

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКИ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Василевич Д.В., Гуськов С.Н.

*Цель.* Исследование основных параметров процесса гидроабразивной резки, влияющих на ее эффективность.

*Методы.* В работе применены эмпирические методы исследования (определение размеров и характерных форм частиц абразивного материала), метод теоретического анализа литературных источников при определении основных параметров процесса гидроабразивной резки, влияющих на ее эффективность.

*Результаты.* Определены концептуальные подходы к повышению эффективности гидроабразивной резки путем изменения параметров данного процесса (давления воды, диаметра сопла, толщины и природы обрабатываемого материала, плотности, твердости, фракции и расхода абразивного материала). Проведен анализ видов и параметров абразивного материала, применяемого в гидроабразивной резке.

*Область применения исследований.* Полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности работы установок гидроабразивной резки (для целей пожаротушения и промышленного применения) и пескоструйной очистки.

*Ключевые слова:* гидроабразивная резка, абразивный материал, установка гидроабразивной резки.

(Поступила в редакцию 8 октября 2025 г.)

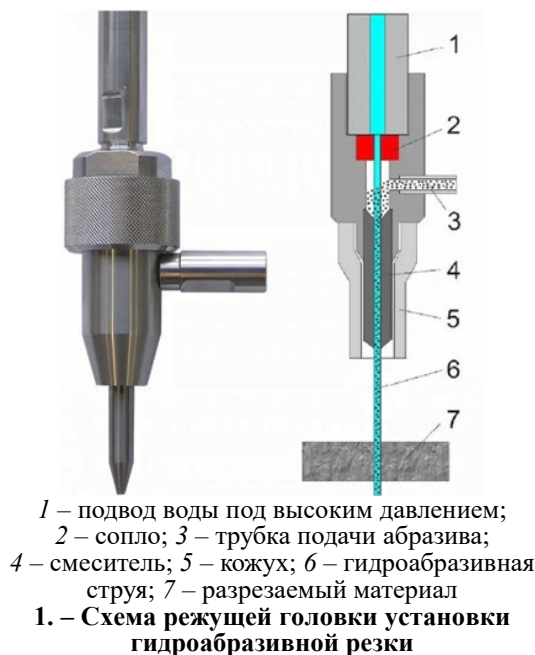
### Введение

Абразивная резка – процесс обработки и разделения материалов с использованием абразивных частиц, которые за счет высокой твердости и скорости движения снимают микрослои материала. Методы абразивной резки делятся на механические (резка диском) и с применением свободного абразива, разгоняемого потоком воздуха (абразивно-струйная, либо пескоструйная) или воды (гидроабразивная). Существует два вида резки с применением воды: гидрорезка и гидроабразивная резка [1].

Вид обработки материала методом резания, при котором режущим инструментом выступает не резец, а струя воды либо струя воды, смешанная с абразивным материалом, которая под высоким давлением (200–600 МПа) и с большой скоростью испускается по направлению к обрабатываемой поверхности, называется гидроабразивной резкой. Аналогичный процесс встречается и в природе, т.е. происходит без участия человека, и имеет название «водная эрозия» [1]. Исследованию процесса гидроабразивной резки посвящено множество работ ученых по всему миру [2–12].

В промышленных установках насос высокого давления нагнетает воду по трубкам высокого давления в режущую головку. В режущей головке вода проходит через сопло 2, превращаясь в тонкую струю (рис. 1). Через трубку подачи абразива 3 абразив поступает в смеситель 4, и в выходном сечении режущей головки формируется гидроабразивная струя 6, способная резать практически любой материал<sup>1</sup>.

Тушение скрытых и труднодоступных очагов пожара является одной из наиболее сложных задач при проведении аварийно-спасательных работ. Такие очаги формируются



<sup>1</sup> Гидроабразивная резка – объяснение процесса, преимущества и материалы [Часть 1] // Станки и инструмент для бизнеса – Станкофф.RU: [сайт]. – URL: <https://www.stankoff.ru/blog/post/690> (дата обращения: 29.09.2025).

в конструктивных полостях зданий (между кровельным покрытием и стропильной системой, в фальшполах, между облицовкой стен и самой стеной и т.д.). При использовании классического способа пожаротушения в таких местах для обнаружения очага пожара необходимо произвести вскрытие и разборку конструкций с последующим тушением.

Данный способ является трудо- и экономически затратным, поскольку необходимо приложить значительные усилия для вскрытия и разборки конструкций, а после тушения выполнить восстановительные работы. Поэтому технология гидроабразивной резки нашла применение в области пожаротушения.

Сущность данного процесса заключается в том, чтобы с помощью гидроабразивной струи пробить отверстие (диаметром до 3 мм) в стене или двери горящего помещения. При появлении сквозного отверстия в ограждающей конструкции подача в струю абразивного материала прекращается и внутрь помещения через образованное отверстие поступает только вода. Это позволяет снизить среднеобъемную температуру в помещении, что, в свою очередь, даст возможность пожарным зайти внутрь помещения и произвести дотушивание очагов горения, максимально обезопасив себя от воздействия высоких температур и возможных последствий от развившегося пожара. Кроме того, быстрое снижение температуры происходит без поступления в зону горения значительного количества воздуха (например, при открытии двери), что уменьшает вероятность развития пожара и выброса пламени вследствие образования обратной тяги.

Преимущество описываемой технологии заключается и в ее экологичности и пожаробезопасности – в процессе гидроабразивной резки исключено искрообразование, выступающее в роли источника зажигания, плавление или горение обрабатываемого материала. Cold Cut Cobra Швеция, PyroLance fire fighting system США (далее – PyroLance), Гюрза (Россия) – это системы, работающие по вышеупомянутому принципу (рис. 2) [13].



а – демонстрация работы установки «Гюрза»



б – подача огнетушащих веществ через стену установкой PyroLance

**Рисунок 2. – Установки пожаротушения с возможностью гидроабразивной резки**

Установка пожаротушения Cold Cut Cobra применялась на территории Республики Беларусь, однако стоимость самой установки, сложность и стоимость работ по техническому обслуживанию и ремонту, требования к качеству воды (отсутствию примесей) отрицательно повлияли на применение установок подобного рода в целом.

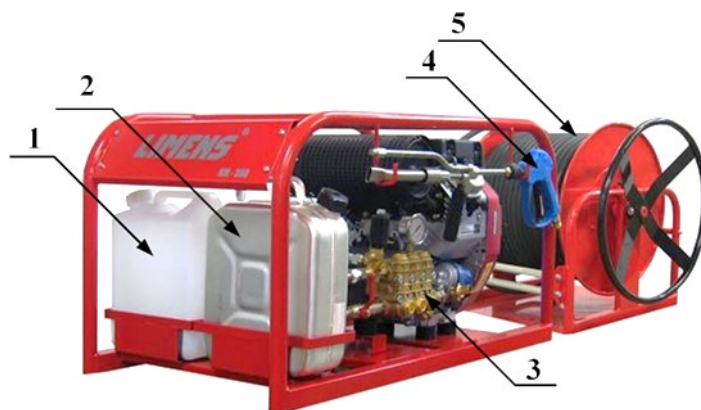
На данный момент на вооружении Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь находятся установки пожаротушения Limens (рис. 3), которые подают воду на тушение под высоким давлением.

Технические характеристики установки Limens представлены в таблице 1.

**Таблица 1. – Технические характеристики установки Limens**

Наименование	Технические характеристики
Рабочее давление системы	15 МПа
Расход воды	30 л/мин

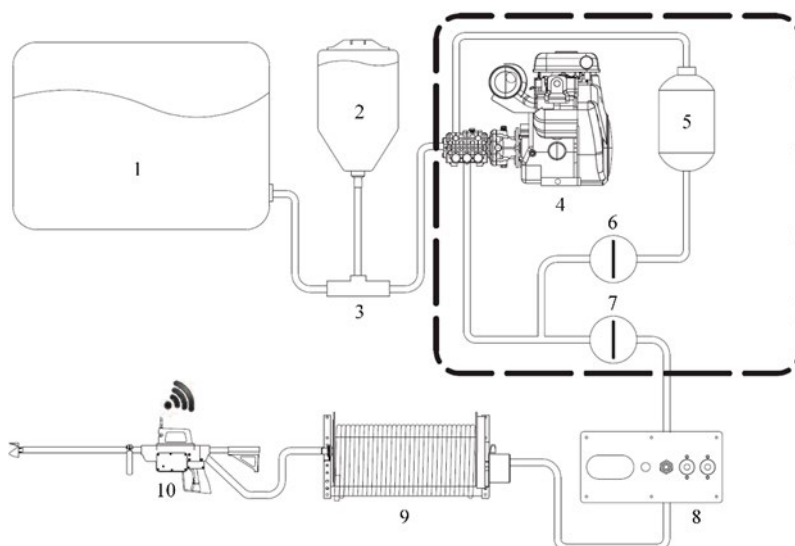
Данная установка не рассчитана на подачу абразива и, соответственно, не предназначена для гидроабразивной резки. Однако при доработке конструкции Limens, а именно ствола высокого давления, теоретически возможно добавить функцию гидроабразивной резки.



1 – бак для пенообразователя; 2 – топливный бак; 3 – плунжерный насос;  
4 – ствол высокого давления; 5 – шланг высокого давления

**Рисунок 3. – Установка пожаротушения Limens**

Рассмотрим принцип работы установки пожаротушения PyroLance. Вода из емкости 1 через клапан 3 поступает в плунжерный насос 4. При тушении пожара вода из плунжерного насоса 4 поступает по трубопроводу через кран 7 на рукав высокого давления 9 и далее на ствол высокого давления 10. При необходимости добавления абразивного материала вода из насоса 4 также поступает в емкость для абразивного материала 5, забирает необходимое количество абразива и через шаровые краны 6 и 7 поступает в ствол высокого давления 10 по шлангу высокого давления (рис. 4).



1 – емкость для воды; 2 – емкость с охлаждающей жидкостью; 3 – клапан; 4 – плунжерный насос;  
5 – емкость для абразивного материала; 6, 7 – кран шаровый с электроприводом; 8 – панель управления;  
9 – шланг высокого давления; 10 – ствол высокого давления

**Рисунок 4. – Схема работы установки пожаротушения PyroLance<sup>2</sup>**

Такая конструкция позволяет, с одной стороны, разгонять абразив по всей длине шланга высокого давления до своей максимальной скорости и, соответственно, осуществлять гидроабразивную резку с максимальной эффективностью, с другой стороны, шланг высокого давления достаточно быстро изнашивается, поскольку абразив, проходя по нему, разрушает его внутренний слой.

Предлагаемая доработка конструкции Limens заключается в том, что абразив будет поступать в струю воды именно в стволе высокого давления (как и в промышленных установках гидроабразивной резки). Это позволит значительно упростить конструкцию (исключить емкость для абразивного материала, шаровые краны с электроприводом) и продлить срок эксплуатации шланга высокого давления.

<sup>2</sup> PyroLance L 1000 W-G Technical Manual: technical manual / PyroLance North America LLC. – Aurora (Col.), 2013. – 51 p.

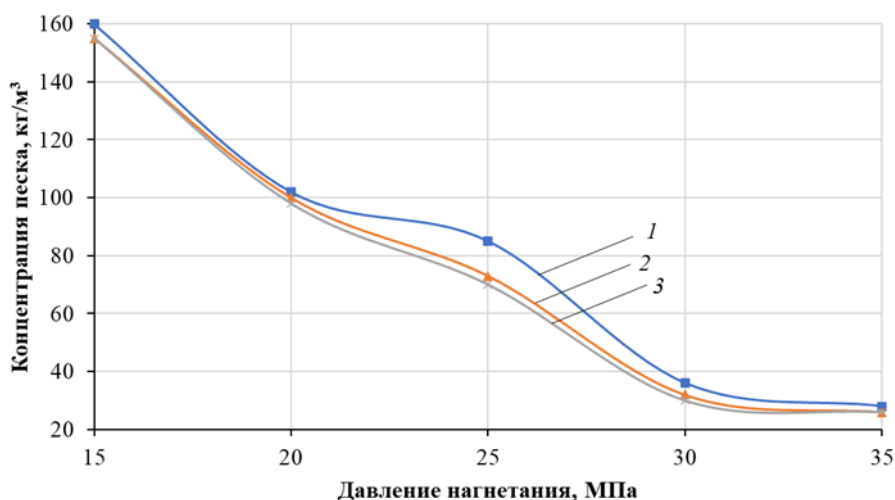
Для реализации такой доработки необходимо оптимизировать основные параметры установки пожаротушения *Limens* и определить оптимальные характеристики абразивного материала, которые будут влиять на эффективность гидроабразивной резки.

### Основная часть

Вода в гидроабразивной резке выполняет функцию ускоряющей среды, передающей кинетическую энергию абразивным частицам. Основное разрушение материала происходит за счет удара твердых частиц абразива, которые, обладая высокой плотностью, твердостью и скоростью, вызывают локальную деформацию и разрушение материала.

**Давление воды.** При повышении давления увеличивается скорость струи. За счет этого повышается кинетическая энергия абразивных частиц, соответственно, они глубже врезаются в материал. Однако излишне высокое давление ускоряет износ режущей головки и повышает стоимость технического обслуживания оборудования в целом.

При проведении исследований по определению оптимальных параметров гидроабразивной струи было установлено, что при сквозном прорезании заготовки из стали Ст.3 (толщиной 3 мм) оптимальное давление составляет 30 МПа [14]. Однако проведенные исследования показали, что резка осуществляется и при давлении 15 МПа (рис. 5).



1 – концентрация песка 100 кг/м³; 2 – концентрация песка 150 кг/м³; 3 – концентрация песка 200 кг/м³  
Рисунок 5. – Зависимость давления нагнетания от времени сквозного пробития

**Диаметр сопла.** В промышленных установках гидроабразивной резки диаметр сопла находится в диапазоне 0,1–0,5 мм. Чем меньше диаметр сопла, тем выше скорость струи, меньше расход воды и абразива. Широкое сопло обеспечит больший расход воды и абразива, однако скорость струи уменьшается (при одинаковых параметрах насоса). При выборе диаметра сопла в установке пожаротушения необходимо учитывать и тот фактор, что при слишком узком сопле малое количество воды может не обеспечить тушение пожара.

**Расход абразивного материала.** Расход абразивного материала в установках гидроабразивной резки составляет примерно 300 г в минуту. Однако он может изменяться в зависимости от толщины и типа разрезаемого материала. Небольшое количество подаваемого абразива увеличивает время резки. При увеличении расхода время резки уменьшается. Однако есть предел: большое количество абразива будет сильно тормозить струю, вплоть до невозможности осуществлять резку. Поэтому для эффективной резки и экономии абразива его количество необходимо выбирать с высокой точностью.

**Толщина прорезаемого материала.** Чем толще заготовка, тем дольше частицы должны сохранять энергию для разрушения материала. Соответственно, необходимо увеличивать скорость гидроабразивной струи для получения сквозного отверстия. Заранее известная толщина прорезаемого материала позволит точно подобрать параметры установки гидроабразивной резки. Однако при ликвидации чрезвычайных ситуаций толщина и состав прорезаемых материалов неизвестны.

**Свойства прорезаемого материала.** Чем выше прочность, плотность и твердость, тем больше сопротивление гидроабразивной струе и медленнее осуществляется резка. Хрупкие материалы, наоборот, разрушаются быстро. Вязкие материалы поглощают часть энергии струи, из-за чего время реза может увеличиться.



**Размер, форма и твердость зерна абразивного материала.** Время прорезания напрямую зависит от формы и размеров зерна абразива, его твердости, плотности и скорости в момент удара. Острые частицы образуют меньшую площадь контакта, что увеличивает давление в зоне удара. Круглые частицы с большей площадью контакта, в свою очередь, подходят для полировки материала. Крупные частицы имеют большую массу, следовательно, и большую кинетическую энергию, однако для разгона такой частицы необходимо увеличить и скорость струи воды. При недостаточной энергии струи ее фокусировка будет снижаться, что приведет к снижению эффективности резки. Мелкие частицы, в свою очередь, обладают меньшей кинетической энергией, однако фокусировка струи в большей степени остается неизменной. Чем выше твердость, тем глубже и агрессивнее частицы проникают в материал, соответственно, требуется меньше времени на прорезание при прочих равных. Плотность напрямую влияет на массу частицы, а значит, и на величину кинетической энергии. Но слишком тяжелые или твердые частицы (например, стальные, алмазные) могут быстро изнашивать сопло или плохо перемешиваться со струей.

При проведении анализа вида применяемого абразивного материала было установлено, что в установках гидроабразивной резки (промышленных и применяемых для тушения пожаров) и в установках пескоструйной обработки применяется следующий абразивный материал: гранатовый песок, электрокорунд, карбид кремния, кварцевый песок, песок, купершлак. Исследование формы, фракции и внешнего вида частиц, а также наличия примесей проводилось с помощью микроскопа цифрового Levenhuk D320L. Зернистость определялась по классификации FEPA (The Federation of the European Producers of Abrasives).

**Гранатовый песок** (рис. 6). Гранатами называют группу минералов, схожих по кристаллическому строению и физико-химическим свойствам. Гранат применяется в разных отраслях – строительной, промышленной, автомобильной, газовой, нефтедобывающей и др.

Песок для гидроабразивной резки очищен от посторонних примесей и выдержан в рамках одной фракции, чтобы исключить повреждение режущей головки и повысить производительность установки гидроабразивной резки. Гранатовый песок – эффективный инструмент в области пескоструйной и гидроабразивной обработки. Свое название он получил за сходство формы песчинок с зернами граната. Самый распространенный тип гранатового песка – альмандин. Химическая формула  $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ .

Отличается высокой твердостью, химической инертностью и устойчивостью к разрушению, что делает его безопасным и эффективным в эксплуатации. Используется в качестве абразива при гидроабразивной резке металла, камня, стекла, керамики и других материалов. Форма частиц – остроугольная. Наиболее часто используемая фракция для гидроабразивной резки – Mesh 80<sup>3</sup>.

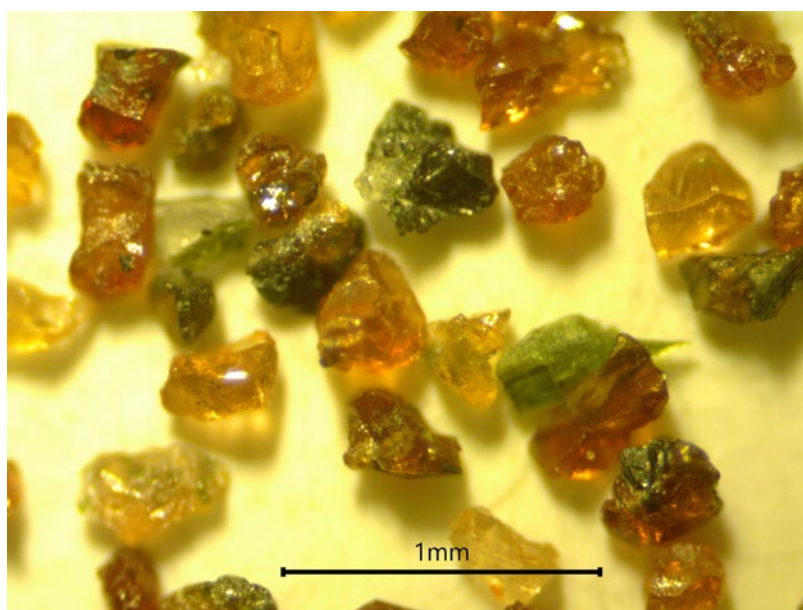


Рисунок 6. – Гранатовый песок (Mesh 80)

<sup>3</sup> Применение различных фракций гранатового песка // Р-ГАРНЕТ: [сайт]. – СПб.: АО «Р-Гарнет», 2019. – URL: <https://r-garnet.ru/articles/primenenie-razlichnykh-fraktsiy-granatovogo-peska/> (дата обращения: 29.09.2025).

**Электрокорунд** (рис. 7). Искусственно созданный кристаллический оксид алюминия (глинозем), получаемый путем переплавки глиноземного сырья в дуговых печах. Представляет собой сверхтвердый абразивный материал. Химическая формула  $Al_2O_3$ . Форма частиц – остроугольная. Используется для изготовления шлифовальных инструментов и для обработки различных поверхностей, включая металлы, камень и стекло<sup>4</sup>.

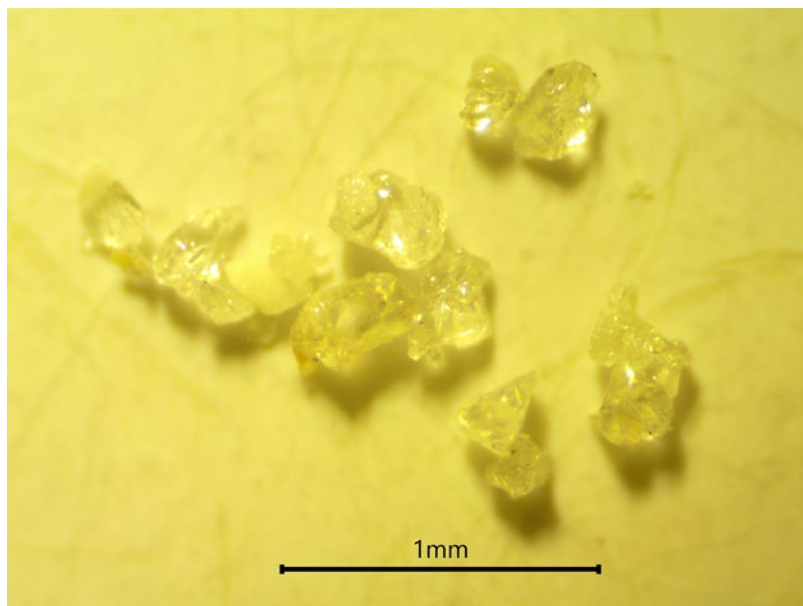


Рисунок 7. – Электрокорунд белый

**Карбид кремния** (рис. 8). Бинарное неорганическое химическое соединение кремния с углеродом. Химическая формула  $SiC$ . В природе встречается в виде чрезвычайно редкого минерала – муассанита. Искусственным путем порошок карбида кремния получают в печи Ачесона. Карбид кремния – это керамический материал с очень высокой твердостью.

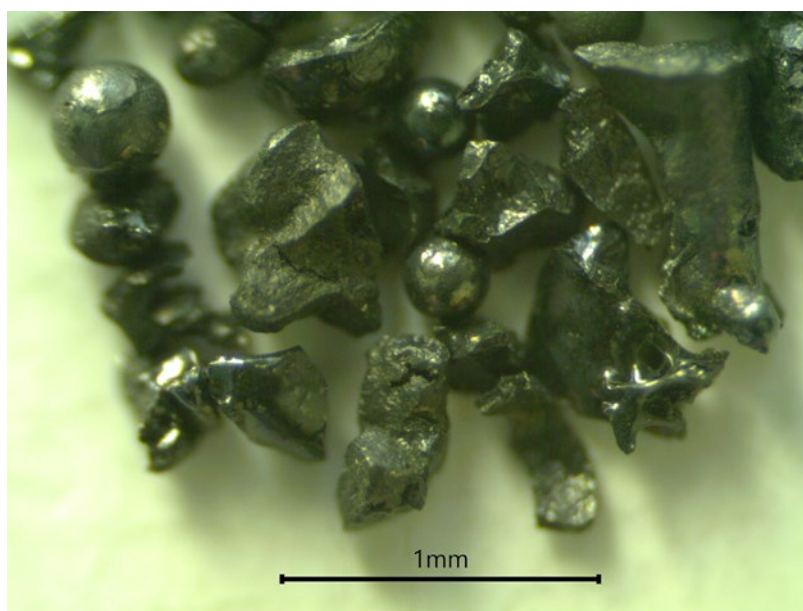


Рисунок 8. – Карбид кремния (зернистость F22–F150)

Материал обладает высокой износостойкостью и химической инертностью ко всем щелочам и кислотам. Форма частиц остроугольная. Эти свойства делают карбид кремния превосходным абразивным и керамическим материалом для использования в экстремальных условиях

<sup>4</sup> Виды электрокорунда // prom.by: [сайт]. – Минск, ООО «Промбай Абразив», 2019. – URL: <https://prom.by/informacziya/spravochnik/vidyi-elektrokorunda/> (дата обращения: 29.09.2025).

эксплуатации. Карбид кремния более высокой твердости и режущей способности применяется для производства абразивного инструмента и для свободного шлифования<sup>5</sup>.

**Кварцевый песок** (рис. 9). Твердый абразивный материал природного происхождения, получаемый открытой добычей из карьеров и обводненных речных русел или с помощью дробления кварца. Химическая формула  $\text{SiO}_2$ . Это минерал, количество которого в природе является преобладающим. Форма частиц – округлая. Средняя зернистость кварцевого песка (F40–F60) востребована для фильтровальных целей, пескоструйных работ, очищения жидкостей, изготовления смесей строительного назначения, растворов из бетона, создания наливных полов.

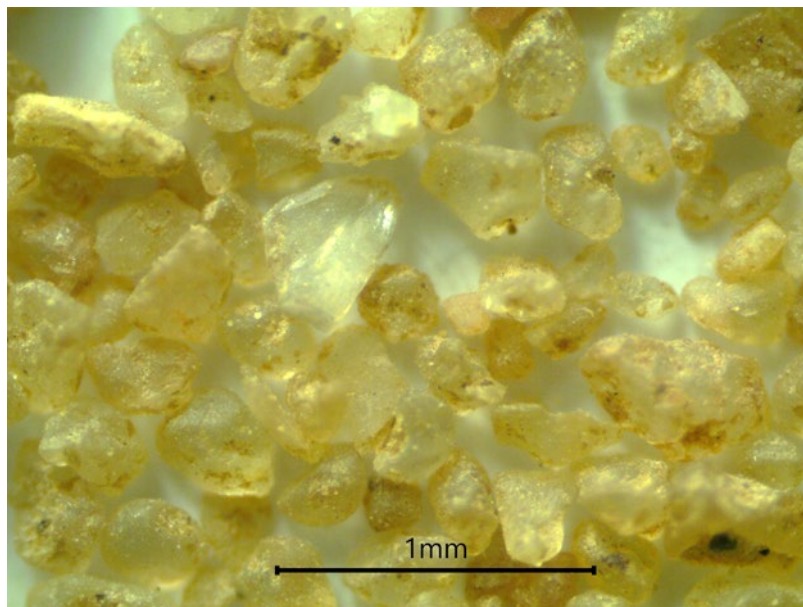


Рисунок 9. – Кварцевый песок (зернистость F36–F150)

**Купершлак** (рис. 10). Гранулированный порошок, применяемый для пескоструйной обработки поверхностей и изделий из металла, камня, кирпича и бетона. Его химический состав колеблется в зависимости от конкретного производства, но в основном включает оксиды железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ), кварцевый песок ( $\text{SiO}_2$ ), а также в меньших количествах оксиды алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), магния ( $\text{MgO}$ ) и кальция ( $\text{CaO}$ ). Форма частиц – остроугольная.

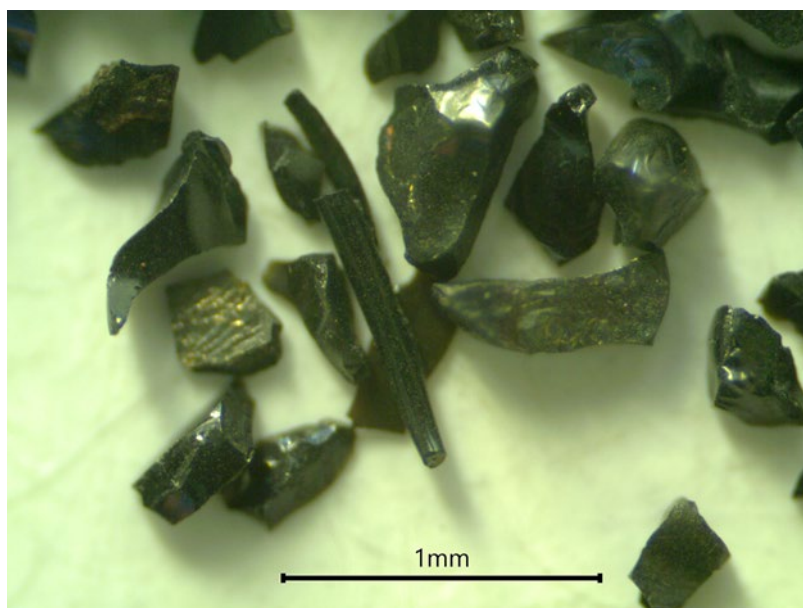


Рисунок 10. – Купершлак (зернистость F22–F150)

<sup>5</sup> Карбид кремния // [vabz.ru](https://vabz.ru): [сайт]. – Волжский, ОАО «Волжский абразивный завод», 1961–2025. – URL: <https://vabz.ru/production/silicon-carbide/podrobnее-o-karbide-kremniya/> (дата обращения: 29.09.2025).



Изготавливается из отходов медеплавильного производства и является неметаллическим синтетическим абразивным средством минерального происхождения. В результате дробления, просева, а затем промывания и сушки на выходе получают гранулы высокой динамической прочности. В купершлаке незначительное количество пыли и практически полностью отсутствуют водорастворимые соли и иные примеси.

**Песок.** Основное отличие кварцевого песка от карьерного или речного – высокая степень чистоты, однородность состава и отсутствие примесей, таких как глина и органические вещества. Речной песок, например, содержит посторонние включения (рис. 11), что снижает его качество и сужает сферу применения. Форма частиц – округлая.



Рисунок 11. – Речной песок (зернистость F22–F150)

**Гранитная крошка** (рис. 12). Отсев из материалов дробления горных пород – это мелкая фракция (обычно до 10 мм) каменного материала, получаемая как побочный продукт при дроблении и сортировке горных пород (щебня). У гранита нет единой химической формулы, т.к. это горная порода, состоящая из смеси минералов, в основном кварца ( $\text{SiO}_2$ ), полевых шпатов (например,  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ,  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ,  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) и слюд (биотит, мусковит). Он используется как экономически выгодная альтернатива природному песку в строительстве, производстве бетона, а также в ландшафтном дизайне для отсыпки дорожек и декоративных целей.

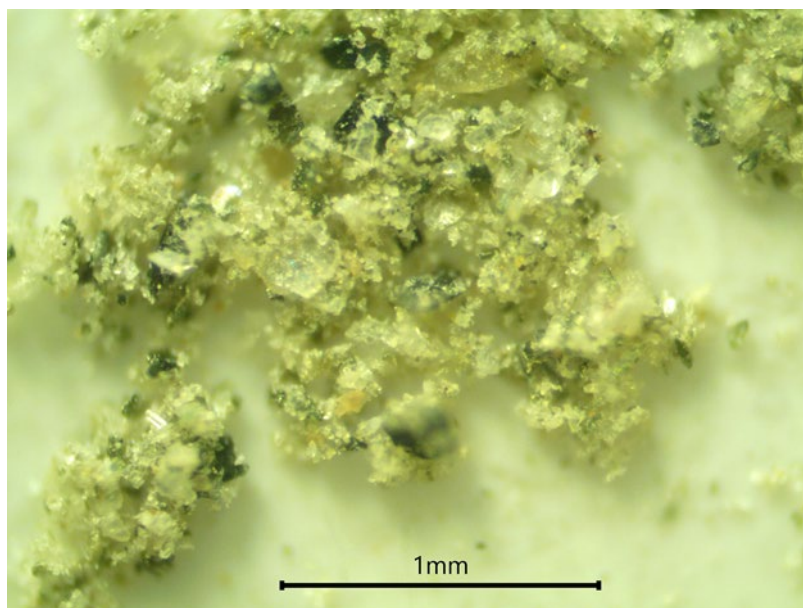


Рисунок 12. – Гранитная крошка



На территории Беларуси располагается Республиканское унитарное производственное предприятие «Гранит», которое является крупнейшим предприятием в Европе по добыче и переработке плотных горных пород. При переработке щебня образуется фракционированный отсев (зернистость F60 и выше, в преобладающем большинстве частицы мелкие (зернистость F100) и острые), предназначенный для применения в качестве мелкого заполнителя для бетонов, заполнителя для строительных растворов и для дорожного строительства. По своим характеристикам данный отсев возможно применять и в качестве абразивного материала в гидроабразивной резке.

В таблице 2 приведены основные параметры абразивных материалов.

**Таблица 2. – Основные параметры абразивного материала**

Вид абразива	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Твердость по Моосу	Возможность повторного применения	Ориентировочная стоимость (на октябрь 2025 г.), бел. руб. / кг
Гранатовый песок	4100	7–7,5	да	2,69
Электрокорунд	3950	9	да	4,80
Карбид кремния	3200	9,1–9,5	да	7,62
Кварцевый песок	2650	7	нет	0,60
Купершлак	3900	6,5	да	0,72
Песок	2700	до 7 <sup>1</sup>	нет	бесплатно <sup>2</sup>
Гранитная крошка	2700	6–7	нет	бесплатно <sup>2</sup>

*Примечание.* <sup>1</sup> Твердость у обычного песка зависит от примесей, содержащихся в нем.

<sup>2</sup> Без учета доставки.

В промышленных установках гидроабразивной резки существует возможность собрать использованный абразивный материал для его повторного применения. Однако при ликвидации чрезвычайных ситуаций такой возможности нет. Это необходимо учитывать при выборе абразивного материала, его применении в установках тушения пожаров с возможностью гидроабразивной резки.

### **Заключение**

Технология гидроабразивной резки демонстрирует значительный потенциал применения для тушения скрытых и труднодоступных очагов пожара. Теоретический анализ подтверждает принципиальную возможность и практическую целесообразность внедрения данной технологии в практическую деятельность спасательных подразделений для повышения оперативности и безопасности работ по тушению сложных пожаров.

Установлено, что находящиеся на вооружении МЧС Беларуси установки пожаротушения Limens, обладая рабочим давлением 15 МПа, после соответствующей модернизации ствола высокого давления могут быть адаптированы для осуществления гидроабразивной резки. Предлагаемое конструктивное решение (подача абразивного материала непосредственно в ствол высокого давления) позволяет упростить систему, повысить долговечность рукава высокого давления.

Эффективность гидроабразивной резки обеспечивается за счет ее оптимальных параметров (скорость гидроабразивной струи, геометрические и физические параметры абразивного материала), при которых достигается оптимальное время сквозного пробития материала. В результате аналитического обзора определено, что такие свойства, как твердость, плотность, форма и размер частиц абразивного материала напрямую влияют на время пробития преграды. С экономической и практической точек зрения перспективным представляется использование гранитной крошки предприятия «Гранит», которая по фракционным и прочностным характеристикам может являться конкурентоспособной альтернативой традиционным абразивам.

Выбор оптимального размера и расхода абразивных частиц зависит от расхода и давления воды, выходящей из сопла. Уменьшение расхода и размера абразивных частиц увеличит время гидроабразивной резки. При увеличении расхода и размера абразивных частиц время гидроабразивной резки будет сокращаться. Однако существует предел для увеличения расхода и размера абразивных частиц, при достижении которого энергии воды, выходящей из сопла, будет недостаточно для придания абразивным частицам требуемой скорости, вследствие чего скорость гидроабразивной резки будет уменьшаться, стремясь к нулю. Для определения предела, при котором время гидроабразивной резки будет минимальным, необходимо установить зависимость между давлением и расходом воды, размером и расходом

абразивного материала от времени гидроабразивной резки (оптимальные режимы резания). Определение этих параметров, а также вида оптимального абразива для различных материалов (бетона, кирпича, металла, древесины) требует проведения дополнительных экспериментальных исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карпаченко, К.А. Гидроабразивная резка: принцип работы, область применения и преимущества технологии / К.А. Карпаченко // Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. – 2020. – Т. 28, № 3 (17). – С. 100–105. – EDN: VDUVZX.
2. Шпилев, В.В. Моделирование двухкомпонентной струи жидкости при гидроабразивной резке / В.В. Шпилев // Современные научные исследования: теория и практика: материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, София, Болгария, 21 окт. 2017 г. – Нефтекамск: Мир науки, 2017. – С. 122–128. – EDN: XWITNC.
3. Иванов, Ю.Г. Выбор оптимальной скорости резки для раскроя плиты Д16 толщиной 120 мм при помощи гидроабразивной резки / Ю.Г. Иванов, М.В. Яковицкая // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 13–19 ноября 2017 г. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2017. – Часть 2. – С. 226–228. – EDN: XLKSXT.
4. Патент RU 2508189 C1, МПК B26F 3/00 (2006.01), B23D 31/00 (2006.01). Установка гидроабразивной резки: № 2012145204/02: заявлено 25.10.2012: опубл. 27.02.2014 / Ю.П. Астахов, А.Н. Королев, М.Б. Жихарев, С.М. Волков; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение “Техномаш”». – EDN: ZFMHHV.
5. Гарагуля, Д.В. Преимущества гидроабразивной резки при раскрое листового металла / Д.В. Гарагуля // Морской вестник. – 2017. – № 4 (64). – С. 37–38. – EDN: ZUQMKL.
6. Алешков, М.В. Определение рабочих параметров установок пожаротушения с возможностями гидроабразивной резки, применяемых на объектах энергетики / М.В. Алешков, И.А. Гусев // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 10. – С. 69–76. – DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.69-76. – EDN: ZUFYCN.
7. Тамаркин, М.А. Технологические особенности гидроабразивной резки листовых композиционных материалов / М.А. Тамаркин, Э.Э. Тищенко, А.В. Верченко, А.Г. Коханюк // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации. – 2019. – Т. 2. – С. 191–194. – EDN: ZULBMO.
8. Николаев, П.А. Комплексный анализ процесса гидроабразивной резки / П.А. Николаев // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО: материалы XLV Научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО: в 5 т., Санкт-Петербург, 2–6 фев. 2016 г. – СПб.: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2016. – Т. 4. – С. 48–50. – EDN: ZOPAOB.
9. Вавилов, Д.В. Гидроабразивная резка металла / Д.В. Вавилов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 1–30 мая 2015 г. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 1255–1257. – EDN: USQGJF.
10. Putz, M. Suspension technology for abrasive waterjet (AWJ) cutting of ceramics / M. Putz, M. Dix, F. Morczinek, M. Dittrich // Procedia CIRP. – 2018. – Vol. 77. – P. 367–370. – DOI: 10.1016/j.procir.2018.09.037.
11. Karmiris-Obratański, P. Experimental study on the correlation of cutting head vibrations and kerf characteristics during abrasive waterjet cutting of titanium alloy / P. Karmiris-Obratański, N.E. Karkalos, R. Kudelski, E.L. Papazoglou, A.P. Markopoulos // Procedia CIRP. – 2021. – Vol. 101. – P. 226–229. – DOI: 10.1016/j.procir.2020.11.011.
12. Dadgar, M. Reduction of taper angle and jet trailback in waterjet cutting of complex geometries by a revised model of the process control / M. Dadgar, T. Schreiner, M. Schuler, T. Herrig, T. Bergs // Procedia CIRP. – 2023. – Vol. 117. – P. 20–25. – DOI: 10.1016/j.procir.2023.03.005.
13. Василевич, Д.В. Перспективные средства тушения пожаров с применением установок подачи огнетушащих веществ высокого давления / Д.В. Василевич, В.В. Лахвич, Д.С. Миканович // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 3. – С. 283–290. – DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.283. – EDN: YNKICX.
14. Добровольский, И.В. Выбор оптимальных режимов гидроабразивного резания металла / И.В. Добровольский, М.М. Лях // Экспозиция Нефть Газ. – 2016. – № 4 (50). – С. 58–60. – EDN: VXCMVP.

**Применение гидроабразивной резки при ликвидации чрезвычайных ситуаций**  
**The use of waterjet cutting in emergency response**

***Василевич Дмитрий Владимирович***

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра пожарной  
аварийно-спасательной техники,  
старший преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: dzmitry112vasilevich@gmail.com

SPIN-код: 4807-8940

***Dmitriy V. Vasilevich***

PhD in Technical Sciences

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Fire Rescue Equipment,  
Senior Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: dzmitry112vasilevich@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1976-0344

***Гуськов Сергей Николаевич***

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра пожарной  
аварийно-спасательной техники,  
преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: guskov.serezha0910@gmail.com

***Sergey N. Gus'kov***

PhD in Technical Sciences

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Fire Rescue Equipment,  
Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: guskov.serezha0910@gmail.com

ORCID: 0009-0001-1131-1950



## THE USE OF WATERJET CUTTING IN EMERGENCY RESPONSE

Vasilevich D.V., Gus'kov S.N.

*Purpose.* Study of the main parameters of the waterjet cutting process that affect its efficiency.

*Methods.* The work uses empirical research methods (determination of the sizes and characteristic shapes of abrasive material particles), a method of theoretical analysis of literary sources in determining the main parameters of the waterjet cutting process that affect its efficiency.

*Findings.* Conceptual approaches to improving the efficiency of waterjet cutting by varying process parameters (water pressure, nozzle diameter, thickness and nature of the workpiece, density, hardness, fraction, and flow rate of the abrasive material) are identified. An analysis of the types and parameters of abrasive material used in waterjet cutting is conducted.

*Application field of research.* The obtained results can be used to improve the efficiency of waterjet cutting (for fire extinguishing and industrial applications) and sandblasting systems.

*Keywords:* waterjet cutting, abrasive material, waterjet cutting machine.

(The date of submitting: October 8, 2025)

### REFERENCES

1. Karpachenko K.A. Gidroabrazivnaya rezka: printsip raboty, oblast' primeneniya i preimushchestva tekhnologii [Waterjet cutting: principle of operation, scope and advantages of technology]. *Innovative Technologies in Machine-Building, Education and the Economy*, 2020. Vol. 28, No. 3 (17). Pp. 100–105. (rus). EDN: VDUVZX.
2. Shpilev V.V. Modelirovanie dvukhkompontentnoy strui zhidkosti pri gidroabrazivnoy rezke [Modeling of a two-component fluid jet in waterjet cutting]. *Proc. of Intern. (correspondence) scientific-practical conf. «Sovremennye nauchnye issledovaniya: teoriya i praktika»*, Sofia, Bulgaria, Oktober 21, 2017. Neftekamsk: Mir nauki, 2017. Pp. 122–128. (rus). EDN: XWITNC.
3. Ivanov Yu.G., Yakovitskaya M.V. Vybora optimal'noy skorosti rezki dlya raskroya plity D16 tolshchiny 120 mm pri pomoshchi gidroabrazivnoy rezki [Selection of the optimal cutting speed for cutting D16 plate with a thickness of 120 mm using waterjet cutting]. *Proc. of Scientific conference with international participation «Nedelya nauki SPbPU»*, Saint Petersburg, November 13–19, 2017. Saint Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2017. Part 2. Pp. 226–228. (rus). EDN: XLKSXT.
4. Astakhov Yu.P., Korolev A.N., Zhikharev M.B., Volkov S.M. *Ustanovka gidroabrazivnoy rezki* [Waterjet cutting installation]. Patent RU 2508189 C1. Published on February 27, 2014. Patent holder: Scientific and Production Association «Tekhnomash». (rus). EDN: ZFMHHV.
5. Garagulya D.V. Preimushchestva gidroabrazivnoy rezki pri raskroe listovogo metalla [Advantages of waterjet cutting when cutting sheet metal]. *Morskoy Vestnik*, 2017. No. 4 (64). Pp. 37–38. (rus). EDN: ZUQMKL.
6. Aleshkov M.V., Gusev I.A. Opredelenie rabochikh parametrov ustanovok pozharotusheniya s vozmozhnostyami gidroabrazivnoy rezki, primenyaemykh na ob"ektakh energetiki [Determination of working parameters of the installations of fire extinguishing with opportunities of hydroabrasive cutting applied on power objects]. *Fire and Explosion Safety*, 2017. Vol. 26, No. 10. Pp. 69–76. (rus). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.69-76. EDN: ZUFYCN.
7. Tamarkin M.A., Tishchenko E.E., Verchenko A.V., Kokhanyuk A.G. Tekhnologicheskie osobennosti gidroabrazivnoy rezki listovykh kompozitsionnykh materialov [Technological features of waterjet cutting of sheet composite materials]. *Aerokosmicheskaya tekhnika, vysokie tekhnologii i innovatsii*, 2019. Vol. 2. Pp. 191–194. (rus). EDN: ZULBMO.
8. Nikolaev P.A. Kompleksnyy analiz protsessa gidroabrazivnoy rezki [Comprehensive analysis of the waterjet cutting process]. *Proc. of the XLV Scientific and educational-methodological conference of ITMO University «Almanac of scientific works of young scientists of ITMO University»*: in 5 vol., St. Petersburg, February 2–6, 2016. St. Petersburg: Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2016. Vol. 4. Pp. 48–50. (rus). EDN: ZOPA0B.
9. Vavilov D.V. Gidroabrazivnaya rezka metalla [Waterjet cutting of metal]. *Proc. of Intern. scientific-technical conference of young scientists of the BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, May 1–30, 2015*. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2015. Pp. 1255–1257. (rus). EDN: USQGJF.
10. Putz M., Dix M., Morczinek F., Dittrich M. Suspension technology for abrasive waterjet (AWJ) cutting of ceramics. *Procedia CIRP*, 2018. Vol. 77. Pp. 367–370. DOI: 10.1016/j.procir.2018.09.037.

11. Karmiris-Obratański P., Karkalos N.E., Kudelski R., Papazoglou E.L., Markopoulos A.P. Experimental study on the correlation of cutting head vibrations and kerf characteristics during abrasive waterjet cutting of titanium alloy. *Procedia CIRP*, 2021. Vol. 101. Pp. 226–229. DOI: 10.1016/j.procir.2020.11.011.
12. Dadgar M., Schreiner T., Schuler M., Herrig T., Bergs T. Reduction of taper angle and jet trailback in waterjet cutting of complex geometries by a revised model of the process control. *Procedia CIRP*, 2023. Vol. 117. Pp. 20–25. DOI: 10.1016/j.procir.2023.03.005.
13. Vasilevich D.V., Lakhvich V.V., Mikanovich D.S. Perspektivnye sredstva tusheniya pozharov s primeneniem ustanovok podachi ognitushashchikh veshchestv vysokogo davleniya [Promising means of fire extinguishing agents using high-pressure installations]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 3. Pp. 283–290. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.283. EDN: YNKICX.
14. Dobrovol'skiy I.V., Lyakh M.M. Vybory optimal'nykh rezhimov gidroabrazivnogo rezanii metalla [Selection of optimal modes for waterjet metal cutting]. *Ekspozitsiya Neft' Gaz*, 2016. No. 4 (50). Pp. 58–60. (rus). EDN: VXCMVP.

Copyright © 2025 Vasilevich D.V., Gus'kov S.N.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.