

карьера ОАО «СевГОК»/ **Б.Н. Андреев, С.В. Письменный, Н.Б. Андреев, И.А. Письменный, С.Е. Сергиенко, И.Г. Калапуц, А.И. Ваховский** // Разраб. рудн. месторожд. Кривой Рог: КТУ, 2006. – Вып. 88. – С. 66-72.

3. **Письменный С.В.** Отработка крутопадающих месторождений железистых кварцитов подземным способом под внутренними отвалами большой емкости / **С.В. Письменный** // Збірник наукових праць «Школа підземної розробки». – Дніпропетровськ: НГУ, 2007. – С. 285-291.

4. **Черных А.Д.** Комплексная разработка рудных месторождений / **А.Д. Черных, В.А. Колосов, О.С. Брюховецкий и др.**; Под ред. А.Д. Черных. – К.: Техніка, 2005. – 376 с.

5. **Цариковский В.В.** Определение и контроль допустимых размеров конструктивных элементов систем разработки рудниках Кривбасса / **В.В. Цариковский, В.В. Сакович, А.В. Недзвецкий и др.** // Кривой Рог: НИГРИ, 1987. – 76 с.

6. **Ступник Н.И., Андреев Б.Н., Письменный С.В.** Исследование формы поперечного сечения подземных выработок при комбинированной отработке месторождений / **Н.И. Ступник, Б.Н. Андреев, С.В. Письменный** // Вісник ДВНЗ "Криворізький національний університет", 2012. – Вип. 32. – С. 3-6.

Рукопись поступила в редакцию 17.02.14

УДК 658.652.64.622.3

Ю.Г. ВИЛКУЛ, д-р техн. наук, проф, президент АГН Украины,  
А.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф, Криворожский национальный университет,  
В.А. КОЛОСОВ, д-р техн. наук, проф., генеральный директор ассоциации «Укррудпром»

## АНАЛИЗ КАЧЕСТВА И ОБЪЕМОВ ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ В УКРАИНЕ

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Проблемы комплексного использования минерального сырья и полноты извлечения из недр зависят, прежде всего, от уровня маркшейдерского, геологического и геофизического обеспечения. От степени информационной обеспеченности результатов этих работ зависит как эффективность планирования, так и реализации качественно-количественных показателей горных работ.

Исходной информацией для успешного выполнения эксплуатационной геометризации с целью эффективного осуществления текущего и оперативного планирования горных работ являются результаты маркшейдерско-геологических, горно-геометрических и геофизических исследований. Представительность и достоверность информации при этом зависит как от квалификации технического персонала, так и от плотности сети наблюдений. По мере развития разведочных и эксплуатационных работ корректируются представление о характере размещения запасов полезного ископаемого в недрах, о качественных и количественных характеристиках месторождения, что влечет за собой корректировку параметров систем разработки и текущих планов ведения горных работ. Ясно, что чем точнее исходная информация, тем меньше изменения в технологической цепи предприятия, что позволяет эффективно управлять добычей и обеспечит качественно-количественные показатели предприятия, согласно плану горных работ.

**Анализ исследований и публикаций.** Проблема управления качеством минерального сырья всегда являлась одной из актуальных при разработке месторождений. Это касается не только железных, но и полиметаллических руд, углей, жидких и газообразных полезных ископаемых[1].

Для получения информации о геометрических и качественных характеристиках месторождения полезных ископаемых используют методы математического моделирования, обеспечивающие автоматизированное решение горно-геометрических задач с требуемой точностью.

Анализ работ, посвященных использованию метода многогранника для дискретно-аналитического моделирования месторождений полезных ископаемых, показывает на наличие целого ряда нерешенных вопросов теоретического и практического характера.

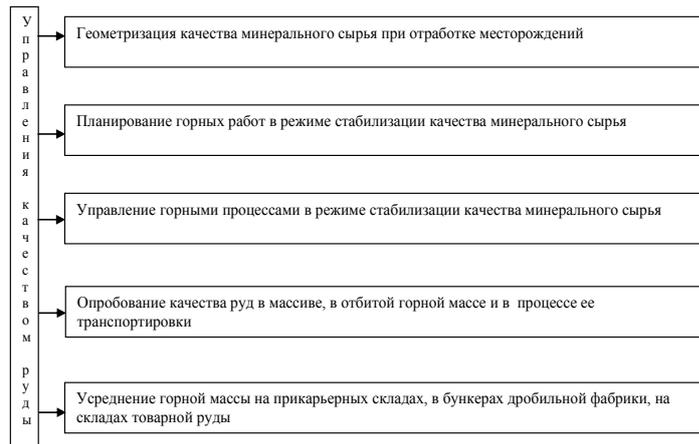
Среди них наиболее важным является вопрос о выборе оптимальной сети непересекающихся треугольников, обеспечивающей минимум погрешностей интерполяции. Использование принципов минимальности периметров треугольников триангуляции, как показывает анализ, в некоторых случаях приводит к ошибкам моделирования. Путь к устранению указанного недостатка заключается в методике построения сети непересекающихся треугольников, учитывающей пространственное размещение исходных точек моделируемой топоповерхности.

**Целью работы** является повышение качества и объемов добычи железорудного сырья в Украине.

**Постановка задачі.** Задача построения многогранной поверхности распределения качественных и геометрических показателей месторождения математически заключается в построении кусочно-линейной непрерывной поверхности линейной сплайн функции переменных  $S_1(x, y)$  по значениям функции моделируемого параметра на множестве хаотически расположенных точек, полученных при проходке геологоразведочных скважин  $P_i = P(X_i, Y_i), i=1, 2, \dots, N$  [1].

На рис. 1 приведены этапы управления качеством при добыче и переработке минерального сырья.

При этом априори устанавливается, что для моделируемой топоповерхности  $P(x, y)$  выполняются условия теории геохимического поля, разработанной проф. П.К. Соболевым: однозначности, непрерывности, плавности, и конечности. П.П. Бастаном установлено, что эти условия выполняются для рудных месторождений, геохимические поля которых представлены главным образом колебаниями, имеющими период больший, чем расстояние между точками, по которому определяются качественные свойства руд.



**Рис. 1.** Этапы управления качеством при добыче и переработке минерального сырья

координатной плоскости  $XOY$ , т.е.

построить в плоскости  $XOY$  многоугольник такой, чтобы вершинами его были только точки из заданного множества, а остальные точки, не являющиеся вершинами, лежат внутри него;

полученный многоугольник разбить на треугольники с вершинами в точках  $(x_i, y_i)$  таким образом, чтобы каждая точка области, ограниченной многоугольником, принадлежала только одному из треугольников.

Если точка  $(x, y)$  находится внутри какого-либо треугольника триангуляции, то значение искомого параметра  $P$  для этой точки определяется путем решения уравнения плоскости, проходящей через три точки математической модели.

Построение многогранной аппроксимирующей поверхности осуществляется в два этапа. На первом для каждой исходной точки  $T_i$ , участвующей в моделировании, определяется значение локальной характеристики (признака выпуклости-вогнутости). Для этого среди точек  $XOY$ ,  $T_j, j=1, 2, \dots, N$ , выбираются три ближайшие точки, образующие треугольник ненулевой площади, и не содержащий других точек множества  $T_j, j=1, 2, \dots, N$  кроме рассматриваемой. Если точка  $T_i$  лежит выше плоскости, проходящей через выбранные точки, ей присваивается признак выпуклости  $\alpha_i = +1$ , если ниже, то признак вогнутости  $\alpha_i = -1$  и,  $\alpha_i = 0$  если четыре точки лежат в одной плоскости. В случае, когда для рассматриваемой точки не существует трех ближайших точек, удовлетворяющим указанным условиям, ей присваивается признак ближайшей. Таким образом, каждая точка, участвующая в моделировании, может быть охарактеризована определенным признаком выпуклости-вогнутости [1].

На втором этапе производится триангуляция. Основная идея алгоритма триангуляции разведочной сети заключается в формировании на каждом  $i$ -м шаге выпуклого многоугольника границы и формировании треугольников с учетом признаков выпуклости - вогнутости. Разбиение четырехугольника производится согласно установленного критерия выбора триангуляции таким образом, чтобы объемы тела, ограниченного моделируемой топоповерхностью и поверхностью сплайна был минимальным. Для этого в случае выпуклости топоповерхности выбирается та диагональ четырехугольника, которая в пространстве лежит выше, а в случае вогнутости наоборот. Для плоского случая погрешность моделирования не зависит от выбора диагона-

Кроме традиционного требования совпадения значений сплайна в исходных точках накладывается условие минимизации функционала погрешности моделирования.

Сущность метода линейных сплайн функций двух переменных (метод многогранника) заключается в представлении моделируемой топоповерхности  $P(x, y)$  в виде совокупности плоскостей треугольников с вершинами в исходных точках

Для этого необходимо произвести триангуляцию множества точек  $(x_i, y_i)$

ли и поэтому разбиение производится произвольным образом.

Для случая, когда признаки выпуклости в вершинах рассматриваемого четырехугольника различны, разбиение производится по принципу минимальности параметров треугольников, т.е. по меньшей диагонали.

Процесс триангуляции заканчивается, когда все точки являются либо внутренними, либо граничными выпуклого многоугольника

**Изложение материала и результаты.** Изложенный алгоритм реализован в подсистеме "Моделирование топоповерхностей качественных и геометрических показателей" автоматизированной системы планирования горных работ "Карьер".

Работоспособность комплекса программ была проверена на большом количестве тестовых примеров и подтверждается результатами опытно-промышленной эксплуатации в составе системы "Карьер" (Бызов В.Ф., Вилкул Ю.Г., Завсегдашний В.А.) [1].

Для эффективного извлечения запасов из недр данных эксплуатационной разведки недостаточно, поскольку для этого требуется оперативные сведения о фактических границах рудных тел, а решение подобной задачи возможно с помощью ядернофизических методов оперативно-го контроля и управления качеством минерального сырья.

Факторы, влияющие на формирования качество минерального сырья можно разделить на две группы неуправляемые и управляемые. К неуправляемым можно отнести природные, а технологические, технические, экономические, и экологические можно отнести к управляемым.

Одним из важнейших факторов, влияющих на экономические показатели горнометаллургического производства является, стабильность качества минерального сырья. Колебания качества руды создают значительные трудности в переработке руды, ухудшая такие технологические показатели обогащения как извлечение металлов, выход и качество концентратов. Это, в свою очередь, приводит к неполному использованию минерального сырья, увеличению затрат на металлургический передел и, как следствие, к снижению экономической эффективности всего горнометаллургического комплекса. Другое важное обстоятельство это увеличение отходов и, соответственно, ухудшение экологической обстановки при переработке полезных ископаемых с относительно низким уровнем качества и с высокой его изменчивостью.

Основной способ стабилизации качества минерального сырья технологический, который реализуется на стадии подготовки минерального сырья к обогащению [3,6].

Для существенного и систематического снижения изменчивости показателей качества руды технологически и экономически более эффективно, если процесс стабилизации осуществляется по схеме рудник - транспортировка руды - обогатительная фабрика. При этом достичь снижения колебания в низкочастотной части спектра изменчивости качества руды можно наиболее результативно непосредственно в руднике, а на обогатительной фабрике целесообразно снижать его высокочастотную составляющую. Конкретные технологии усреднения рудной массы и её параметры зависят от размаха и соответственно, частоты изменчивости качества, а также от среднего уровня содержания полезного компонента в разрабатываемом участке недр.

Особо важную роль в управлении качеством минерального сырья играет ядернофизические методы опробование. В отличие от традиционных методов, которые очень длительны и трудоемки, эти методы дают возможность быстро определять содержание как магнитного, так и общего железа на всех этапах добычи и переработки руды. Эти методы, благодаря технологичности, сравнительно низкой стоимости и оперативности практически мгновенно выдают информацию о качестве руд в естественном залегании (каротаж взрывных скважин) в отбитой, дробленой и измельченной горной массе. Кроме того, эти методы позволяют сортировать горную массу на стадии отбойки руды.

Известно, что для оперативного контроля и управления качеством минерального сырья используется в основном три параметра горной массы: содержание полезного компонента, динамика (изменчивость) содержания полезного компонента и объем горной массы [7,8].

Как известно, каждая операция управления качеством руд состоит из двух основных стадий определение содержания полезного компонента в каждой партии руды и применение к ней управляющего воздействия [11,12].

Управляющие воздействия могут быть двух видов: разделение, которое направлено на изменение абсолютного значения содержания полезного компонента и объединение (смешивание, усреднение), которое призвано уменьшить диапазон изменчивости содержания полезного

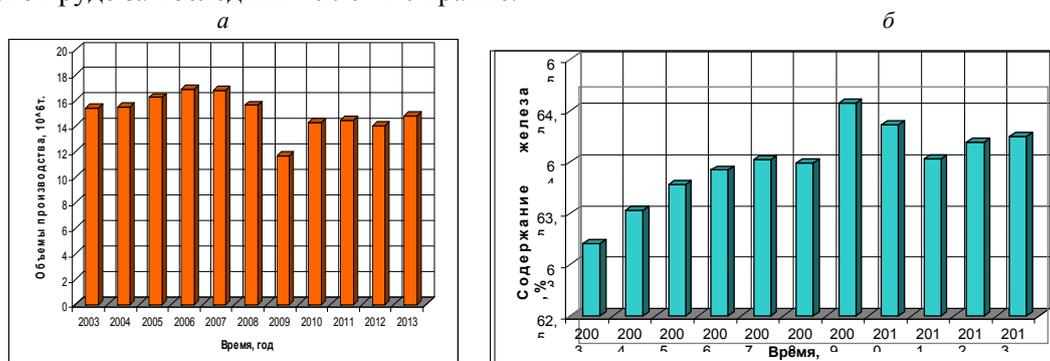
компонента.

К процессу разделения можно отнести селективную выемку, сортировку и радиометрическую сепарацию [3,6]. Ясно, что как разделение, так и объединение преследуют единственную цель - стабилизацию качества руды, что в конечном итоге снижает энергозатраты, потери руд, разубоживание и стабилизирует режим работы обогащательных установок, т.е., в итоге снижает себестоимость 1 т товарной руды.

В проблемно-отраслевой лаборатории министерства промышленной политики Украины при Криворожском национальном университете разработаны методы и средства оперативного контроля и управления качеством минерального сырья. Эти методы и средства позволяют оперативно контролировать качества железорудного сырья, включая все этапы от добычи до переработки и поставки товарной руды и концентрата потребителям. В настоящее время на всех шахтах и ГОКах Кривбасса, а также на ЗЖРК, ПГОКа, ВостГОКа полностью, либо частично, внедрены разработки проблемно-отраслевой лаборатории [3,7].

Совместно с сотрудниками «ПАО Кривбассжелезрудком» разработана система для полной автоматизации оперативного контроля и управления качеством железорудного сырья от разведки до переработки и отгрузки отечественным и зарубежным потребителям.

На рис 2 приведены гистограммы объемов производства и качества в неагломерированной железной руде за последний 10 лет в Украине.



**Рис. 2.** а - гистограмма объемов производства концентрата;  
б - содержание железа в концентрате за 2003-2013 гг. в Украине

Наибольший спад объемов производства, наблюдается в 2009 г. и составляет более 30 %.

Однако, несмотря на определенный рост производства за период 2010-2013 гг., еще не достигнут уровня 2006-2007 гг. Содержание железа в неагломерированной руде за период 2003-2006 гг. сохранился на уровне 58,3-58,5 %.

При этом спад качества в 2008 г. составил 57,63 %. Наибольший уровень качества неагломерированной руде приходится на 2009 г. и составил 58,85 %.

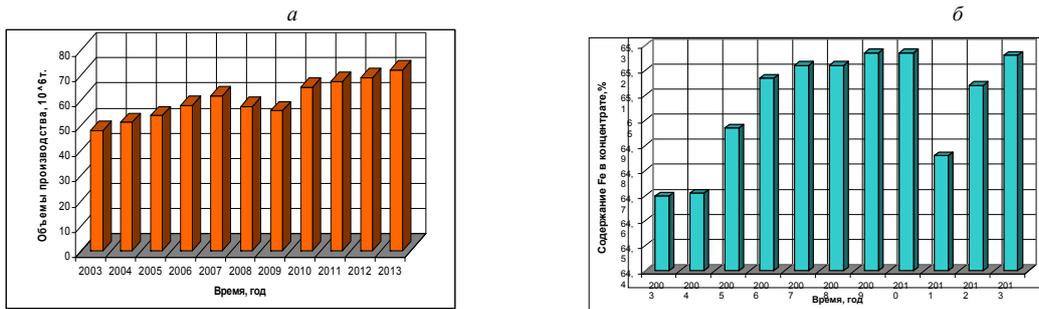
Начиная с 2011 г. наблюдается снижение качества в неагломерированной руде и в 2013 г. упало, почти до уровня 2008 г.

На рис. 3 приведены гистограммы объемов производства (а) и содержание железа в концентрате (б) за 2003-2013 гг. в Украине. Видно, что объем товарной руды до 2009 г. практически держался стабильно на уровне, немного более 20 млн т, а уровень производства концентрата после незначительного спада 2009 г. стабильный рост и в 2013 г. составил более 70 млн т.

Начиная с 2003 г. до 2007 г. происходил стабильный рост уровня производства агломерата и в 2007 г. достигла более 13 млн т. После 2009 г. данные о производстве агломерата по Украине, отсутствуют. Сравнивая объемы производства концентрата и агломерата с динамикой окатышей за последние 10 лет можно заметить, что имеется тесная зависимость между ними.

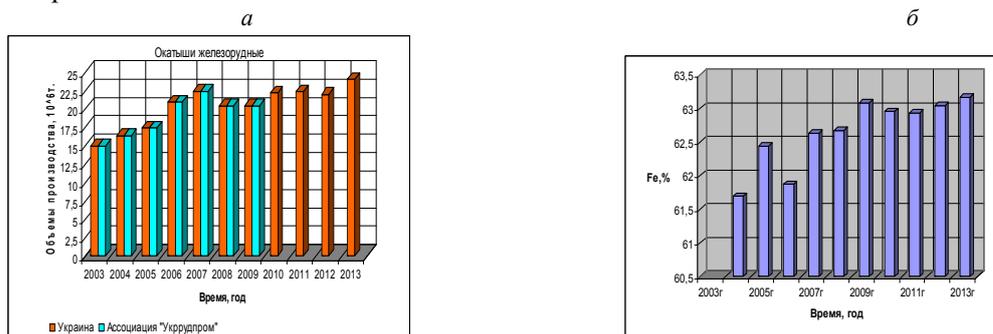
Видно, что спад производства окатышей приходится на 2009 г., год экономического кризиса.

Максимальный уровень производства железорудного окатышей достигнут в 2013 г. и составляет более 23 млн т.



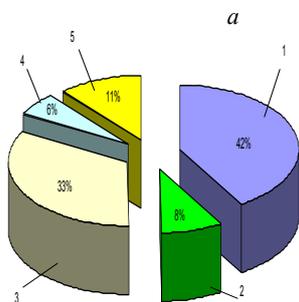
**ис. 3:** а - гистограмма объемов производства концентрата и б - содержание железа в концентрате за 2003-2013 гг. в Украине

На рис. 4 приведены гистограммы объемов производства и качества окатышей за 2003-2013 гг. в Украине

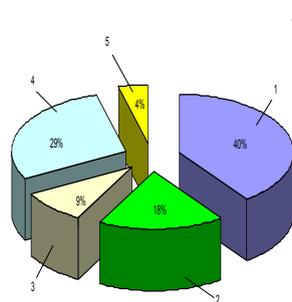


**Рис. 4.** Гистограммы объемов производства и качества окатышей за 2003-2013 гг. в Украине

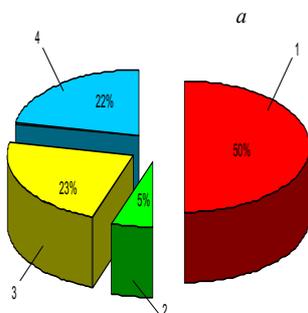
На рис. 5-8 приведены объемы производство железорудной продукции, железной неагломерированной руды, окатышей и концентрата предприятиями Украины соответственно, за последний 10 лет.



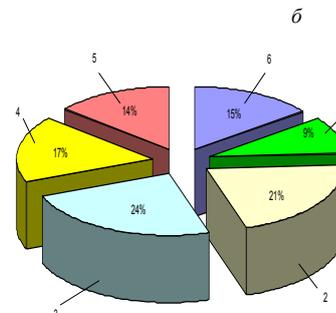
**Рис. 5.** Производство железорудной продукции горнорудными предприятиями Украины за 2003-2013 гг.: 1 - руда железная неагломерированная + концентрат железорудный; 2 - руда железная неагломерированная; 3 - концентрат железорудный; 4 - агломерат; 5 - окатыши железорудные



**Рис. 6.** Производство железной неагломерированной руды горнорудобывающими предприятиями Украины за 2003-2013 гг.: 1 - КЖРК; 2 - Сухая Балка; 3 - ШУ "АрселорМиттал"; 4 - ЗЖРК; 5 - Укрмеханобр



**Рис. 7.** Производство окатышей горнорудобывающими предприятиями Украины за 2003-2013 гг.: 1 - Ассоциация "Укрудпром"; 2 - Центральный ГОК; 3 - Северный ГОК; 4 - Полтавский ГОК



**Рис. 8.** Производство концентрата горнорудобывающими предприятиями Украины за 2003-2013 гг.: 1 - ЦГОК; 2 - СевГОК; 3 - ИнГОК; 4 - Полт.ГОК; 5 - ГОК "АрселорМиттал"; 6 - ЮГОК

Лидером в области производство железной неагломерированной руды является КЖРК, в области производство окатышей является Северный ГОК и совсем немного отстает Полтавский ГОК, а в области производство концентрата лидерами являются ИнГОК и СевГОК.

**Выводы.** 1. За истекший десять лет объем производства концентрата в Украине выросла на 59 % (от 45 до 71,59 млн т), а качество концентрата от 64,68 до 65,25 %. При этом, интенсификации объемов добычи товарной руды за указанный период составила более 37 %.

Максимальный уровень производства железорудных окатышей в Украине достигнут в 2013 году и составляет 23,9653 млн т, а агломерата вырос более чем на 38 %.

Лидером в области производство железной неагломерированной руды является КЖРК, в области производство окатышей является Северный ГОК и совсем немного отстает Полтавский ГОК, а в области производства концентрата лидерами являются ИнГОК и СевГОК.

### Список литературы

1. Вилкул Ю.Г., Азарян А.А. Проблемы расширения сырьевой базы и утилизации отходов горнометаллургической промышленности // Качество минерального сырья: Сб. научн. тр. –Кр. Рог, 2011. -С.9-20
2. Вилкул Ю.Г., Азарян А.А., Азарян В.А., Трачук А.А. Проблемы переработки минерального сырья техногенных месторождений Украины. Горная промышленность, специальный выпуск –М. - 2011. - С.13-15.
3. Азарян А.А., Вилкул Ю.Г., Колосов В.А. Оперативный контроль качество минерального сырья – М.: Горный журнал, 2005. – №5. – С 106-10.
4. Горнорудная промышленность Украины, Интернет-сайт «Укррудпром» <http://www.ukrrudprom.ua/reference/industry/gmk.html>
5. Качество минерального сырья/ А.А. Азарян, В.А. Колосов, Л.А. Ломовцев, А.Д. Учитель.-Кривой Рог. Минерал, 2001. - 203 с
6. Контроль качества минерального сырья при добыче и переработке / Азарян А.А., Вилкул Ю.Г., Колосов В.А., Сидоренко В.Д. «НЕДЕЛЯ ГОРНЯКА», Москва, 28-30 января 2004 г.
7. Состояние проблемы контроля качества руд при добыче и переработке железорудного сырья/ Азарян А.А., Вилкул Ю.Г., Сидоренко В.Д., Колосов В.А., Караманиц Ф.И., Metallургическая и горнорудная промышленность, Дн-ск, 2004. - №1. - С.88-90.
8. Азарян А.А. Инструкция по нормированию, прогнозированию и учету показателей извлечения руды из недр при подземной разработке железорудных месторождений / А.А. Азарян, В.А. Колосов, А.В. Моргун, В.К. Плеханов, С.О. Попов // Кривой Рог: Минерал, 2005. -129 с.
9. А.А.Азарян, Э.В.Серебренников, Математическая модель оптимизации параметров геометрии измерения рассеянного гамма-излучения.// Сборник научных трудов КТУ «Качество минерального сырья» - Кривой Рог. Минерал, 2005. – 544 с. – С. 243-257.
10. Азарян А.А., Азарян В.А., Василенко В.Е., Лисовой Г.Н., Трачук А.А. Исследование факторов, влияющих на точность оперативного контроля качества минерального сырья // Разраб. рудн. месторожд. - Вып. 88, Кривой Рог. КТУ, 2005. - С.135-140.
11. Трачук А.А., Азарян В.А. Состояние проблемы оперативного контроля качества минерального сырья. //Материалы Второго международного симпозиума "Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке" ("Качество-99"). –Ялта. –1999. –С. 63-73.
12. Близнюк Г.И., Большаков А.Ю. Способ рудоподготовки с использованием данных ядернофизического опробования //Обогащение руд, 1979 -№ 5, С. 10-11.
13. Вилкул Ю.Г., Азарян А.А., Колосов В.А. Переработка и комплексное использование минерального сырья техногенных месторождений. Гірничий Вісник Криворізького національного університету-2013, № 96 с.3-10
14. Azaryan A.A., Azaryan V.A, Trachuuk A.A. Quick response quality control of mineral raw materials in the pipeline//European Science and Technology. Materials of the V International scientific and practice conference. Munich, Germany, 2013. –P. 325-331
15. Azaryan V.A. Model of sway stabilization of actual grade recovered from an ore after processing in the pit//European Science and Technology. Materials of the V International scientific and practice conference. Munich, Germany, 2013. –P. 331-335.

Рукопись поступила в редакцию 17.014.14