

УДК 621.226

В.Г. Ивахник, канд. техн. наук, доц.,
директор Інженерного центру Московського
державного горного університету, Росія,
В.Е. Курченко, генеральний директор ЗАО
«Путиловський Рай», Україна

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ, МАТЕРИАЛОВ И ВЕЩЕСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ГОРНЫХ МАШИНАХ И ОБОРУДОВАНИИ

В статье приводится обоснование целесообразности применения в горных машинах и оборудовании материалов, веществ и жидкостей с модифицированными физико-механическими свойствами за счет использования инновационных технологий магнитно-импульсной обработки.

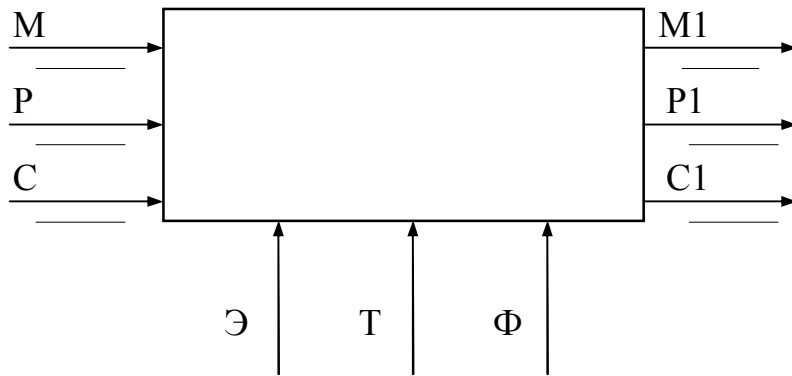
инновации, горные машины и оборудование, магнитно-импульсная обработка, модификация физико-механических свойств, магнитная технология

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

XXI столетие будет характеризоваться всплеском результативности инновационных решений, базирующихся на практическом осмыслении природных явлений и установлении закономерностей их проявлений в различных сферах, требующих улучшения свойств материалов, веществ и жидкостей. Значимое место в качественных структурных изменениях этих объектов будет принадлежать и расширению областей применения импульсных электромагнитных воздействий, в том числе в горных машинах и оборудовании, работающих в сложных горно-геологических условиях.

В инновационных разработках, ориентированных на создание приоритетных технологий и конструкций с улучшенными эксплуатационными свойствами, нашли применение электромагнитные воздействия в импульсных режимах, обеспечивающие модификацию физико-механических свойств материалов и веществ (органических и неорганических).

В общем случае способ импульсного электромагнитного воздействия, так называемый – способ магнитно-импульсной обработки (МИО) можно представить в следующем системном подходе:



где: входные параметры – материальный объект (М), его размеры (Р) и свойства (С); влияющие факторы – энергия воздействия (Э), продолжительность (Т) и форма импульса (Ф).

В процессе осуществления МИО различных объектов их размещают внутри кольцевого индуктора (соленоида). С генератора импульсных напряжений (ГИН) через выводы коммутации на соленоид периодически подается напряжение заданного импульса и формы. В результате генерации электромагнитных импульсов в ГИН с регулируемой частотой и амплитудой возникает переменное электромагнитное поле, формируемое необходимую микроструктуру объекта.

Анализ исследований и публикаций. Из большого количества публикаций по проблематике МИО возможно привести следующие работы: в [1, 2, 3] апробированы результаты влияния МИО на материалы, используемых в горной промышленности материалов, используемых в горной промышленности. В работе [4] обосновывается целесообразность расширения областей применения МИО, повышающих эксплуатационные свойства материалов и веществ (органических и неорганических). В работе [5] приведены методологические и практические аспекты применения импульсных электромагнитных технологий, обеспечивающих модификации физико-механических свойств материалов и веществ.

Постановка задачи. Настоящая статья является продолжением развития теории и практики применения технологии МИО. Целью данной работы является установление оптимальных режимов МИО при использовании компактного оборудования – мобильных магнитно-импульсных установках (МИУ), планируемых к применению на предприятиях Донецкого региона.

Изложение материала и результаты. В разработках Инженерного центра (ИЦ) МГГУ и на кафедре «Горные машины и оборуду-

дование» (ГМО), ориентированных на создание технологий и конструкций с улучшенными свойствами, широко используется технология МИО. Проведенные на кафедре ГМО исследования повышения эффективности некоторых традиционных методов упрочнения и защиты поверхностей деталей машин при дополнительном применении МИО показали значительное увеличение их результативности [2]. Результаты сравнительной оценки традиционных методов упрочнения деталей машин при применении МИО приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1.

Сравнительная оценка традиционных методов упрочнения деталей машин при применении МИО

№ п/п	Наименование способов упрочнения	Численные значения, %
1.	Оксидирование	130
2.	Фосфатирование	120
3.	Хромирование	140
5.	Борирование	126
6.	Плазменное напыление	167
7.	Диффузионное хромирование	142
8.	Обработка взрывом	166
9.	Прокатывание	156
10.	Наклеп	120
12.	Закалка изотермическая	136
13.	Закалка ступенчатая	128
14.	Закалка с обработкой холодом при -270°C	150
15.	Термомеханическая обработка	170

Опыт ИЦ в масштабном использовании МИО позволяет привести некоторые результаты исследований влияния МИО на структурные изменения материалов и веществ в следующих областях применения МИО.

Для обработки металлов с целью преобразования их микроструктуры и изменения физико-механических свойств, обеспечивающих значительно улучшать потребительские характеристики изделий за счет направленного изменения прочностных свойств, как на их поверхности, так и по всему объему.

Для обработки предельных и непердельных углеводородов, в том числе горюче-смазочных материалов, с целью увеличения теплотворной способности топлива и увеличения срока службы масел (моторных, трансмиссионных и т.д.).

Для обработки технического углерода с целью изменения его свойств, в замену способа ионизирующего радиационного воздействия, являющегося непроизводительным, небезопасным в радиационном плане и не обеспечивающего в достаточной мере улучшение эксплуатационных свойств резинотехнических изделий, в основе которых находится технический углерод.

Обработка металлов. Технология МИО металла заключается в воздействии на него высокоэнергетическими полями, как одиночными, так и многократными импульсами с различной интенсивностью напряженности и формы импульса. Такое воздействие увеличивает темпы релаксации и структурной перестройки обрабатываемого материала.

Под действием МИО, к примеру, в сталях и чугунах, протекают деформационные процессы, создающие напряжения сжатия до 200 – 700 МПа, происходит уменьшение параметров кристаллической решетки (a), размеров кристаллита (L) и межплоскостных расстояний (d_{211}), табл. 1.2, а также повышение микротвердости зерна, табл. 1.3.

Таблица 1.2.

Результаты рентгеновского анализа

№ п/п	Режим обработки	a , А°	d_{211} , А°	L
1.	Исходное состояние	1,1713	2,869	314
2.	После МИО	1,1704	2,867	290

Таблица 1.3.

Численные значения микротвердости до и после МИО

№ п/п	Режим обработки	Микротвердость, кгс/мм ²			
		Нагрузка			
		$p = 20$ г	$P = 50$ г	$p = 100$ г	$P = 200$ г
1.	Исходное состояние	264	255	253	253
2.	После МИО	367	360	353	344

Табличные данные свидетельствуют об изменении микроструктуры стали Ст. 25ХГ2МТЛ после МИО, что наглядно иллюстрируется на рис. 1 и 2.

Результаты исследований, защищенные Патентом РФ № 2064510 «Способ рекристаллизации металла», показывают, что МИО может быть использована взамен рекристаллического отжига

при производстве холоднодеформированных листов, фольги и проволоки. Кроме того, МИО влияет на свойства металлов не только с металлическим, но и ковалентным типом связей.

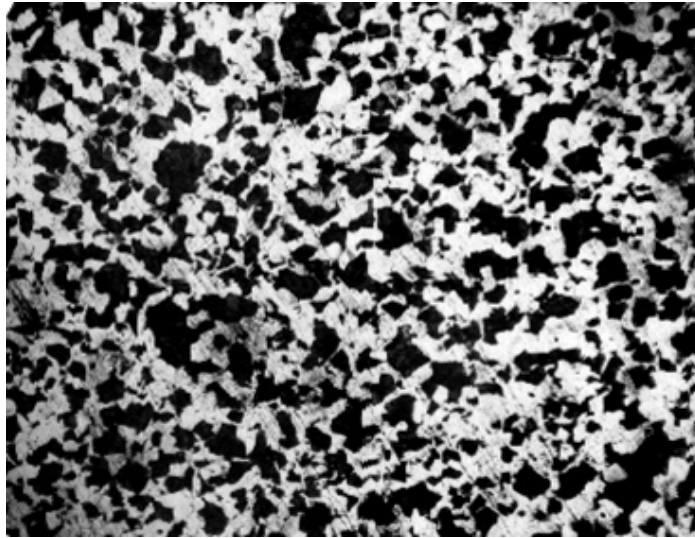


Рисунок 1 - Структура Ст. 25ХГ2МТЛ до МИО

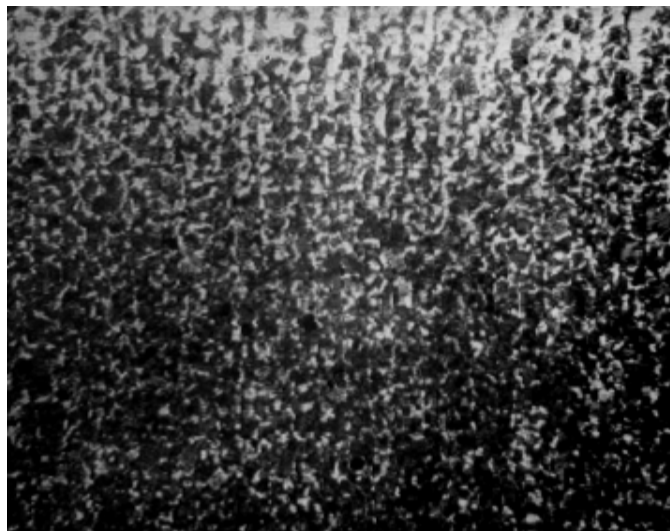


Рисунок 2 - Структура Ст. 25ХГ2МТЛ после МИО

В приведенных ниже таблицах 1.4-1.5 представлены численные значения по влиянию МИО на физико-механические свойства и параметры некоторых веществ и материалов.

Таблица 1.4.

Изменение параметров твердого сплава ВК8

Состояние	Параметры		
	$d_1, \text{Å}$	$d_0, \text{Å}$	$d_1 - d_0, \text{Å}$
Исходное	1,0152	1,0152	0
После МИО	2,515	2,513	- 0,002

Таблица 1.5.

Изменение параметров пружинной стали 65Г

Обработка	$d_{211}, \text{Å}$	$a, \text{Å}$	L
Исходное	1,1713	2,869	314
После МИО	1,1704	2,867	290

Обработка предельных и непредельных углеводородов. В результате выполненного комплекса исследований по воздействию мощными электромагнитными полями на различные соединения предельных и непредельных углеводородов (Патент РФ № 2098454 «Способ обработки жидких углеводородов и устройство для его осуществления») разработана инновационная технология обогащения топлива, в частности мазута, которая может использоваться на тепловых станциях, металлургических заводах, обогатительных фабриках и других предприятиях, использующих в технологических процессах мазутное топливо.

В основу этой инновационной технологии положены результаты исследований по улучшению технологических свойств мазута путем улучшения его физико-химических свойств за счет изменения структуры обрабатываемого мазута.

Обработка мазута производится сериями импульсов с выдержкой во времени между сериями. В результате обработки мазута внутри емкости с мазутом возникает импульсное электромагнитное поле с напряженностью $7 \times 10^4 \div 2 \times 10^5$ А/м и длительностью импульсов 0,008 – 0,015 с.

Экспериментальные исследования воздействий импульсного магнитного поля на мазут были проведены на опытно-промышленной установке, смонтированной на ОАО «ПК «БСЗ» (г. Брянск). В результате исследований МИО мазута установлены изменения тонкой структуры мазута до и после МИО. Контроль качества мазута осуществлялся рентгеновским способом.

Полученные результаты исследования мазута до и после МИО приведены в табл.1.6. Как следует из приведенных данных, теплота сгорания мазута обработанного МИО увеличивается на 4,16%.

Обработанный импульсным магнитным полем мазут обладает повышенной теплотой сгорания и светимостью факела, что позволяет снизить его расход на 15 – 20%.

Таблиця 1.6.

Характеристика мазута до и после МИО

№ п/ п	Вид топлива	Влаж- ность В %%	Теплота сгорания					
			$O^a_{\text{б}}$	$O^a_{\text{в}}$	$O^p_{\text{в}}$	$S^a_{\text{общ}}$	H^{Γ}	$O^p_{\text{н}}$
1.	Мазут до МИО	0,02	10206	10143	10145	2,35	10,07	9599
2.	Мазут после МИО (1 импульс)	0	10243	10170	10170	2,78	10,20	9619
3.	Мазут после МИО (2 импульса)	0,03	10294	10220	10223	2,86	10,76	9639

Основные концептуальные конструктивные решения по компоновке МИУ модификации мазута (МИУ-М) прошли апробацию на ОАО «ПК «БСЗ» и с определенной доработкой, применительно к условиям конкретного металлургического производства, могут быть использованы и на других металлургических производствах, в том числе Донбасса, использующих мазут.

Обработка технического углерода. Применительно к техническому углероду, являющемуся основным компонентом в различных резинотехнических и графитированных изделиях (конвейерная лента, графито-наполнительные термопласты, графитированные электроды и др.), МИО нашла использование для изменения свойств технического углерода с целью замены способа ионизирующего радиационного воздействия, который непроизводительный, а также небезопасный в радиационном плане.

В результате исследований воздействий МИО на технический углерод (МИО-Т) установлены изменения модуля упругости, в гистерезисных потерях и теплообразовании, в стойкости к старению и в других их основных характеристиках (Патент РФ № 2099373 «Способ обработки технического углерода и устройство для его осуществления»). Кроме того, установлены режимы влияния МИО на резинотехнические изделия, широко используемые в горных машинах и оборудовании, конвейерная лента, манжеты, кольца и т.д. Так, к примеру, на рис. 3-4 приведены характеристики конвейерной ленты до и после МИО, наглядно свидетельствующие об изменении модуля упругости углеродного ингредиента, обеспечивающего эластичность этого резинотехнического объекта после применения МИО.

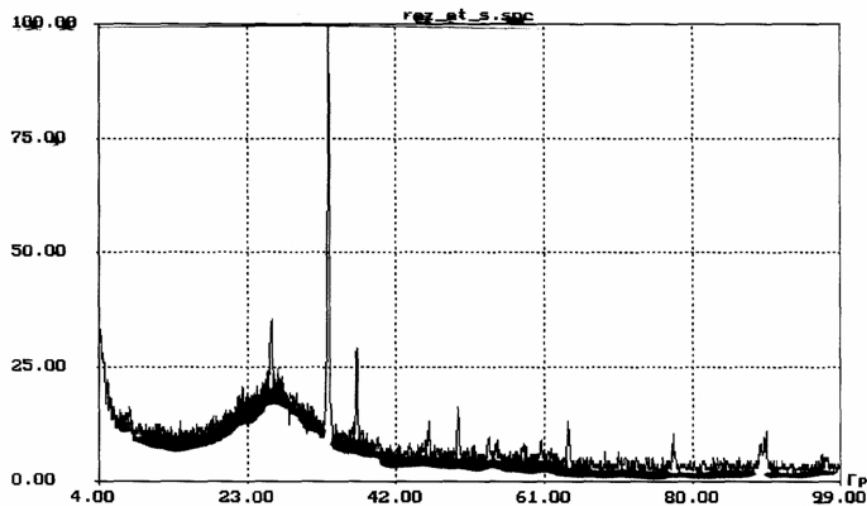


Рисунок 3 - Характеристика до МІО

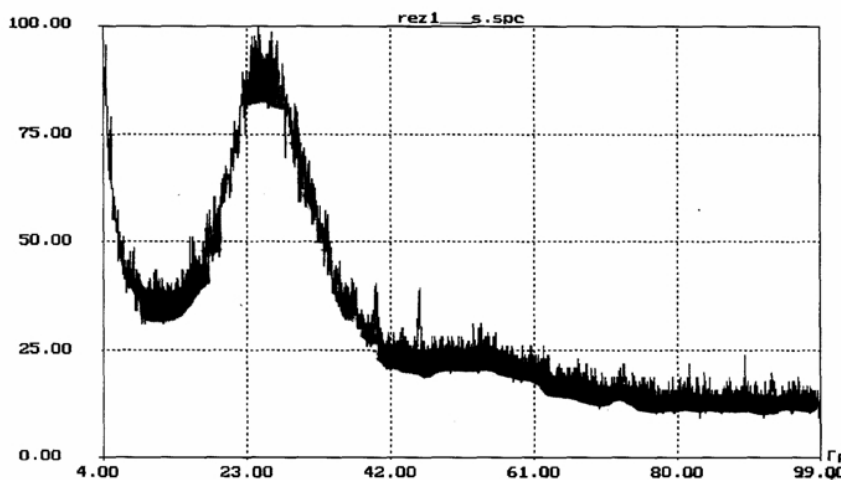


Рисунок 4 - Характеристика после МІО

При исследованиях эффективности способа «МІО-Т» использовался рентгено-структурный метод. Результаты МІО технического углерода представлены в табл.1.7.

Результаты исследований различных марок технического углерода, приведенные в табл.1.7, показывают, что углерод под действием МІО переходит из углерода низкой марки в углерод высокой марки. Табличные данные свидетельствуют, что при МІО происходит изменение обобщенного рентгеновского показателя K_M и углерод марки П226М переходит в марку П234.

Результаты исследований технического углерода позволили определить режимы влияния МІО на графитированные электроды для металлургических электропечей. Проведенные на ОАО «БСЗ» сравнительные испытания графитированных электродов до и после МІО показали, что модификация физико-механических свойств графити-

рованных электродов изменяет свойств электродов и приводит не только к уменьшению их расхода (18-25%), но и экономит электроэнергию. По данным актов испытаний за период опытно-промышленных плавки: на 124 плавки (314,4тн жидкой стали) было израсходовано 270360 кВт/час, что соответствовало расходу электроэнергии на одну тонну жидкого металла – 859,9 кВт/час (270360/314,4), тогда как нормой удельного расхода электроэнергии являлась величина – 1050 кВт/час.

Таблица 1.7.

Рентгеновские характеристики технического углерода

Наименование	Числовые значения показателей								
	M	T	$L_a, \times 10^{-10},$ м	$L_c, \times 10^{-10},$ м	$d_{002}, \times 10^{-10},$ м	$C_T, \%$	$\left(\frac{h_{002}}{h_{120}}\right)_\Phi$	K_M^P	$\delta_{K_M^P}, \%$
П-314 (ДГ-100)									
Исходный	0,705	6,1	51,0	25,5	3,633	78	1,7	3,93	
МИО	0,705	6,2	59,5	23,0	3,648	77	1,8	4,73	+20,4
П-514 (ПМ-50)									
Исходный	0,75	6,0	64,0	27,0	3,633	87	1,64	3,26	
МИО	0,74	6,2	62,0	25,5	3,642	82	1,85	4,0	+22,7
П-226М									
Исходный	0,72	5,4	61,0	23,0	3,66	80	2,05	6,16	
МИО	0,71	5,6	61,0	22,5	3,69	75	2,15	7,64	+24

M – коэффициент дифракции;

T – параметр текстуры;

L_c, L_a – размеры областей когерентного рассеяния;

d_{002} – межплоскостное расстояние рефлекса графитоподобной фазы;

C_T – концентрация графитообразной фазы в техническом углероде;

$\frac{h_{002}}{h_{120}}$ – характеристика некогерентного рассеяния;

$\delta_{K_M^P}$ – процентное отклонение значения K_M^P после МИО.

Для практической реализации далеко не полного перечня технологий МИО создается мобильная МИУ для Донецкого региона Украины, агрегатом носителем которой является автомобиль типа «Газель». Мобильная МИУ ориентирована для отработки оптимальных режимов МИО на компактном оборудовании. Общий вид мобильной

МИУ представлен на рис. 5, а принцип действия пояснен блок-схемой, приведенной на рис. 6.



Рисунок 5 - Мобильная МИУ

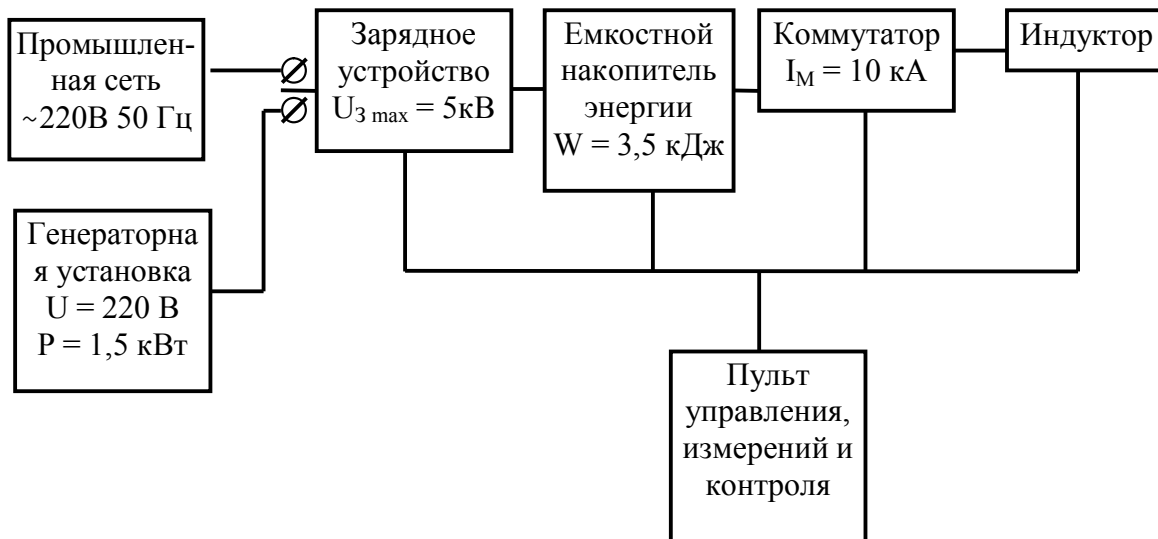


Рисунок 6 - Блок-схема электрической части МИУ

Выводы и направления дальнейших исследований.

Эффективность процесса МИО может характеризоваться следующими преимуществами:

- высокая производительность, превосходящая производительность большинства других процессов;

- большая глубина проработки материала (обычно по всему обрабатываемому объему);
- низкая стоимость обработки, благодаря ее малой длительности и существенно меньшей стоимостью установок, например по сравнению с лазерными;
- простота автоматизации процесса, значительно меньшая трудоемкость и экологическая чистота процесса.

В недалекой перспективе использование МИУ на базе автотранспорта «Газель» планируется к практическому применению на шахтах Донбасса – им. А.Ф.Засядько, «Бутовка – Донецкая» и др., а также в строительно-дорожных организациях, остро нуждающихся в решении проблемы повышения стойкости и надежности породоразрушающего инструмента и многих других элементов горного и строительного оборудования. Наличие в Донбассе МИУ также будет предполагать расширение номенклатуры объектов МИО.

Список литературы

1. Ивахник В. Г. Инновации: Методологические и практические аспекты применения импульсных электромагнитных технологий / В. Г. Ивахник // Третий Международный Радиоэлектронный Форум «ПРИКЛАДНАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ» (МРФ-2008), Украина, г. Харьков. – 2008. – С. 93-109.
2. Ивахник В.Г. Современные тенденции повышения физико-механических свойств конструкционных материалов горных машин и оборудования / В.Г.Ивахник, К.И. Шахова // Горное оборудование и электромеханика. - 2008. - №11. – С. 25-34.
3. Ивахник В.Г. Магнитно-импульсная обработка материалов, используемых в горной промышленности / В.Г.Ивахник, Г.Г.Каркашадзе // Горный журнал. - 1999. - №7. – С.93-94.
4. Ивахник В.Г. Основные тенденции развития вузовской инновационной сферы (на примере Московского государственного горного университета) / В.Г. Ивахник // Инновации. - 2000. - №7-8. – С.83-86.
5. Кантович Л.И. Повышение ресурса инструмента и деталей горных машин методом магнитной обработки / Л.И.Кантович, Б.В.Малыгин, К.М. Первов // Горное оборудование и электромеханика. - 2007. - №1. – С. 13-16.

В.Г. Ивахнік, В.Є. Курченко. Використання явища електромагнітного поля для покращення фізико-механічних властивостей металів, матеріалів і речовин, що використовуються в гірничих машинах та обладнанні. У статті наводиться обґрунтування доцільності застосування в гірничих машинах і обладнанні матеріалів, речовин і рідин з модифікованими фізико-механічними властивостями за рахунок використання інноваційних технологій магнітно-імпульсної обробки.

іновація, гірничі машини і обладнання, технологія, магнітно-імпульсна обробка, модифікація, фізико-механічні властивості

V. Ivakhnik, V. Kurchenko. The Use of Electromagnetic Field to Improve the Physical and Mechanical Properties of Metal Materials and Substances Used in Mining Machinery and Equipment. *The paper proves the necessity of using materials, substances and liquids with modified physical and mechanical properties in mining equipment applying innovation techniques of magnetoimpulse treatment.*
innovation, mining machines and equipment, technologies, electromagnetic, modification, physical-mechanical properties

Стаття надійшла до редколегії 30.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. каф. ГМО МГГУ, Москва, Росія І.Л. Пастов

© Ивахник В.Г., Курченко В.Е., 2010