo.ru |

For citation: Chertov A. N., Gorbunova E. V., Kushkoeva A. S., Gorbachev A. A. Hardware and software complex for sorting and classification of mineral raw materials by visual indicators. *Journal of Instrument Engineering*. 2021. Vol. 64, N 7. P. 589–594 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-7-589-594