

О возможности импортозамещения абразива при гидроабразивном резании

Аленичев В. М.¹

¹ Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

e-mail: alenichev@igduran.ru

Реферат

Введение. При гидроабразивной резке различных материалов в качестве абразива используются в основном гранатовые пески, порошки твердых сплавов и окислы карбидов. Предлагается изучение возможности применения кварцевых песков вместо импортируемых гранатовых.

Цель работы. Гидроабразивная резка представляет собой процесс эрозийного воздействия струи воды с твердыми абразивными частицами, поступающей под сверхвысоким давлением. Необходимо выявить техническую и технологическую возможность использования абразива из продуктов дробления коренного кварца (отходов производства) и природных кварцевых песков при гидроабразивной резке для металлов и горных пород.

Методология. Использование геоинформационного обеспечения, включающего атрибутивные и пространственные данные, позволило выявить потенциально возможные горно-геологические объекты, содержащие сырье, отвечающее физико-механическим свойствам и гранулометрическому составу широко используемого абразива в виде гранатового сырья. В статье описаны результаты проведенных экспериментальных исследований по гидроабразивной резке горных пород и металлов с использованием продуктов измельчения кварцевых песков.

Результаты. Проведенные опытно-промышленные испытания на ряде машиностроительных и камнеобрабатывающих предприятий уральского региона позволили установить техническую и технологическую возможность использования отходов дробления коренного кварца месторождения «Гора Хрустальная» и природного сырья Кичигинского месторождения кварцевых песков.

Выводы. Рекомендованы для использования в качестве абразива при гидроабразивном резании алюминиевого сплава и горных пород (габбро) размеры фракции сырья, обеспечивающие требуемую шероховатость поверхности резания. Сформулированы требования по созданию предельно допустимых концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Ключевые слова: гидроабразивная резка; техногенный продукт; песок; месторождение; скорость резания; поверхность резания; шероховатость.

Введение. Гидроабразивная резка материалов – это процесс эрозийного воздействия струи воды с твердыми абразивными частицами, поступающей под сверхвысоким давлением. По физическим характеристикам гидроабразивная струя представляет собой идеальный и не имеющий износа режущий инструмент. В зависимости от конструктивных особенностей диаметр струи колеблется от 0,5 до 1,5 мм, что обеспечивает минимальные потери обрабатываемого материала при вырезании деталей любой сложности. Отсутствие теплового и механического (деформирующего) воздействия не приводит к изменению исходных физико-механических характеристик обрабатываемого материала, процесс гидроабразивной резки абсолютно пожаробезопасен, поскольку полностью исключена вероятность плавления и горения материала [1–5].

В настоящее время при гидроабразивной резке различных материалов в качестве абразива используются в основном гранатовые пески, порошки твердых сплавов и окислы карбидов [5, 6]. Гранатовый абразивный песок (Garnet) является химически неактивным, однородным, неметаллическим природным минера-

лом и состоит из гранул граната Альмандина ($\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$). Абразивный гранат – продукт, полученный после обработки высококачественных песков граната. Кристаллы граната, имеющие угловато-округлую форму, характеризуются достаточной жесткостью, высокой плотностью от 4,10 до 4,32 г/см³ и твердостью от 7 до 7,58 по шкале Мооса [7]. Цвет зерен в основном бледно-розовый, иногда изменяется от красного до черного. Песок, залегающий в россыпях, не имеет микротрещин, что позволяет отдельным песчинкам сохранять импульс в процессе гидроабразивной резки. Наиболее востребованной является фракция крупностью 0,18 мм (mesh 80).

Абразивные гранатовые пески. Основные месторождения гранатовых абразивных песков расположены в Австралии, Индии, бывшей Чехословакии и Южной Африке. Самое большое в мире аллювиальное месторождение гранатового абразива, общий объем которого оценивается в более чем 8 млн т, находится в Западной Австралии. Природный австралийский и индийский гранатовый абразивный песок проходит несколько стадий обработки и затем поступает на отечественные машиностроительные заводы и камнеобрабатывающие предприятия.

Поскольку разработка отечественных недр неразрывно связана с обеспечением отраслей промышленности необходимым сырьем для получения определенной номенклатуры готовой продукции или использованием его в качестве рабочего инструмента в технологических процессах механической обработки материалов [8–11], ИГД УрО РАН провел опытно-промышленные испытания по возможности использования отечественных песков в качестве абразива при гидроабразивной резке материалов.

По результатам геологической оценки, проведенной Уральским отделением Института прикладной минералогии в 1928 г., подсчитаны запасы гранатовых песков по месторождениям Иссыльское (Южный Урал, Златоуст, Челябинская область), Глубочинское (Сысертский район, Свердловская область), Поляков Лог (Южный Урал, Миасс, Челябинская область), Уфалейская Дача (Южный Урал, Верхний Уфалей, Челябинская область) и Осиновское (Полевской, Свердловская область). Практического значения запасы песков на указанных месторождениях не имеют.

В Российской Федерации наибольшие запасы гранатовых песков находятся в Карелии, где обнаружено 13 месторождений. Крупные мировые запасы гранатового сырья приурочены к кристаллическим метаморфическим породам, слагающим Кейвскую гряду на Кольском полуострове.

Самыми большими месторождениями гранатовых песков располагает Индия. В наибольшей степени разрабатываются россыпные объекты (прибрежно-морские россыпи), обеспечивающие до 85 % поставок сырья на международные и внутренние рынки. Остальное количество минерала добывается из коренных месторождений метаморфического и скарнового генезиса. Как природный объект россыпное месторождение песков характеризуется пространственными координатами и атрибутивными признаками [12]. Первые описывают положение залежи, ее геометрические параметры и объем, вторые – потребительские свойства, необходимые для успешного использования песков в качестве абразива как рабочего инструмента в высокоскоростной водяной струе.

Исследование гидроабразивной резки с использованием кварцевого песка. Для установления возможности использования песков местных месторождений проводились опытно-промышленные испытания с использованием в качестве абразива отходов дробления и измельчения коренного кварца месторождения «Гора Хрустальная» и кварцевого песка Кичигинского месторождения. Месторождение «Гора Хрустальная» разрабатывается ЗАО «Карьер «Гора Хрустальная», Кичигинское месторождение – ООО «Кварц» Кичигинский ГОК».

Месторождение кварца «Гора Хрустальная» представлено мономинеральным крутопадающим жильным телом линзовидной формы, вытянутым в северо-западном направлении и имеющем блоковое строение, обусловленное наличием в нем участков кварца с различной степенью минерализации (типа K_1 и K_2). Размеры блоков варьируют в широких пределах. Кварц типа K_1 мономинеральный или слабоминерализованный и имеет гиганто-, крупно- и – реже – среднезернистую структуру, массивную или сланцеватую текстуру. Кварц типа K_2 сильно минерализован и встречается в виде тонко-, мелко- и – реже – среднезернистого агрегата. Доля кварца первой разновидности составляет в жильном теле месторождения 83,4 %, а второй – 16,6 %. Деление кварца на два типа обуславливается характером его обогащения для получения кондиционной кварцевой крупки [7].

Кварц типа K_1 и K_2 раздельно доставляется на дробильно-сортировочный комплекс, где производится его дробление и рассеивание по классам крупности $-2+0,8$ мм, $-1,2+0,7$ мм и $-0,8$ мм. Качество продукции определяется по соответствию получаемого из него кварцевого концентрата техническим условиям ТУ 571726-002-45588031-01 для производства стекла и изделий из него. Кварцевый песок используется для пескоструйных аппаратов, фильтров в химических и гидроочистных установках, в качестве декоративного материала для отделки панелей и т. п.

Кичигинское месторождение кварцевых песков приурочено к комплексу пород третичного возраста. Пески залегают в виде пластообразной залежи мощностью до 15 м, вытянутой в меридиональном направлении. Мощность перекрывающих глин изменяется от 5 до 12 м. Физико-механические свойства песков, обводненность месторождения и наличие подстилающих глинистых пород позволяют вести гидромеханизированную добычу земснарядами. Коэффициент крепости песков по шкале М. М. Протодяконова – 0,6; плотность – 1,7 т/м³. Пески однородны по минералогическому составу и представлены прозрачными и полупрозрачными зернами округленной формы. Зерна кварца имеют высокую прочность и повышенную стойкость к разрушению, что является благоприятным моментом для использования их в качестве абразива при гидроабразивной резке материалов. Удаление глинистых частиц из песков производится на коническом грохоте и аппарате Г. З. Карандаева, что приводит к снижению содержания глины до 0,5 %, обеспечивая получение продукта, соответствующего группе 3 по ГОСТу 2138-91. *Пески формовочные. Гранулометрический состав песков по складам и песков разных марок по данным оперативного опробования.* Наибольшее распространение на месторождении имеет размер фракции $-0,4+0,2$ мм, на ее долю приходится 92–95 %. Крупные фракции $-0,4$ мм не превышают 2 % и могут быть удалены путем просеивания. Мелкие фракции $-0,2$ мм составляют в среднем 3–6 %. При этом на глинистые частицы приходится не более 1,5 %, а пыль 0,05–0,005 мм практически отсутствует, что позволяет при обогащении (отмывке) песков удалить мелкие фракции.

Кварцевые пески данного месторождения в соответствии с *Едиными санитарно-эпидемиологическими и гигиеническими требованиями, применяемыми к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) и СП 2.6.1. 44 798-99. Обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов* отвечают требованиям предельно допустимых концентраций вредных веществ (таблица). Посторонних включений в виде агломератов кварцита, кварцевых песчаников, остатков растительных слоев, угля, торфа, известняка не имеется. На месторождении выделяются два водоносных горизонта. Первый, залегающий на глубине 6–13 м, питается за счет атмосферных осадков, затрудняя производство вскрышных работ; второй горизонт,

расположенный на отметках 203–205 м, напорный, что способствует отмыву глинистой составляющей при добыче. Эффективности применения гидромеханизированной геотехнологии способствуют физико-механические свойства, обводненность месторождения и наличие глинистых пород, подстилающих продуктивную залежь.

Балансовые запасы формовочных песков по состоянию на 1.01.2008 г. по сумме категорий В+С₁ составляют 57,5 млн т для открытой разработки. Добыча песков осуществляется земснарядами с последующим гидротранспортированием пульпы по трубопроводам до карт намыва. По окончании намыва карты и полного дренажа песок отгружается потребителям.

Химический состав песка, %
Chemical composition of sand, %

Пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO
Кварцевый формовочный песок (1К, ..., 5К)	98,19	0,10	0,68	0,15	0,68	0,10
Тощий песок	96,00	0,10	0,88	0,27	0,68	< 0,10
Пробы	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₃	CO ₂
Кварцевый формовочный песок (1К, ..., 5К)	0,02	0,06	0,14	0,01	< 0,009	< 0,40
Тощий песок	< 0,02	0,04	0,25	< 0,01	0,01	< 0,44

Результаты исследования. Соответствие основных физико-механических свойств песков в россыпи или продуктов дробления и измельчения кварцевых коренных пород как потенциально возможных абразивов при гидроабразивной резке материалов установлено по результатам опытно-промышленных испытаний в производственных условиях. Испытания с целью выявления технологической возможности применения отходов дробления и песков в качестве абразива при гидроабразивной резке проводились на машиностроительных заводах и камнеобрабатывающих предприятиях Уральского региона.

Опытно-промышленная проверка возможности использования кварцевого песка размером фракции $-0,315+0,1$ мм в качестве абразива, полученного при дроблении коренного кварца месторождения «Гора Хрустальная», проводилась на отечественной установке гидроабразивной резки УГР-1, оборудованной фокусирующей трубкой диаметром 1,02 мм. В качестве испытуемого материала использовалась алюминиевая плита АМг6 толщиной 30 мм. При давлении воды 2600 бар (260 МПа), расходах гранатового абразива и кварцевого песка в количестве 200 г/мин и скоростях перемещения режущей головки 30, 50, 90 и 100 мм/мин установлено (рис. 1):

– при различных скоростях перемещения режущей головки шероховатость поверхности резания изменяется;

– при скорости перемещения режущей головки 30 мм/мин качество поверхностей резания идентично;

– при скорости перемещения режущей головки 50 мм/мин шероховатость вырезаемой поверхности однородная по всей длине реза, соответствует $Ra = 12,5$ мкм и сопоставима с поверхностью, прорезаемой гранатовым абразивом;

– с увеличением скорости перемещения режущей головки до 100 мм/мин шероховатость поверхности резания ухудшается, но остается одинаковой по всей длине резания.

Выявлено существенное измельчение песка при гидроабразивной резке, обусловленное появлением техногенных трещин в зернах в процессе дробления коренного кварца.

В результате проведенных опытно-промышленных испытаний установлено, что использование песков фракций $-0,315+0,1$ мм в качестве абразива возможно. Для повышения скорости резания и чистоты поверхности резания необходимо обеспечить непрерывность подачи песка в сопло за счет удаления пылевидных и глинистых частиц и уменьшения влажности до уровня ниже 0,5 %. Использование в качестве абразива кварцевого песка потребует реализации мероприятий по устранению пыли, возникающей при загрузке бункера и в процессе резания.

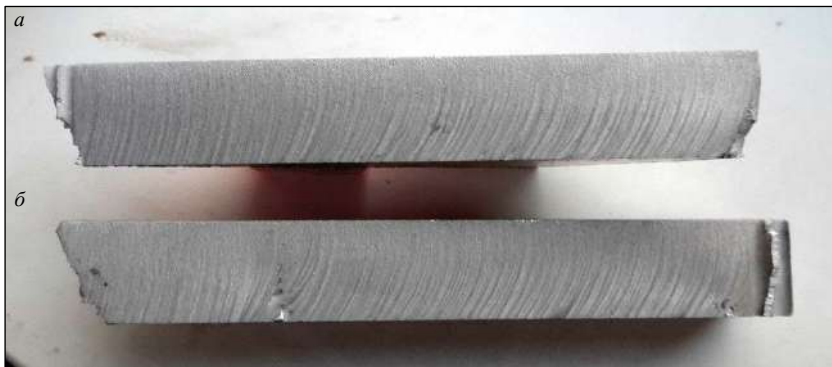


Рис. 1. Поверхности резания при использовании:
a – фракции $-0,315+0,2$ мм; *б* – фракции $-0,4+0,315$ мм
Fig. 1. Cutting surfaces when using:
a – fractions $-0,315 + 0,2$ mm; *б* – fractions $-0,4 + 0,315$ mm

Техническая возможность применения в качестве абразива кварцевых песков Кичигинского месторождения фракций $-0,63+0,4$ мм, $-0,4+0,315$ мм и $-0,315+0,2$ мм устанавливалась на отечественной установке УГР-1. При скорости перемещения фокусирующего сопла 56, 96 и 104 мм/мин использование абразива фракции $-0,315+0,2$ мм обеспечивает получение поверхности с шероховатостью реза, соответствующей техническим требованиям на изделие из алюминиевого сплава АМг6. При скорости перемещения режущей головки 50 мм/мин и использовании фракции $-0,4+0,315$ мм образуется поверхность с однородной шероховатостью. С увеличением скорости перемещения режущей головки до 100 мм/мин шероховатость поверхности ухудшается, но остается постоянной по всей длине резания, перебоев в подаче абразива не наблюдается.

При использовании в качестве абразива песка фракции $-0,63+0,4$ мм наблюдались перебои с подачей песка в режущую головку, что приводило к резкому увеличению шероховатости поверхности резания и ее неоднородности.

В ЗАО «Квант» проводилось вырезание квадратных призм из плиты интрузивной горной породы основного состава – габбро толщиной 30 мм на современном импортном станке. В качестве абразива опробовались фракции размером $-0,315+0,2$ мм, $-0,4+0,315$ мм и $-0,63+0,4$ мм Кичигинского месторождения кварцевых песков при следующем режиме резания: расход песка на пробивание – 150 г/мин; расход песка на резание – 300 г/мин; диаметр фокусирующей режущей сопла – 1,02 мм; давление – 4130 атм. (413 МПа); скорость резания – 80 мм/мин.

Установлено, что с увеличением крупности абразива незначительно повышается шероховатость поверхности резания.

Исходя из коммерческих соображений требование к качеству поверхности резания каменных материалов повышенное, что достигается в основном снижением крупности абразива и скорости резания.

Наиболее приемлемая поверхность резания наблюдается при использовании абразива фракции $-0,315+0,2$ мм из кварцевого песка Кичигинского месторождения.

Выводы. Для оценки экономической эффективности использования кварцевых песков в качестве абразива при гидроабразивной резке необходимо провести дополнительные опытно-промышленные испытания на современных установках в соответствии с *Едиными санитарно-эпидемиологическими и гигиеническими требованиями, применяемыми к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), СП 2.6.1. 44 798-99. Обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов* и учетом предельно допустимых концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны согласно *ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны*. Норматив вредных веществ определяется по *ГН 2.2.5.1313-03*.

Проведенные эксперименты позволили сделать следующие выводы:

– использование кварцевого песка фракции $-0,315+0,1$ мм, полученного при дроблении и измельчении коренного кварца месторождения «Гора Хрустальная», в качестве абразива технически возможно; отмечено существенное измельчение абразива в процессе резания, обусловленное появлением техногенных трещин в зернах кварца в процессе дробления;

– установлена техническая возможность и технологическая целесообразность использования кварцевого песка фракций $-0,315+0,2$ мм и $-0,4+0,315$ мм Кичигинского месторождения в качестве абразива при резке металлических и каменных материалов;

– использование кварцевых песков указанных объектов в качестве абразива при гидроабразивной резке позволит на региональном уровне реализовать частичное импортозамещение гранатовых песков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полянский С. Н., Нестеров А. С. Технология и оборудование гидроабразивной резки // Вестник машиностроения. 2004. № 5. С. 43–46.
2. Аверин Е. А., Жабин А. Б., Поляков А. В., Щеголевский М. М. Анализ и доработка аналитических методов расчета гидроабразивной эрозии горных пород // Горное оборудование и электромеханика. 2018. 2 (136). С. 17–25.
3. Мерзляков В. Г. Опыт применения гидроструйных технологий в исполнительных органах проходческих комбайнов // Горная промышленность. 2015. № 4 (122). С. 81–87.
4. Совершенствование гидроструйных технологий в горном производстве / В. А. Бреннер [и др.]. М.: Горная книга, 2010. 337 с.
5. Songyong L. I. U. et al. Rock breaking performance of a pick assisted by high-pressure water jet under different configuration modes // Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2015. Vol. 28. No. 3. 607–617. DOI: 10.3901/CJME.2015.0305.023
6. Zuchang S., Jianmin C., Feng L. Numerical simulation for high-pressure water jet breaking rock mechanism based on SPH algorithm // Oil Field Equipment. 2009. Vol. 38. No. 12. P. 39–43.
7. Дорошенко М. В., Башлыкова Т. В. Технологические свойства минералов. Справочник для технологов. М.: Теплоэнергетик, 2007. 296 с.
8. Иващенко А. А. Технология гидроабразивной резки // Оборудование и инструмент для профессионалов. 2002. № 8.1. С. 20–21.
9. Chillman A., Ramulu M., Hashish M. Waterjet and water-air jet surface processing of a titanium alloy: a parametric evaluation // Journal of Manufacturing Science and Engineering. 2010. Vol. 132. No. 1. P. 011012. DOI: 10.1115/1.4000837
10. Мерзляков В. Г. Гидроструйные технологии в горном деле: основные результаты научно-исследовательских работ // Горное оборудование и электромеханика. 2018. № 2(136). С. 3–7.
11. Alenichev V. Geoinformational supporting of geotechnologies // Problems of Complex Development of Georesources: VII International Scientific Conference (Khabarovsk, Russia, September 25–27, 2018). P. 4. DOI:10.1051/e3sconf/20185601017
12. Аленичев В. М., Аленичев М. В. Проблемы геоинформационного обеспечения технологий комплексного освоения месторождений и техногенных образований // ГИАБ. 2018. № 10. С. 191–199. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-191-199

Сведения об авторах:

Аленичев Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института горного дела УрО РАН. E-mail: alenichev@igduran.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-60-67

On the possibility of water jet cutting abrasive import substitution**Viktor M. Alenichev¹**¹ Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.**Abstract**

Introduction. Garnet sand, hard metals powder and carbide oxides are basically used as an abrasive when cutting various materials with a water jet. It is proposed to study the possibility of using quartz sand instead of imported garnet sand.

Research aim. Water jet cutting is a process of erosion effect of a water jet with hard abrasive particles coming under ultra high pressure. It is necessary to examine the technical and technological possibility of using an abrasive made of original quartz crush (industrial waste) and natural quartz sand when cutting metal and rock with a water jet.

Methodology. The use of geoinformation provision, including attributive and spatial data, allowed to identify potential mining and geological objects containing raw materials meeting physical-mechanical properties and granulometric composition of a widely-accepted abrasive in the form of garnet raw material. The present article describes the experimental results of rock and metal cutting with a water jet with the use of quartz sand crush.

Results. Pilot testing at several machine-building and processing enterprises of the Ural region has allowed to establish technical and technological possibility of using original quartz crush of Gora Khrustalnaya deposit and natural raw material of Kichiginsky quartz sand deposit.

Summary. Raw material fraction size providing the required roughness of the cutting surface are recommended as an abrasive when cutting aluminum alloy and rocks (gabbro) with a water jet. The requirements for maximum permissible concentration of harmful substances in the workplace air are formulated.

Key words: water jet cutting; technogenic product; sand; deposit; cutting speed; cutting surface; roughness.

REFERENCES

1. Polianskii S. N., Nesterov A. C. Technology and equipment for water jet cutting. *Vestnik mashinostroeniia = Bulletin of Mechanical Engineering*. 2004; 5; 43–46. (In Russ.)
2. Averin E. A., Zhabin A. B., Poliakov A. V., Shchegolevskii M. M. Analysis and improvement of the method for estimation of hard rock erosion when destructing with abrasive water jets. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2018; 2 (136); 17–25. (In Russ.)
3. Merzliakov V. G. Application of water-jet technologies with cutting heads of roadheading machinery: Case study. *Gornaia promyshlennost = Mining Industry*. 2015; 4 (122); 81–87. (In Russ.)
4. Brenner V. A. et al. *Improvement of water-jet technology in mining*. Moscow: Gornaya kniga Publishing; 2010. (In Russ.)
5. Songyong L. I. U. et al. Rock breaking performance of a pick assisted by high-pressure water jet under different configuration modes. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2015; 28; 3; 607–617. DOI: 10.3901/CJME.2015.0305.023
6. Zuchang S., Jianmin C., Feng L. Numerical simulation for high-pressure water jet breaking rock mechanism based on SPH algorithm. *Oil Field Equipment*. 2009; 38; 12; 39–43.
7. Doroshenko M. V., Bashlykova T. V. *Technological properties of minerals. Guide for process engineers*. Moscow: Teploenergetik Publishing; 2007. (In Russ.)
8. Ivashchenko A. A. Water jet cutting technology. *Oborudovanie i instrument dlia professionalov = Equipment and Tools for Professionals*. 2002; 8.1; 20–21. (In Russ.)
9. Chillman A., Ramulu M., Hashish M. Waterjet and water-air jet surface processing of a titanium alloy: a parametric evaluation. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 2010; 132 (1); 011012. DOI: 10.1115 / 1.4000837
10. Merzliakov V. G. Water-Jet Technology in Mining: The Main Results of Research Works. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2018; 2 (136); 3–7. (In Russ.)
11. Alenichev V. Geoinformational supporting of geotechnologies. In: *VII International Scientific Conference "Problems of Complex Development of Georesources" E3S Web of Conferences*. Khabarovsk, Russia. 2018; 56; September 25–27. DOI.org/10.1051/e3sconf /20185601017
12. Alenichev V. M., Alenichev M. V. Problems of geoinformation support of integrated development technologies for mineral deposits and mining waste. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten*

(*nauchno-tekhnicheskii zhurnal*) = *Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2018; 10: 191–199. (In Russ.) DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-191-199

Received 19 March 2019

Information about authors:

Viktor M. Alenichev – DSc (Engineering), Professor, chief researcher, Institute of Mining UB RAS.
E-mail: alenichev@igduran.ru

Для цитирования: Аленичев В. М. О возможности импортозамещения абразива при гидроабразивном резании // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 7. С. 60–67. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-60-67

For citation: Alenichev V. M. On the possibility of water jet cutting abrasive import substitution. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 7: 60–67 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-60-67