

УДК 622.014.3:519.72

Аленичев Виктор Михайлович

главный научный сотрудник,
доктор технических наук, профессор,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58.
e-mail: alenichev@igduran.ru

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОИСК
ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕГО СЫРЬЯ
ДЛЯ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКИ
МАТЕРИАЛОВ***Аннотация:*

Главная задача горнодобывающей промышленности – обеспечение отраслей сырьем для получения готовой продукции или использования в качестве рабочего инструмента в технологических процессах обработки материалов. В настоящее время при гидроабразивной резке в качестве абразива используются порошки твердосплавных сплавов, карбидов, окислов и гранатовые пески. Последние закупаются за границей. В статье указаны основные свойства песков и возможные пути импортозамещения, что позволило на основе геоинформационного обеспечения по некоторым месторождениям выявить атрибутивные признаки песков и продуктов измельчения для использования в качестве абразива. Проведены опытно-промышленные испытания по использованию измельченных отходов и природных песков в качестве абразива на ряде машиностроительных и камнерезных предприятий Урала. В результате даны предварительные рекомендации и указаны пути оценки эффективности использования отечественного минерального сырья в качестве абразива при гидроабразивной резке материалов.

Ключевые слова: гидроабразивная резка, техногенный продукт, природные пески, геоданные, месторождение, атрибутивные характеристики, сплавы, горные породы, скорость резания, качество поверхности

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.01.083

Alenichev Viktor M.

Chief Researcher,
Doctor of Engineering, Professor,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075, Ekaterinburg,
Mamina-Sibiryaka Str., 58
email: alenichev@igduran.ru

**GEOINFORMATION SEARCH
OF IMPORT-SUBSTITUTING RAW
MATERIALS FOR WATERJET CUTTING
OF MATERIALS***Abstract:*

The main objective of the mining industry is to provide the industries with raw materials for manufacturing the finished products or for operating tools in processing the materials. The waterjet cutting currently uses powders of carbide alloys, carbides, oxides and pomegranate sands as an abrasive. The latter are purchased abroad. The paper describes the main properties of sands and possible ways of import substitution, which allowed on the basis of geoinformation support for some deposits to reveal attribute features of sands and grinding products for use as an abrasive. The pilot tests on the use of shredded waste and natural sands as an abrasive have been carried out at a number of machine-building and stone cutting enterprises of the Urals. As a result, we have given the preliminary recommendations and indicated the ways to assess the efficiency of using the domestic mineral raw materials as an abrasive in the waterjet cutting of materials.

Key words: waterjet cutting, technogenic product, natural sands, geodata, deposit, attribute characteristics, alloys, rocks, cutting speed, surface quality

Введение

Разработка недр неразрывно связана с обеспечением отраслей промышленности необходимым сырьем для получения определенной номенклатуры готовой продукции или использования в качестве рабочего инструмента в технологических процессах механической обработки материалов [1, 2]. В широко распространенной в настоящее время гидроабразивной резке различных материалов в качестве абразива используются порошки твердосплавных сплавов, карбидов, окислов и гранатовые пески [3, 4]. Выбор абразива зависит от вида и твердости разрезаемого материала [5, 6]. В настоящее время широко применяется гранатовый абразивный песок (Garnet), являющийся химически неактивным, гомогенным, неметаллическим природным минералом, состоящий из гра-

нул граната Альмандина ($\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$). Альмандин относится к минералам группы гранатов. Кубические кристаллы граната имеют угловато-округлую форму грануляции и являются достаточно жестким и тяжелым материалом с плотностью $4,10 - 4,32 \text{ г/см}^3$ и твердостью $7 - 7,58$ по шкале Мооса, обусловленными кристаллическим строением. Цвет зерен – бледно-розовый, красный до черного, прозрачный. Песок, залегающий в россыпях, не имеет микротрещин, что позволяет отдельным песчинкам сохранять импульс в процессе гидроабразивной резки. Наиболее востребованной является фракция крупностью $0,18 \text{ мм}$ (80 меш).

Гидроабразивная резка материалов – результат эрозийного воздействия струи воды с твердыми абразивными частицами, подающейся под сверхвысоким давлением (рис. 1).

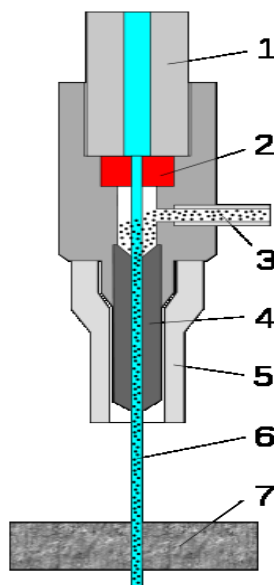


Рис. 1 – Схема режущей головки для гидроабразивной резки:

1 – подвод воды под высоким давлением; 2 – сопло; 3 – подача абразива; 4 – смеситель; 5 – кожух; 6 – режущая струя; 7 – разрезаемый материал

Процесс характеризуется абсолютной пожаробезопасностью, исключает тепловое и механическое (деформирующее) воздействие и изменение физико-механических характеристик обрабатываемого материала [7 – 9].

Методическое обоснование природного объекта

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. Австралийский и индийский гранатовый абразивный песок проходит несколько стадий очистки.

В результате геологической оценки, проведенной Уральским отделением Института прикладной минералогии в 1928 г., подсчитаны запасы гранатовых песков по месторождениям Иссильское (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 этих месторождениях не имеют.

Среди типов месторождений в наибольшей степени эксплуатируются россыпные объекты (прибрежно-морские россыпи), именно они обеспечивают 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 следующими геоданными: пространственными координатами и атрибутивными признаками [10]. 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.

Для реализации возможности импортозамещения гранатовых песков местным сырьем 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 жильного кварца «Гора Хрустальная» представлено мономинеральным крутопадающим жильным телом линзовидной формы, вытянутым в северо-западном направлении. Структура кварца крупно-, средне- и мелкозернистая, текстура – массивная, реже сланцеватая. По химическому и минеральному составу и количеству твердых минеральных примесей кварц условно разделен на две природные разновидности: кварц типа К₁ – мономинеральный или слабоминерализованный, кварц типа К₂. Запасы кварца типа К₁ составляют 83,4 % от всех запасов месторождения.

Добытый кварц типа К₁ и К₂ доставляется на дробильно-сортировочный комплекс, где производится его дробление и последующее грохочение по классам крупности (–2+0,8) мм, (–1,2+0,7) мм и –0,8 мм. Качество кварца определяется по соответствию получаемого из него кварцевого концентрата техническим условиям ТУ 571726-002-45588031-01 для производства определенных изделий. Кварц месторождения используется для пескоструйных аппаратов, фильтров в химических и гидроочистных установках и в качестве декоративного материала для отделки панелей, а также при производстве стекла и изделий из него.

Кичигинское месторождение кварцевых песков приурочено к комплексу пород третичного возраста, однородных по минералогическому составу и представленных прозрачными и полупрозрачными зернами округленной формы (99 %) плотностью – 1,7 т/м³. Зерна кварца имеют высокую прочность и повышенную стойкость к разрушению. Для удаления глинистых частиц из песков производится их обогащение на коническом грохоте и аппарате Г.З. Карандаева, что позволяет снизить содержание глины до 0,5 % и обеспечить получение продукта, соответствующего группе 3 по ГОСТу 2138-91 («Пески формовочные»). После окончания намыва карты и полного дренажа воды песок готовится к отгрузке. Гранулометрический состав песков по складам и песков разных марок по данным оперативного опробования представлен в табл. 1 и 2. 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 (табл. 3).

Формовочные пески – крупнозернистые марок ТО 315 и КО 315 – занимают центральную часть залежи и составляют основные запасы сырья. Мощность перекрывающих глиен от 5 до 12 м. Вскрышные пески соответствуют требованиям ГОСТ 8736-85 «Песок для строительных работ» и ГОСТ 10268-80 «Бетон тяжёлый. Технические требования к заполнителям». Почвенно-растительный слой отвечает требованиям ГОСТ 17.5.1. 03-86 «Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель». Выделяются два водоносных горизонта. Первый горизонт залегает на глубине 6 – 13 м и питается за счет атмосферных осадков, затрудняя производство вскрышных работ; второй горизонт находится на отметках 203 ÷ 205 м и имеет напорный характер, что способствует отмыву глинистой составляющей при добыче.

Таблица 1

Гранулометрический состав песков разных марок по складам

Склад	Гранулометрический состав, мм												
	2,5	1,6	1,0	0,63	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	0,063	0,05	таз	глин. сост.
	Остаток на ситах, %												
8-й грохот Южная карта	0,14	0,07	0,27	1,18	23,99	37,56	30,56	1,86	2,94	0,60	0,08	0,03	0,85
8-й грохот Северная карта	0,22	0,10	0,22	0,71	24,61	37,59	28,86	2,10	4,17	0,55	0,07	0,03	1,10
9-й грохот Северная карта	0,00	0,01	0,04	0,46	32,85	39,03	24,23	1,77	1,27	0,11	0,02	0,00	0,22
9-й грохот Южная карта	0,00	0,04	0,15	0,87	25,22	39,57	30,88	1,56	1,16	0,33	0,02	0,00	0,21
1-й грохот Южная карта	-	0,09	0,15	2,06	47,60	26,89	16,40	2,03	2,24	0,34	0,07	0,05	1,65
1-й грохот Северная карта	-	0,06	0,13	1,91	47,36	27,41	17,10	2,05	3,30	0,35	0,09	0,08	1,44

Таблица 2

Технические характеристики текущих проб

Марка песка	Гранулометрический состав, мм															
	2,5	1,6	1,00	0,63	0,40	0,315	0,20	0,16	0,1	0,063	0,05	таз	глина, %	Д _{ср}	однородность	песчаная основа
	Остаток на ситах, %															
	Грохот 1															
3К30203	0	0	0,08	1,74	47,22	27,44	18,28	2,04	1,46	0,32	0,02	0,00	0,90	0,40	80	99,10
5К30203	0	0	0,10	2,82	52,70	23,26	14,04	2,46	2,54	0,40	0,10	0,00	1,58	0,41	80	98,42
1Т10203	0	0	0,22	1,44	41,00	28,70	19,24	2,86	3,78	0,44	0,14	0,00	2,18	0,38	81,5	97,82
2Т10203	0,02	0,22	0,56	2,04	45,92	24,82	15,26	2,66	2,64	0,52	0,06	0,02	5,28	0,40	83,5	94,72
Грохот 7																
2К20203	0	0	0,12	0,56	29,76	33,24	25,26	5,44	4,32	0,84	0	0	0,46	0,35	88	99,54
3К30203	0	0,1	0,18	0,48	22,24	36,12	31,16	3,58	4,9	0,5	0,04	0	0,7	0,33	88,8	99,3
5К30203	0	0	0,2	0,84	33,08	35,02	22,24	1,96	4,2	0,46	0,08	0,04	1,88	0,35	88,4	98,12
Грохот 8																
5К30203	0	0,18	0,76	3,64	33,06	35,66	22,5,	0,70	0,94	0,48	0,12	0,12	1,84	0,37		98,16
3К30203	0	0	0,3	1	23,04	38,76	33,3	1,18	1,46	0,28	0,12	0	0,64	0,34		98,34
Грохот 9																
1К20203	0	0,1	0,3	1,42	26	39,64	31,54	0,58	0,24	0,04	0	0	0,14	0,35	95,0	99,86
2к20203	0	0,10	0,36	1,96	32,6	35,94	26,22	0,94	1,22	0,16	0,06	0	0,44	0,36	94,5	99,56

Таблица 3

Химический состав песка

№ пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	VgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₃	CO ₂
Кварцевый формовочный песок (1К,...,5К)	98,19	0,1	0,68	0,15	0,68	0,10	0,02	0,06	0,14	0,01	< 0,009	< 0,40
Тощий песок	96,00	0,10	0,88	0,27	0,68	< 0,10	< 0,02	0,04	0,25	< 0,01	0,01	< 0,44

Эффективности применения гидро-механизированной геотехнологии способствуют физико-механические свойства, обводненность месторождения и наличие глинистых пород, подстилающих продуктивную залежь.

Балансовые запасы формовочных песков по состоянию на 1.01.2008 по сумме категорий В+С₁ составляли 57538,45 тыс. т для открытой разработки. Добыча песков осуществляется земснарядами транспортировкой пульпы по трубопроводам до карт намыва. По окончании намыва карты и полного дренажа песок готовится к отгрузке потребителям.

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 устанавливается 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 уральских машиностроительных заводах и камнеобрабатывающих предприятиях (в испытаниях принимал участие с.н.с., к.г.-м.н. Ф.Ф. Борисков).

Испытания по использованию кварцевого песка фракции (0,1 ÷ 0,315) мм, полученного при дроблении кварца месторождения «Гора Хрустальная», в качестве абразива проводились на отечественной установке гидроабразивной резки УГР-1 при давлении воды 2600 бар (260 МПа) и скорости перемещения режущей головки 50 мм/мин. В результате проведенных опытно-промышленных испытаний было установлено, что использование песков фракций от 0,1 до 0,315 мм в качестве режущего абразива возможно. Для повышения скорости резания необходимо удалить из песка мелкие, глинистые и пылевидные частицы. Влажность песков не должна превышать 0,5 %. Отмечено значительное измельчение песка в процессе гидроабразивной резки, что обусловлено наличием трещин в зернах дробленого кварца.

Проверка целесообразности использования в качестве абразива кварцевых песков марок 1К20203 и 3К30203 и фракций (-0,63+0,4) мм, (-0,4+0,3) мм и (-0,3+0,2) мм Кичигинского месторождения проводилась на отечественных и импортных установках гидроабразивной резки.

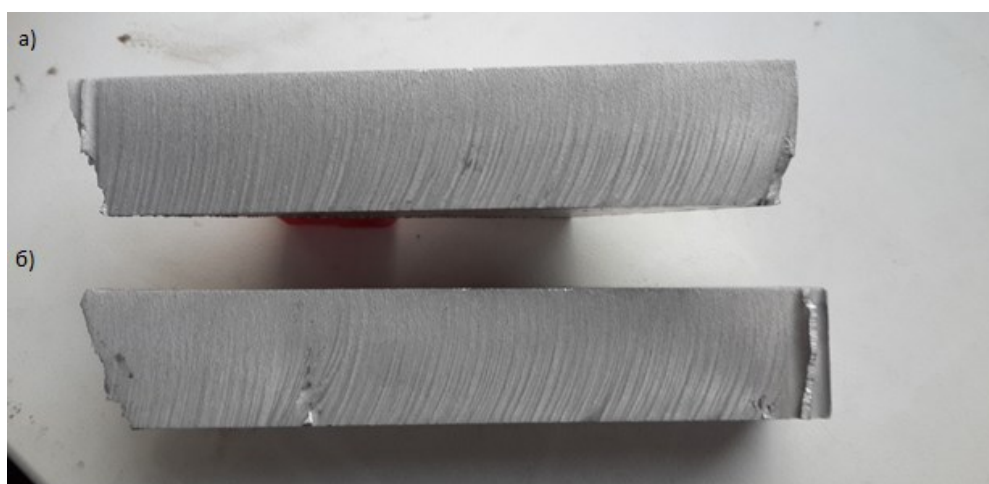


Рис. 2 – Поверхности резания алюминиевого сплава АМг6:
а – при использовании фракции (-0,315+0,2) мм;
б – при использовании фракции (-0,4+0,315) мм

При использовании в качестве абразива кварцевого песка фракции (-0,315+0,2) мм при скоростях резания 56, 96 и 104 мм/мин получены положительные результаты при

обработке алюминиевого сплава АМг6. Шероховатость поверхности реза показана на рис. 2. При скорости перемещения режущей головки 50 мм/мин использование фракции $(-0,4+0,315)$ мм обеспечивает однородную шероховатость поверхности реза алюминиевого сплава АМг6, что соответствует классу шероховатости Ra 12,5 и сопоставимо с поверхностью, получаемой с использованием импортного гранатового абразива. С увеличением скорости перемещения режущей головки до 100 мм/мин шероховатость поверхности ухудшается, но остается постоянной по всей длине реза (см. рис. 2), перебоев в подаче песка не наблюдалось.

Плита из стали Ст-3 была прорезана на длину только 6,5 см из-за нарушения режима подачи песка, что было обусловлено изношенностью станка и перебоями поступления песка фракции $(0,4+0,315)$ мм в режущую головку. При использовании в качестве абразива песка фракции $(-0,63+0,4)$ мм наблюдались также перебои с подачей песка в режущую головку, что приводило к резкому увеличению шероховатости и ее неоднородности по поверхности резания.

В ЗАО «Квант» проводилось вырезание квадратных призм из каменной плиты габбро толщиной 30 мм на современном импортном станке. Режим резания следующий:

- расход песка на пробивание – 150 г/мин;
- расход песка на резание – 300 г/мин;
- давление 4130 атмосфер;
- скорость резки 180 мм/мин.

При резании было установлено, что с увеличением крупности песка (фракции $(-0,315+0,2)$ мм, $(-0,4+0,3)$ мм и $(-0,63+0,4)$ мм, пробы 1К20203 и 3К30203) повышается шероховатость поверхности резания (рис. 3 а, б, в, г).

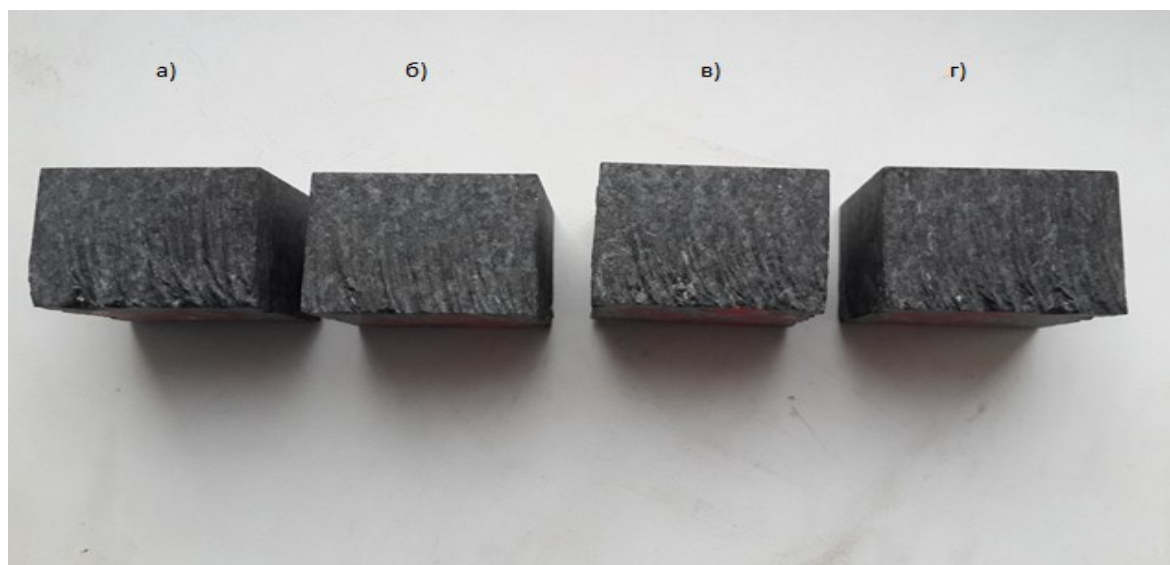


Рис. 3 – Поверхности резания габбро (плита толщиной 30 мм):

- а) - при использовании фракций $(-0,315+0,2)$ мм при скорости резания 80 мм/мин;
- б) - при использовании фракций $(-0,4+0,315)$ мм при скорости резания 60 мм/мин;
- в) - при использовании фракций $(-0,6+0,4)$ мм при скорости резания 80 мм/мин;
- г) - при использовании фракций из проб 1К20203 и 3К30203 при скорости резания 80 мм/мин

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

Наиболее приемлемая поверхность резания наблюдается при использовании фракции $(-0,3+0,2)$ мм из гранатового песка, что будет обеспечено при использовании кварцевого песка Кичигинского месторождения этой же фракции.

Заключение

Проведенные эксперименты позволили сделать следующие выводы:

– использование кварцевого песка, полученного при дроблении и измельчении коренного кварца месторождения «Гора Хрустальная» нецелесообразно ввиду недостаточной прочности зерен, обусловленной техногенным воздействием и наличием их удлиненных форм;

– установлена техническая возможность использования кварцевого песка Кичигинского месторождения в качестве абразива при резке металлических и каменных материалов.

Для определения экономической эффективности использования кварцевых песков данного месторождения в качестве абразива при гидрорезке 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)", и 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.

Литература

1. Мерзляков В.Г. Гидроструйные технологии в горном деле: Основные результаты научно-исследовательских работ / В.Г. Мерзляков // Горное оборудование и электромеханика. - 2018. - № 2(136). - С. 3 - 7.

2. Alenichev V. Geoinformational Supporting of Geotechnologies = Геоинформационное обеспечение технологий разработки природных и техногенных месторождений / V. Alenichev // Problems of Complex Development of Georesources = Проблемы комплексного освоения Георесурсов: VII International Scientific Conference = 7 Международная научная конф. (Khabarovsk, Russia, Septemder 25-27, 2018). - 2018. - doi/org/10.1051/e3sconf/20185601017.

3. Songyong L. Rock breaking performance of a pick assisted by high-pressure water jet under different configuration modes // Chinese Journal of Mechanical Engineering. - 2015. - Vol. 28. - N. 3. - P. 607 – 617. Doi: 10.3901/CJME.2015.0305.023.

4. Zuchang S., Jianmin C., Feng L. Numerical simulation for high-pressure water jet breaking ock mechanism based on SPH algorithm // Oil Field Equipment. - 2009. - Vol. 38. - N. 12. - P. 39 – 43.

5. Иващенко А.А. Технология гидроабразивной резки / А.А. Иващенко // Оборудование и инструмент для профессионалов. - 2002. - № 8.1. - С. 20 - 21.

6. 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. - N. 1. - P. 011012. Doi: 10.1115/1.4000837.

7. Анализ и доработка аналитических методов расчета гидроабразивной эрозии горных пород / Е.А. Аверин, А.Б. Жабин, А.В. Поляков, М.М. Щеголевский // Горное оборудование и электромеханика. – 2018. – 2 (136). – С. 17 – 25.

8. Полянский С.Н. Технология и оборудование гидроабразивной резки / С.Н. Полянский, А.С. Нестеров // Вестник машиностроения. – 2004. – № 5 – С. 43 – 46.

9. Совершенствование гидроструйных технологий в горном производстве / В.А. Бреннер, А.Б. Жабин, А.Е. Пушкарев, М.М. Щеголевский. - М.: Горная книга, Изд-во МГГУ, 2010. – 337 с.

10. Аленичев В.М. Проблемы геоинформационного обеспечения технологий комплексного освоения месторождений и техногенных образований / В.М. Аленичев, М.В. Аленичев // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2018. - № 10. - С. 191 - 199. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-191-199.