

Более детальные исследования показали, что даже при значении корня до 1,15, что соответствует темпу роста в автономном режиме  $1,15^{50}=1,0837e+03$ , работа регулятора успешна.

**Выводы.** Приведенный в работе метод синтеза регулятора отличается полным отсутствием необходимости вычисления коэффициентов в соответствии с параметрами объекта управления и дальнейшей настройкой.

Регулятор достаточно хорошо справляется с управлением неустойчивым объектом.

Дальнейшая работа будет направлена на более глубокое обоснование применения рассмотренного класса регуляторов для регулирования многосвязных систем.

#### Список литературы

1. Tanaka K., Sugeno M. Stability analysis and design of fuzzy control systems // IEEE Trans. Fuzzy Syst. – 1992. – V. 45. – № 2. – P. 135–156.
2. Tanaka K., Wang H.O. Fuzzy control systems design and analysis: a linear matrix inequality approach. – N.Y.: Wiley, 2001.
3. Metatrader 5 — индикаторы.Третье поколение нейросетей: "глубокие нейросети" 27 ноября 2014, 10:37 2014, 10:3. Интернет-ресурс:<https://www.mql5.com/ru/articles/1103>
4. Герасина А.В. Структурно-параметрическая идентификация процессов дробления и измельчения руд: монография / А.В. Герасина, В.И. Корниенко. –Д.: Национальный горный университет, 2013. – 101 с.
5. Корнієнко В.І. Автоматизація оптимального керування процесами дроблення і здрибнювання руд: монографія / В.І. Корнієнко. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 193 с.
6. Медведев А.В. О теории непараметрических систем управления. Вестник Томского Государственного университета. Управление, Вычислительная Техника И Информатика , Выпуск № 1 (22) / 2013. С. 6-19. Научная библиотека КиберЛенинка. Интернет-ресурс: <http://cyberleninka.ru/article/n/o-teorii-neparametricheskih-sistem-upravleniya>.
7. Жосан А.А. Розробка алгоритмів дуального управління відцентровим дезінтегратором руд. Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, КТУ, 1998 р. – 17 с. Спеціальність 05.13.07 - Автоматизація технологічних процесів.
8. Жосан А.А. Концепція моделі динамічного об'єкта керування як потоку вхідних і вихідних даних. Вісник Криворізького технічного університету. випуск 22, Кривий Ріг, 2008 (жовтень), С. 154-157.
9. Anatoliy Zhosan, Sergey Lipanchikov. Numerical modeling of disintegration process dual control. Metallurgical and Mining Industry, 2015, No. 3, p.p 74-77.

Рукопись поступила в редакцию 23.04.16

УДК 622.73:622.023

А.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф., Ю.Е. ЦЫБУЛЕВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.,  
В.Г. КУЧЕР, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Д.В. ШВЕЦ, аспирант  
Криворожский национальный университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ГОКА АРСЕЛОР МИТТАЛ НА ИХ ПРОЧНОСТЬ

В статье рассмотрена взаимосвязь содержания магнетита в железистых кварцитах ГОКа АрселорМиттал Кривой Рог и их прочности. Объектом исследования является процесс дробления магнетитовой руды.

Предметом исследования является определение методов обнаружения влияния вещественного состава железистых кварцитов на их прочность. Целью исследования является получение аналитической зависимости между содержанием магнетита в железистых кварцитах ГОКа АрселорМиттал Кривой Рог и их прочности.

Основной научный результат заключается в получении зависимости между содержанием полезного компонента и крепостью железистых кварцитов.

Также предлагается усовершенствовать устройство магнитного каротажа карьерных взрывных скважин, добавив в него блок вычисления крепости руды вокруг скважины с целью расчета закладываемого количества взрывчатого вещества, необходимого для эффективного проведения взрывных работ.

**Ключевые слова:** железистые кварциты, прочность, содержание магнетита, каротаж

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Одними из наиболее актуальных направлений деятельности ОАО «Рудпромгеофизика» являются исследования физико-механических свойств горных пород и руд, связанных с совершенствованием технологии добычи полезных ископаемых [1-6].

Идея связи вещественного состава и структурно-текстурных особенностей пород с их физическими свойствами была выдвинута в начале XX века учеными Протодяконовым М.М., Тедером Р.И., Домаревым Д.С. и другими.

Установление взаимосвязи между содержанием магнетита в руде Валявкинского месторождения и ее прочностными характеристиками позволит эффективно корректировать количество взрывчатого вещества, закладываемого в скважины при проведении взрывных работ в зависимости от результатов магнитного каротажа. Таким образом будет достигнута экономия взрывчатого вещества при эффективном проведении взрывных работ.

**Анализ исследований и публикаций.** В работах [7,8] показано, что для некоторых месторождений установлены общие закономерности влияния вещественного состава и строения пород на их физико-механические свойства, а также выявлены связи между отдельными параметрами физико-механических характеристик. Также отмечено, что по установленным корреляционным зависимостям для некоторых руд и пород с достаточной точностью по агрегатной твердости можно определить прочностные свойства. Кроме того, в [7] указано, что агрегатная твердость хорошо коррелирует с прочностью при растяжении и сжатии, с твердостью по Шору и другими параметрами физико-механических свойств.

**Постановка задачи.** Основной задачей работы является получение зависимости между содержанием магнетита в железистых кварцитах ГОКа АрселорМиттал Кривой Рог и их физико-механическими свойствами. При установлении зависимости между содержанием магнетита и прочностью железистых кварцитов предлагается усовершенствовать устройство для магнитного каротажа карьерных взрывных скважин, дополнив его блоком вычисления крепости пород, что позволит более точно рассчитывать необходимое количество взрывчатки при проведении взрывных работ.

**Изложение материалов и результаты.** Исследования проводились по методике Ю.Л. Шатайлова (“Уралмеханобр”), эта методика позволяет оценить показатели дробимости руд по разрушению в дробилках проб массой не больше 10 кг.

Для исследований было отобрано три пробы на третьем карьере ГОКа, крупностью 100-150 мм:

горизонт-135, силикатные кварциты	- 17,3 кг;
горизонт-60, силикатно-гематитовые кварциты	- 15,9 кг;
горизонт-150, силикатно-магнетитовые кварциты	- 20,1 кг.

Для проведения исследований было использовано следующее оборудование: лабораторная щековая дробилка ЛШД - 50×100, счетчик активной энергии типа САЗУ-И-670 набор сит (1-15) мм, направляющий лоток и секундомер.

Последовательность проведения экспериментов и расчета показателей дробимости следующая:

исследуемую руду исходной крупностью 0-150 мм дробят в щековой дробилке, подвергают грохочению и доводят до крупности 0-20 мм. Из дробленной руды отсеивают класс - 3 мм.

перед проведением опыта измеряют продолжительность  $t(c)$  трех оборотов счетчика САЗУ-И-670 и рассчитывают мощность  $N_x$  (кВт) дробилки ЛШД - 50×100 в режиме холостого хода по формуле (1).

$$N_x = 3600 n_c / (a_c t) \quad (1)$$

где  $n_c$  - число оборотов диска счетчика ( $n=3$ );  $a_c$  - постоянная счетчика.

Измерения повторяют трижды и за истинное принимают среднеарифметическое значение  $N$ . В случае использования ваттметра мощность дробилки в режиме холостого хода определяют перед проведением опыта по записанной ваттграмме  $N_{x1}$ .

отобранную пробу руды дробят в дробилке ЛШД-50×100 в условиях заполненного дробящего пространства при ширине выходной щели, равной 3 мм. Для определения мощности дробилки в рабочем режиме определяют число оборотов диска счетчика САЗУ-И-670 за фиксированное время дробления. Мощность рассчитывают по формуле (1).

после проведения опыта определяют мощность дробилки ЛШД-50×100 в режиме холостого хода  $N_{x2}$ , а затем гранулометрический состав дробленной руды.

рассчитывают производительность (т/ч) дробилки на исследуемой руде  $Q=3,6(P/t)$ , где  $P$  - масса навески, кг;  $t$  - продолжительность дробления, с.

рассчитывают удельный расход электроэнергии (кВт·ч/т) [9]

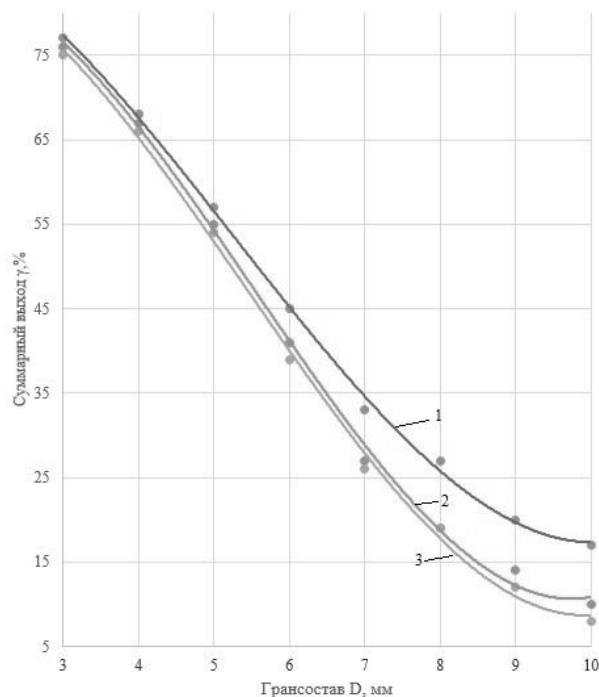
$$\mathcal{E} = (N_p - N_x)/2 \quad (2)$$

где  $N_x$  - мощность дробилки в режиме холостого хода, кВт

$$N_x = (N_{x1} + N_{x2})/2. \quad (3)$$

Содержание магнетита в пробах определялось с помощью устройства ДЖМ-4, состоящего из индуктивного датчика, цифрового датчика массы пробы и КПК. Устройство ДЖМ-4 было предварительно откалибровано на пробах данного месторождения.

Результаты ситового анализа материала проб приведены на рис. 1.



**Рис. 1.** Взаимосвязь суммарного выхода и грансостава: 1 - содержание  $Fe_{магн}$  в пробе - 19,54%; 2 - содержание  $Fe_{магн}$  в пробе - 25,75%; 3 - содержание  $Fe_{магн}$  в пробе - 31,02%

Были получены аппроксимирующие зависимости:

содержимое  $Fe_{магн}$  в пробе - 19,54%

$$y = 0,167x^3 - 2,63x^2 + 2,464x + 89,12 \quad (4)$$

$$R^2 = 0,99 \quad (5)$$

содержимое  $Fe_{магн}$  в пробе - 25,75%

$$y = 0,245x^3 - 4,056x^2 + 9,311x + 78,43 \quad (6)$$

$$R^2 = 0,99 \quad (7)$$

содержимое  $Fe_{магн}$  в пробе - 31,02%

$$y = 0,215x^3 - 3,5x^2 + 6,12x + 82,98 \quad (8)$$

$$R^2 = 0,99 \quad (9)$$

На основании полученных кривых можно сделать выводы о том, что чем меньше содержание магнетита и больше содержание кварца, тем больше выход крупного класса в продуктах дробления.

Зависимость предельной прочности на сжатие от массовой доли магнетита показана на рис. 2.

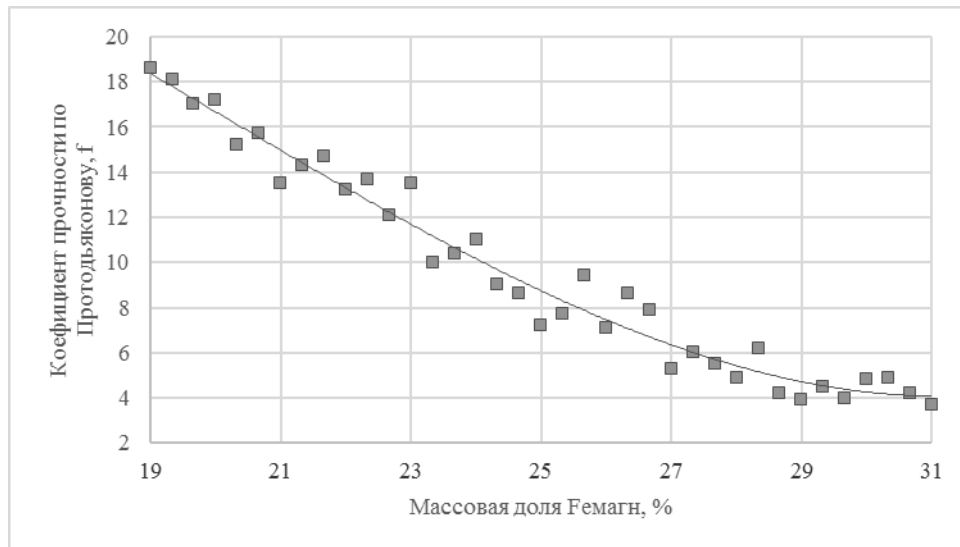


Рис.2. Зависимость коэффициента прочности по Протодяконову от массовой доли магнетита

В результате аппроксимации был получен полином третьей степени

$$y = 0,0045x^3 - 0,2711x^2 + 3,6989x + 14,854 \quad (10)$$

$$R^2 = 0,9678 \quad (11)$$

**Выводы и направление дальнейших исследований.** В результате исследований можно сделать вывод, что прочность железистых кварцитов обратно пропорциональна содержанию магнетита для Валявкинского месторождения с достаточной степенью точности.

В связи с этим имеет смысл обратить внимание на установление зависимости между содержанием железа в руде в скважине и количеством закладываемой взрывчатки в скважину при проведении взрывных работ: для повышения эффективности взрыва и снижения расхода взрывчатки предварительно по каждой из скважин определяется крепость взрывающей породы и по полученной зависимости корректируется количество закладываемой взрывчатки, - с уменьшением прочности пород количество взрывчатки уменьшают, а с увеличением - увеличивают в прямой пропорции от прочности взрывающих пород.

С учетом наличия установленной связи между прочностью железистых кварцитов и содержанием в них магнитного железа предлагается усовершенствовать устройство для магнитного каротажа карьерных взрывных скважин [10], дополнив его блоком вычисления крепости пород. Полученный прибор позволит получать информацию о прочности массива пород вокруг опробуемых скважин, что даст возможность рассчитывать необходимое количество взрывчатки для эффективного проведения взрывных работ.

Предлагаемая полезная модель иллюстрируется функциональной схемой устройства для магнитного каротажа карьерных взрывных скважин (рис. 3).

Устройство состоит из пульта 1 и геофизического зонда 2, которые связаны между собой каротажным кабелем. Блок питания 3 получает напряжение от сети переменного тока или от батарей аккумуляторов. Преобразователь напряжения 4 соединен с блоком питания 3 через каротажный кабель и смонтирован в геофизическом зонде 2. Также в геофизическом зонде 2 находятся последовательно соединенные блок управления генератором 5, усилитель мощности 6, генератор 7, генераторная катушка 8, а также последовательно соединенные приемная катушка 9, измерительный усилитель 10, амплитудный детектор 11, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) 12, интерфейс 13. Переключатель режима интерфейса 14, блок вычисления прочности 15 и измерительный прибор 16 расположены в пульте 1.

Устройство работает следующим образом. После подачи питания на выходе блока управления генератором 5 возникают пульсирующие импульсы, которые усиливаются усилителем мощности 6, формируются генератором 7 и подаются на генераторную катушку 8. Зонд 2 располагается горизонтально на высоте (1,0 - 1,2) м от земли. Фиксируется сигнал приемной катушкой 9, который зависит от взаимной индукции между катушками 8 и 9. Этот сигнал усиливается измерительным усилителем 10, превращается из аналогового в цифровой с помощью амплитудного детектора 11 и блока АЦП 12, и затем через интерфейс 13 передается на переключатель

тель режима интерфейса 14, блок вычисления прочности 15 и измерительный прибор 16, которые расположены в пульте управления 1.

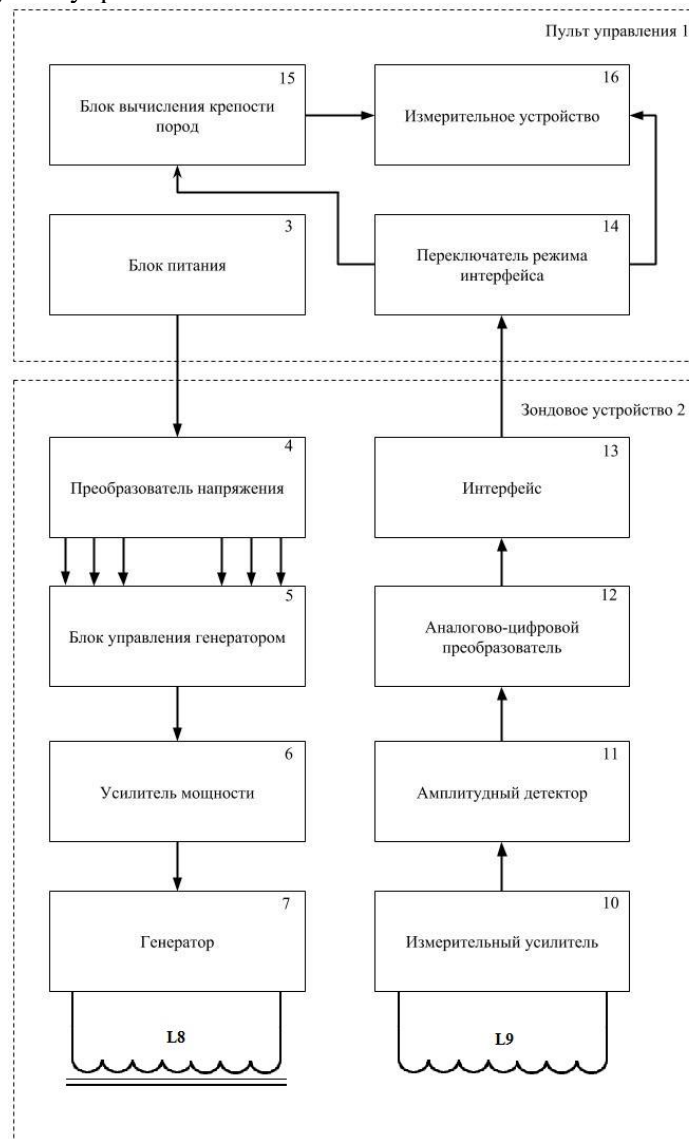


Рис.3. Устройство для магнитного каротажа карьерных взрывных скважин

Когда зонд 2 находится в скважине, магнетит действует как экран, уменьшая взаимодействие между генераторной 8 и приемной 9 катушками зонда 2. Степень уменьшения взаимодействия прямо пропорциональна количеству магнетита вокруг скважины, что используют для калибровки измерительного прибора 16, который подключен к интерфейсу 13 через переключатель 14. В свою очередь, сигнал содержания магнетита в породе с помощью переключателя интерфейса 14 передается в блок вычисления прочности пород 15, выход которого соединен с измерительным прибором 16. До проведения опробования скважин в память блока 16 вводятся данные по зависимости между содержанием магнетита в породе и ее прочностью.

Использование предлагаемого устройства для магнитного каротажа карьерных взрывных скважин дает возможность одновременно определять содержание магнетита в опробуемых породах и их прочность.

#### Список литературы

1. Азарян А.А., Дрига В.В. Математическая модель устройства контроля массовой доли магнитного железа в рудах//Вестник Криворожского технического университета. 2005, Выпуск 6. - С. 57-61.
2. Азарян А.А., Дрига В.В., Цыбулевский Ю.Е. Датчик железа магнитного//Металлургия и горнорудная промышленность. 2004. №6. - С. 69 - 71.
3. Азарян А.А., Дрига В.В., Цыбулевский Ю.Е. Исследование автогенераторного метода контроля содержа-

ния железа магнитного в продуктах обогащения//Сборник трудов. «Качество 2005». - С. 117 - 123.

4. **Дрига В.В., Цибулевский Ю.Е., Фашевский Д.П.** Исследование и разработка устройства оперативного контроля содержания магнитного железа в горной массе//Сборник трудов КТУ, Кривой Рог 2002. - С. 74-80.

5. Патент №60612А. Україна МКИ G01N27/72 Пристрій оперативного контролю масової частини магнітного заліза у гірській масі. **Азарян А.А., Дрига В.В., Демченко О.М., Цибулевський Ю.Є.** Заявл. 14.01.2003. Опубл. 15.10.2003. Бюл.№10.

6. Патент №6225 Україна МКИ G01N27/72. Пристрій оперативного контролю масової частини заліза магнітного у гірничій масі. **Азарян А.А., Дрига В.В., Цибулевський Ю.Є., Кривенко А.Ю.** Заявл. 13.12.2004. Опубл. 15.04.2005. Бюл.№4.

7. **Домарев Д.С.** Исследование влияния вещественного состава и структурно-текстурных особенностей магнетитовых роговиков Скелеватского месторождения на их физико-механические свойства: дис. ... канд. техн. наук / Домарев Д. С. – Кривой Рог, 1969 – 221 с.

8. Влияние вещественного состава и вторичных процессов на физико-механические свойства железистых пород Криворожского бассейна [Текст] / **Р. И. Тедер, Д. С. Домарев.** – М. : [б. и.], 1970. – 35 с.

9. Обогащаемость железных руд / [**Богданова И. П., Нестерова Н. А., Федорченко Н. А., Грицай Ю. Л.**].- М.:Недра,1989. -158 с.

10. Патент №80707 Україна МПК G01V 3/18. Пристрій для магнітного каротажу геофізичних свердловин. **Азарян А.А., Цибулевський Ю.Є., Шаров В.В., Юрко О.В., Лисовой В.Н.** Заявл. 06.12.2004. Опубл. 25.10.2007, бюл. № 17

Рукопись поступила в редакцию 24.04.16

УДК 621.311.086.5: 621.3.001

В.А. КОЛЬСУН, канд. техн. наук, доц., А.А. ИВАШКО, И.А. ИУТИН, магистранты  
Криворожский национальный университет

## СОЗДАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ В КУРС ИЗУЧЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ МОДУЛЯ «АВТОНОМНЫЙ ИНВЕРТОР НАПРЯЖЕНИЯ»

В статье приведены практические результаты по построению модуля «Автономный инвертор напряжения», для проведения лабораторных и исследовательских работ в условиях лаборатории. Вопросу улучшения качества знаний студентов с преобразовательной техники - уделяется все больше внимания. Качество знаний с преобразовательной техники определяет уровень квалификации будущих специалистов электротехнического направления, но возможности, которые предоставляются на данный момент ограничены в связи с моральным износом лабораторного оборудования. Таким образом, была поставлена задача, разработать модуль автономного инвертора напряжения, как одного из основных видов преобразователя. Исходя из последнего, задача, которая была поставлена, является актуальным и эффективным средством повышения качества знаний студентов в сфере преобразовательной технике.

**Ключевые слова:** преобразовательная техника, лабораторный стенд, инвертор напряжения, преобразователь частоты, ШИМ

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Вопросу улучшения качества знаний студентов с преобразовательной техники - уделяется все больше внимания. Качество знаний с преобразовательной техники определяет уровень квалификации будущих специалистов электротехнического направления, но возможности, которые предоставляются на данный момент ограничены в связи с моральным износом лабораторного оборудования. Таким образом, была поставлена задача, разработать модуль автономного инвертора напряжения, как одного из основных видов преобразователя. Особенность которого, заключается в возможности исследования переходных процессов в каждом звене преобразователя, что позволит значительно улучшить процесс закрепления теоретических знаний эмпирическим методом.

**Анализ исследований и публикаций.** Рациональность создания модуля автономного инвертора напряжения для лабораторного комплекса по изучению преобразовательной техники можно обосновать только обзором уже существующих стендов и технических решений. Одним из таких решений по изучению преобразователей, является лабораторный стенд „Базис”. Данный стенд позволят проводить физическое моделирование большинства типовых схем преобразователей. Не смотря на рациональность применения данного решения в учебном процессе, он имеет и недостатки, одним из которых является его стоимость [9]. Исходя из последнего, задача, которая была поставлена, является актуальным и эффективным средством повышения качества знаний студентов в сфере преобразовательной технике.