

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА УСРЕДНИТЕЛЬНЫХ СКЛАДАХ

Представлен анализ проблем усреднения полезных ископаемых на складах в горнодобывающей промышленности. Выявлены ключевые подходы, необходимые для успешной реализации автоматизированной системы управления качеством. Представлена концепция и новейшие технологии системы контроля качества полезных ископаемых на усреднительных складах.

Ключевые слова: полезное ископаемое, контроль качества, усреднительный склад, химический анализ, автоматизированная система.

ВВЕДЕНИЕ

Конкурентоспособность предприятий горнодобывающего комплекса во многом зависит от качества готовой продукции, качества сырья и объемов добываемых полезных ископаемых. Исходя из этого, одним из наиболее важных параметров эффективной работы горнодобывающих и перерабатывающих предприятий является стабильное качество полезного ископаемого, поступающего из карьера на переработку [1,3]. Величина содержания полезного ископаемого в исходном сырье вариативна, она является объектом контроля и воздействия при управлении качеством в потоках карьера и перерабатывающих комплексах. Определение и поддержание качества полезных ископаемых в современной промышленности является задачей автоматизированных систем. Соответственно чем эффективнее работает система управления качеством (в соответствии с заложенными ограничениями, правилами и показателями качества), тем меньше будет величина колебания содержания полезного ископаемого в сырье [3]. Управление качеством полезного ископаемого осуществляется посредством усреднения (приведение к единому показателю качества). Необходимость усреднения качества возникает при существенной изменчивости показателей качества полезных ископаемых, добываемых в карьерах и шахтах и поступающих на переработку, т.к. их нестабильность отрицательно влияет на технологию переработки и её экологические последствия.

На горнодобывающих предприятиях усреднение полезного ископаемого осуществляется [1,2]:

- при планировании горных работ (в соответствии с плановыми объемами и качеством полезного ископаемого устанавливают направление развития горных работ, конкретные участки и блоки месторождения, подлежащие отработке в планируемые календарные сроки);
- на этапе оперативного управления горными работами (регулируется нагрузка на забой);
- на этапе формирования транспортных потоков и смешивания полезных ископаемых в участковых и общерудничном звеньях;
- на этапе формирования усреднительно-перегрузочных складов (далее УПС);
- на этапе отгрузки из складов.

Контрольной точкой усреднения полезного ископаемого перед подачей его в производство или отгрузкой потребителю является усреднительный склад. Таким образом, для обеспечения оптимального качества полезных ископаемых необходимо контролировать и управлять процессом его усреднения в усреднительных складах.

Как показала практика горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, усреднение полезных ископаемых в штабелях осуществляется бесконтрольно и на основании неактуальной информации об объеме и химическом составе полезного ископаемого, поступающего на склад. Это вызвано следующими причинами:

- отсутствие актуальной информации химических показателей штабеля;
- неоднородность поступления полезных ископаемых с различными химическими составами;
- задержка информации о результатах химического анализа из лабораторий (задержка может превышать несколько часов);
- отсутствие средств оперативного контроля качества полезного ископаемого;
- отсутствие достоверной и оперативной информации о химическом составе полезного ископаемого в процессе добычи и его переработки.

На основании вышеизложенного предлагается реализация системы контроля качества полезных ископаемых в усреднительных складах (далее Система). Концептуально Система должна обеспечивать следующие функции (в режиме реального времени):

- формирование послынного (по химическому составу полезного ископаемого) состояния штабеля;
- возможность принятия управляющих воздействий на технологический процесс с целью формирования оптимального усреднения полезного ископаемого в штабеле;
- автоматическое определение объема и веса полезного ископаемого в штабеле;
- автоматический расчет среднего химического состава полезного ископаемого в штабеле.

Система предназначена для решения следующих узких вопросов УПС:

- неравномерное распределение материала с учетом угла рассыпания;
- отсутствие достоверных данных о качестве и количестве материала на складах;
- большая задержка при поступлении данных о химическом составе материала;

- неоптимальное усреднение полезного ископаемого;
- отсутствие оперативной информации о текущем состоянии склада.

Архитектура Системы подразумевает наличие трёх подсистем, выполняющих заложенные функции в соответствии с оптимальным решением проблем усреднения (рис. 1):

1. Подсистема определения химического состава материала.
2. Подсистема формирования карты объемов склада.
3. Подсистема отображения данных.

ПОДСИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛА

Подсистема определения химического состава материала предназначена для:

- получения результатов химического анализа материала (в режиме реального времени), поступающего на склад;
- формирование события о появлении нового слоя материала на основании результатов химического анализа (путём проведения анализа на предмет появления материала с другим качеством);
- усреднение результатов химического анализа в слое;
- передачи следующих данных в подсистему формирования карты склада: химический анализ слоя; факт появления нового слоя.

Для получения данных по химическому составу в качестве источников первичной информации может использоваться один или несколько предлагаемых вариантов: промышленный анализатор; химическая лаборатория; переносные анализаторы; данные с сопроводительной документации (паспорт качества и т.д.).

Алгоритм работы подсистемы определения химического состава материала приведен на рис. 2 и заключается в следующем:

- осуществляется ввод уставок на колебания химического состава, на основании которых реализуется событие формирования нового слоя материала;
- осуществляется сбор данных химического анализа в режиме реального времени;
- для увеличения точности расчетов осуществляется фильтрация данных химического анализа по верхним частотам;
- по всем компонентам химического анализа осуществляется сравнение разницы полученных результатов с результатами в предыдущий момент времени с уставками на колебание. Если разница ниже уставок, то осуществляется усреднение результатов химического состава по формуле

$$K_{эл.ср} = \sum K_{эл} / k ,$$

где $K_{эл.ср}$ – среднее содержание компонента в слое материала; $K_{эл}$ – содержание компонента в слое материала; k – количество измерений за время формирования слоя.

Если разница выше уставок, то осуществляется обнуление среднего результата химического анализа и передача события о формировании нового слоя и усредненные результаты химического анализа в подсистему формирования карты склада. Таким образом, выходной информацией подсистемы будет являться средний результат химического анализа слоя материала, поступающего на склад, и событие возникновения нового слоя материала в режиме реального времени.

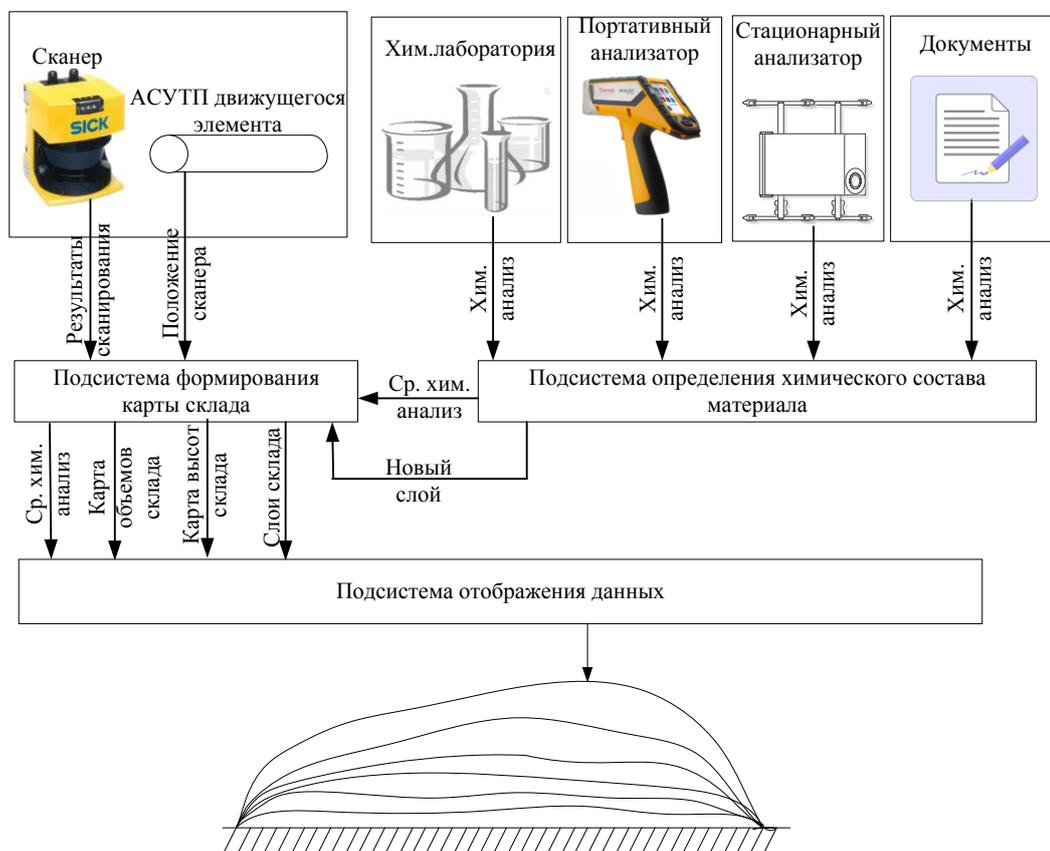


Рис. 1. Архитектура Системы



Рис. 2. Алгоритм работы подсистемы определения химического состава материала

ПОДСИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ КАРТЫ СКЛАДА

Подсистема формирования карты склада предназначена для выполнения следующих функций в режим реального времени:

- опрос 2D-сканера и датчиков (АСУТП) положения движущегося элемента сканера;
- получение данных с подсистемы определения химического состава материала;
- формирование карты высот склада;
- формирование карты объемов склада;
- послойное формирование склада в зависимости от химического состава поступающего материала.

Для формирования карты высот склада (в режиме реального времени) необходимо формирование массива координат поверхности штабеля. В качестве источника первичной информации для этого может использоваться лазерный 2D-сканер. Для того чтобы обеспечить перемещение 2D-сканера в пространстве, он может быть установлен несколькими способами (рис. 3):

- На движущемся элементе (например, разгрузочная тележка, конвейер и т.д.). При этом зона сканирования будет соответствовать границам перемещения движущегося механизма.
- На опоре над усреднительным складом. При этом необходимо применение сканера с вращением на 360 или 180 градусов, в зависимости от габаритных размеров усреднительных складов. Зона сканирования будут ограничены углом сканирования.

При больших габаритных размерах усреднительных складов возможна установка комплекта лазерных сканеров, которые бы обеспечивали полное покрытие складского пространства.

Для обеспечения своевременной и достоверной информации о текущем состоянии усреднительных складов работа лазерного сканера может иметь как непрерывный, так и дискретный режим работы. Сканирование может осуществляться по какому-либо событию [3]:

- изменение характеристик материала, поступающего на усреднительные склады (смена места выемки, смена

поставщика материала, изменение химического состава и т.д.);

- контрольные временные точки отчетного периода (начало/конец смены, суток, месяца и т.д.).

При агрессивных условиях работы 2D сканера (запыленность, влажность, пиковые температуры и т.д.) необходимо предусматривать защитные средства: защитный кожух; обдув лазерной головки; охлаждение; обогрев и прочие.

На основании полученных данных от 2D-сканера и положения движущегося элемента в подсистеме согласно алгоритму (рис. 4) осуществляется программная обработка данных. При последующем сканировании действия повторяются, в результате чего осуществляется учет и мониторинг послойного формирования (выборки) усреднительного склада [2,3]. Описание алгоритма представлено ниже:

1. Осуществляется ввод следующих исходных данных (пояснения см. на рис. 5, где x – направление перемещения движущегося элемента сканера, y – направление сканирования):

- максимальное и минимальное положение движущегося элемента, перемещающего сканер x_{max}, x_{min} ;
- максимальный и минимальный угол сканирования $\alpha_{max}, \alpha_{min}$ (угол сканирования рассчитывается исходя из фактических размеров склада);
- угол смещения сканирования $\Delta\alpha$;
- размеры сетки склада (n – расстояние, на которое должен сместиться движущий элемент со сканером, чтобы осуществить расчет карты высот; m – расстояние, через которое должны учитываться точки сканирования, чтобы осуществить расчет карты высот).

2. Осуществляется разбивка складской поверхности на сетку размером $m \times n$ (см. рис. 6). Дискретность разбивки должна быть выбрана на основании требуемой точности расчетов.

3. Осуществляется сбор данных о положении движущегося элемента.

4. Осуществляется сбор данных со сканера.

5. Для увеличения точности расчетов осуществля-

ется фильтрация сканированных данных по верхним частотам [4].

6. Для увеличения точности расчетов, пока движущий элемент осуществляет перемещение сканера на отрезок n , усредняются все его показания при каждом угле сканирования по формуле

$$L_{cp}(\alpha) = \sum L(\alpha) / k,$$

где $L_{cp}(\alpha)$ – среднее показание сканера при перемещении его на отрезок n ; $L(\alpha)$ – показания сканера при перемещении его на отрезок n ; α – угол сканирования; k – количество сканирований за время перемещения сканера на отрезок n .

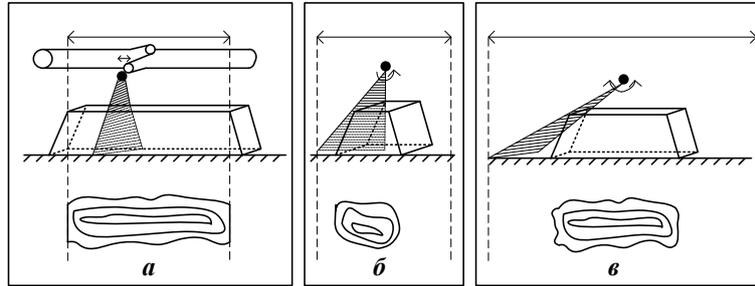


Рис. 3. Методы установки лазерного 2D-сканера

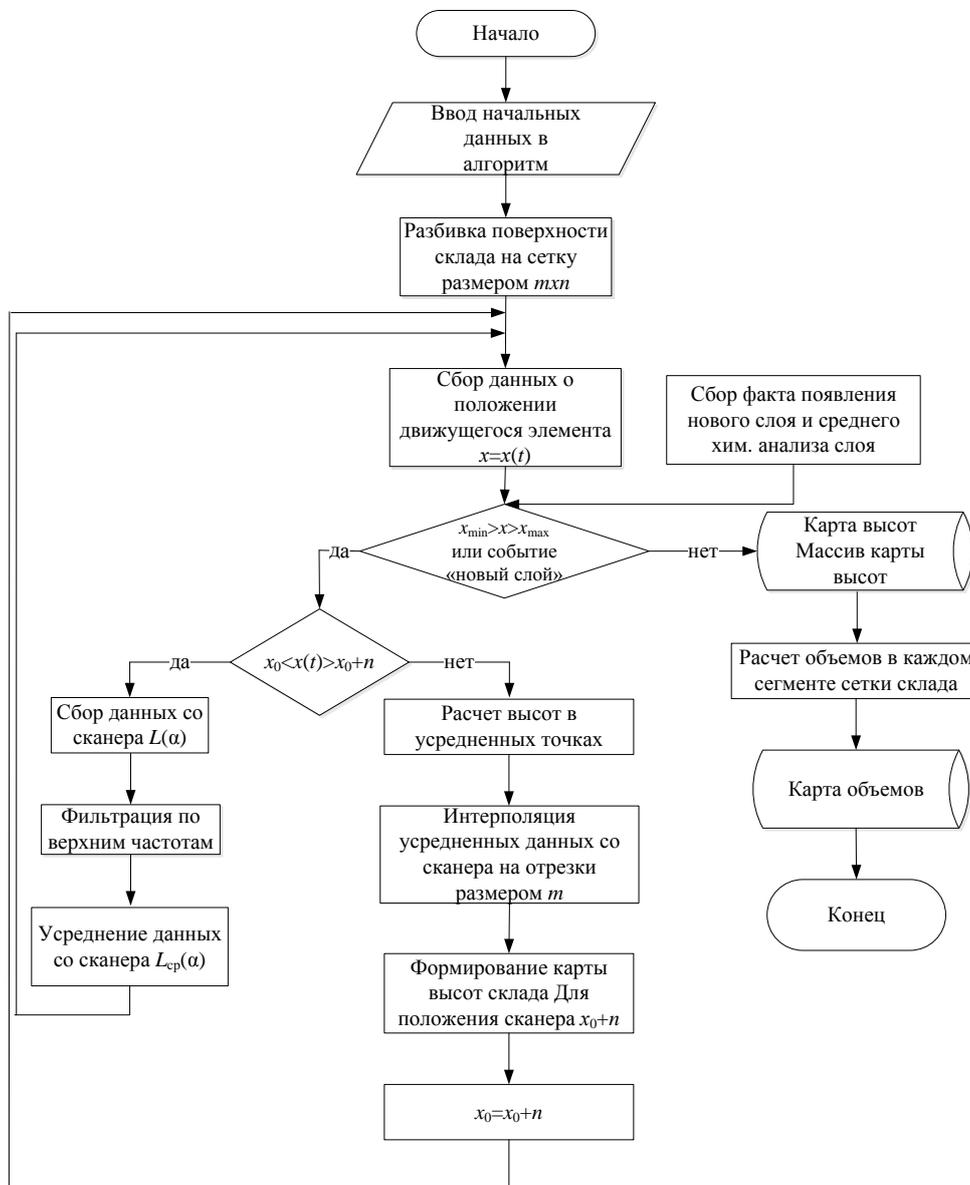


Рис. 4. Алгоритм формирования полигональной сетки штабеля

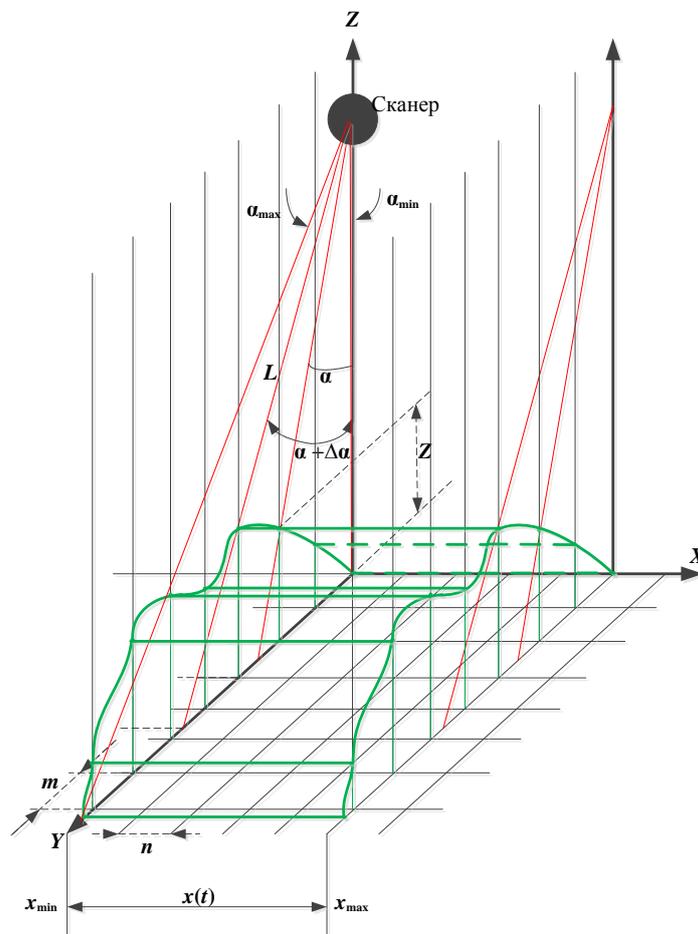


Рис. 5. Пояснения к алгоритму формирования полигональной сетки

7. Рассчитываются высоты в усредненных точках по формуле

$$Z(\alpha) = L(\alpha) \cdot \cos \alpha,$$

где $Z(\alpha)$ – координата точки поверхности склада по оси Z; $L(\alpha)$ – результат сканирования поверхности склада; α – угол сканирования.

8. Осуществляется интерполяция усредненных данных со сканера на отрезки m по формуле

$$z_3 = z_1 + \frac{y_3 - y_1}{y_2 - y_1} \cdot (z_2 - z_1),$$

где z – расстояние от сканера до поверхности точки; y – расстояние от точки до вертикали сканера.

В результате получается карта высот на отрезке n ($Z[x, y]$) (рис. 6, а). Далее повторяются шаги алгоритма с 3 по 7 до тех пор, пока положение движущего сканера элемента не достигнет граничных значений x_{\max} и x_{\min} или из подсистемы определения химического состава материала не придет событие «Формирование нового слоя». В результате получаем карту высот всего склада (рис. 6, б). Наложение на карту высот склада слоев материала – массив карт высот.

9. Рассчитываются объемы в каждом сегменте склада по формуле

$$V[x; y] = Z[x; y] \cdot n \cdot m,$$

где $V[x, y]$ – карта объемов; $Z[x, y]$ – карта высот.

Выходной информацией подсистемы будет яв-

ляться карта объемов и карта высот склада.

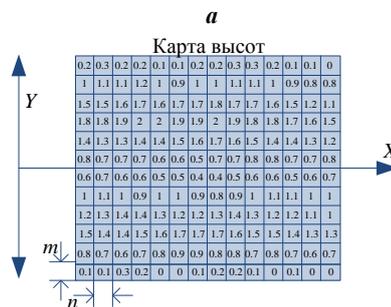


Рис. 6. Карта высот:

а – одного отрезка склада; б – всего склада

ПОДСИСТЕМА ОТОБРАЖЕНИЯ ДАННЫХ

Подсистема отображения данных предназначена для отображения пользователям в режиме реального времени следующих данных:

– карта склада по слоям и объем материала на складе;

- средний химический состав материала на складе;
- объем материала на складе по слоям;
- средний химический состав материала на складе по слоям;
- показатель эффективности усреднения материала на складе;
- формирование отчетности и т.д.

Подсистема отображения данных может быть реализована в любом удобном графическом редакторе.

Приведенное описание концепции Системы решает комплекс задач по контролю качества полезных ископаемых и проблемы с актуальностью учетной информации. В основе Системы лежит событийная модель слежения за послойным формированием склада, алгоритм автоматизированного составления актуальной карты склада с ее визуализацией на АРМ. Таким образом, внедрение системы контроля качества полезных ископаемых на усреднительных складах позволит: оперативно управлять процессом усреднения полезного ископаемого за счет принятия решений на основании актуальной информации; оперативно управлять остатками на усреднительных складах; оперативно и достоверно учитывать объемы горнодобывающих и перерабатывающих работ; минимизировать зависимость процесса усреднения от маркшейдерских съемок.

Решение подходит не только для горнодобывающей промышленности, но и для других отраслей, где применяется усреднение на складах в штабелях с новейшими технологиями автоматизации производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурмистров К.В., Цуприк Л.С., Бурмистрова И.С. Совершенствование процесса формирования и эксплуатации усреднительных складов на горнодобывающих предприятиях путем применения 2D-сканирования // Комбинированная геотехнология: устойчивое и экологически сбалансированное освоение недр: материалы международной научно-технической конференции, г. Магнитогорск, 2015. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. С. 45-46
2. Панов А.Н., Цуприк Л.С., Бурмистров К.В., Бурмистрова И.С. Обеспечение управления качеством полезного ископаемого при добыче и переработке фосфоритового сырья // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных: сб. науч. трудов по материалам II международной научно-практической конференции / Под ред. Е.А. Горбатовой. Магнитогорск: МДЦ, 2015. С. 99-105.
3. Азарян В.А. Разработка функциональной схемы управления качеством в рудопотоках карьеров с целью повышения эффективности работы // Качество минерального сырья. 2011. С. 60-64.
4. Лукьянов С.И., Панов А.Н., Васильев А.Е. Основы инженерного эксперимента: учеб. пособие. М.:РИОР: ИНФРА-М, 2014. 99 с.

INFORMATION IN ENGLISH

APPLICATION OF THE LATEST INDUSTRIAL AUTOMATION TECHNOLOGIES TO PROVIDE QUALITY CONTROL OF MINERAL DEPOSITS IN BLENDING STOCKPILES

Panov A.N., Burmistrov K.V., Rybakov A.G., Burmistrova I.S., Bortsov D.N.

The article is concerned with the analysis of the problems of mineral deposits homogenization at warehouses in the mining industry. The key approaches have been identified, which are necessary for successful implementation of an automated quality control system. In addition, the concept of the latest technologies of the quality control system of mineral deposits in blending stockpile were represented.

Keywords: mineral deposits, quality control, homogenization warehouse, chemical analysis, automated system.

REFERENCES

1. Burmistrov K.V., Tsuprik L.S., Burmistrova I.S. *Sovershenstvovanie prtsessa formirovaniya i ekspluatatsii usrednitelnykh skladov na gornodobyvayuschih predpriyatiyakh putyem primeneniya 2D-skanirovaniya* [Improving of Forming Process and Homogenization Warehouses Operation at Mining Enterprises using 2-D Scanning], Combined geotechnology, sustainable and environmentally sound subsoil management: materi-

als of the international scientific conference, Magnitogorsk, 2015, collection of abstracts, Magnitogorsk, MSTU, 2015, pp. 45-46.

2. Panov A.N., Tsuprik L.S., Burmistrov K.V., Burmistrova I.S. *Obespechenie upravleniya kachestvom poleznogo iskopaemogo pri dobyche i pererabotke fosforitovogo syrya* [Control of Mineral Product Quality in the Process of Mining and Processing of Phosphatic Rock], Surveying and geological support of mining: collection of scientific articles of II International scientific conference, under the editorship of E.A. Gorbatoba, Magnitogorsk, MDP, 2015, pp. 99-105.
3. Azaryan, V.A. *Razrabotka funktsionalnoy skhemy upravleniya kachestvom v rudopotokakh karyerov s tselyu povysheniya effektivnosti raboty* [Development of Functional Diagram for Quality Control in Ore Flows of Open-pit Mines to Improve Operating Efficiency], Quality of mineral ore materials, 2011, pp. 60-64.
4. Lukyanov S.I., Panov A.N., Vasilyev A.E. *Osnovy inzhenernogo eksperimenta* [Fundamentals of Engineering Experiment], textbook, Moscow, RIOR, INFRA-M, 2014, 99 p.