

## КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ РАЗРУШЕНИЯ НЕГАБАРИТА ПРИ ВЕДЕНИИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

*Иванов С.Л., Шешукова Е.И., Недашковская Е.С.*  
*Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** открытые горные работы, негабарит, разрушение негабарита, классификация способов разрушения негабарита, экскаватор, техническое обслуживание и ремонт.

**Аннотация.** При ведении горных работ на карьерах неизбежно образование негабаритных кусков породы, являющихся препятствием для нормальной работы горной техники. Для борьбы с негабаритом применяют различные способы его разрушения (дробления). В статье рассмотрены существующие способы, а также создана классификация средств разрушения негабарита при ведении открытых горных работ по виду воздействия, природе разрушения, природе воздействия и приложенным нагрузкам. Наиболее распространенными способами разрушения негабарита являются применение взрывчатых веществ и гидравлических или пневматических молотов. Анализ существующих способов и средств, говорит о том, что эффективная борьба с негабаритами, при прочих условиях, ведет к повышению готовности горной техники и в частности карьерных экскаваторов и снижению работ по техническому обслуживанию и ремонту.

## CLASSIFICATION OF MEANS OF DESTRUCTION OF OVERSIZE DURING OPEN-PIT MINING

*Ivanov S.L., Sheshukova E.I., Nedashkovskaya E.S.*  
*Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg*

**Keywords:** open-pit mining, oversize, oversize destruction, classification of oversize destruction methods, excavator, maintenance and repair.

**Abstract.** During mining operations in open pits, oversized pieces of rock are inevitably formed, which are an obstacle to the normal operation of mining equipment. To deal with the oversized pieces, various methods of its destruction (crushing) are used. This article discusses existing methods, as well as a classification of means of destruction when conducting open pit mining by the type of impact, the nature of the destruction and the applied loads. The most common methods of destruction oversize are the use of explosives and hydraulic or pneumatic hammers. The analysis of existing methods and means, says that the effective fight against oversize, under other conditions, leads to increase the availability of mining equipment and in particular the mine excavators and reduce maintenance and repair work.

### Введение

При ведении горных работ на карьерах неизбежно образование негабаритных кусков породы, являющихся препятствием для нормальной работы горной техники, как при экскавации горной массы, так и последующей ее транспортирования и переработки. При этом применение штатной горной техники при ведении горных работ для перемещения негабаритных кусков недопустимо, так как приводит к преждевременным поломкам и отказам горных машин.

Для борьбы с негабаритом применяют специальную технику и приемы: разрушая его непосредственно на месте, либо перемещая на специальный склад для последующего дробления.

Дробление, как процесс, производят посредством дробилок. Различают щековые, конусные, валковые, молотковые и роторные дробилки, при этом имеют свои ограничения по размеру кусков. В технологическом процессе дезинтеграции попадание в дробилку негабаритного куска приводит к приостановке функционирования цепи аппаратов горного производства, а также может привести к поломке оборудования.

### Материалы и методы исследования

Примером применения перемещаемых дробилок в непосредственной близости к забою

является устройство по а.с. №1273157, представляющее собой перевернутую роторную дробилку. Она имеет чашеобразный корпус, которым накрывают негабарит и рабочими элементами дезинтеграционного ротора производят разрушение негабаритного куска. Преимуществом данного устройства является возможность перемещения его в карьер для дробления негабарита на месте проведения горных работ.

Как отмечено в [1], перемещение негабаритных кусков приводит к интенсификации выхода из строя штатной погрузочно-разгрузочной и транспортной техники вследствие повышенных нагрузок, снижающих ее ресурс.

На основе анализа материалов разрушение негабаритных кусков горной породы осуществляют динамическим, динамостатическим или статическим воздействием.

По природе разрушения влияние на негабарит при его разрушении возможно:

- истиранием (шелушением) – статическим или динамостатическим измельчением горной породы с поверхности с образованием мелкодисперсных частиц;
- раздавливанием (дроблением) – статическим, динамостатическим или динамическим приложением усилия к поверхности негабарита, вследствие которого кусок породы разрушается с образованием большого количества мелких элементов;
- раскалыванием – статическим или динамостатическим воздействием с образованием нескольких крупных кусков горной породы.

Для разрушения шелушением в основном применяют реактивную струю нагретых газов огнеструйных горелок термического разрушения горных пород (а.с. №964099), однако таким способом возможно разрушение лишь пород, склонных к растрескиванию.

### **Результаты**

В зависимости от природы воздействия (рис. 1) различают: механическое, световое, химическое, гравитационное, гидравлическое (пневматическое), акустическое, электрическое, термическое воздействие и разрушение взрывом. Кратко рассмотрим означенные виды.

Разрушение взрывом следует отнести к классическим подходам разрушения негабарита, его осуществляют применением взрывчатых веществ (ВВ). По воздействию взрывной волны на поверхность негабарита различают фронтальное и узконаправленное (кумулятивное) воздействия. При этом заряд ВВ может быть накладным или шпуровым. Применение ВВ связано с обязательным отводом техники и людей от места взрывных работ, что влечет за собой простой оборудования и, как следствие, соответствующие сопутствующие потери. Наибольшее распространение для борьбы с негабаритами получили: аммонит 6ЖВ, прессованный тротил; кумулятивные заряды ЗКП-1000-ОР, ЗКП-2000-ОР, ЗКП-4000-ОР [2].

Сокращение времени простоев и совмещение взрывных работ с функционированием горного оборудования возможно применением мобильной механизированной взрывкамеры (локализатора) [3]. Взрывная камера размещается над негабаритом, накрывая его, создавая замкнутое пространство. После чего в камере производится взрыв ВВ, что не требует отвода техники. Из-за образования квазирезонансного эффекта внутри камеры происходит также усиление воздействия ВВ, а, следовательно, возможно использование уменьшенного заряда.

В качестве альтернативы взрывчатым веществам применяют невзрывные разрушающие смеси (НРС). НРС представляет собой порошки, которые закладывают в шпуры и, при взаимодействии с водой (или другим активатором), последние увеличиваясь в объеме, способствуют раскалыванию негабарита. Несомненным достоинством такого подхода является безопасность процесса раскалывания, отсутствие разлета кусков горной породы и выброса ядовитых веществ в атмосферу. Наибольшее распространение получили следующие НРС: S-mite, НРВ-80, НРС-1, по патенту №2251619 [4] и др.

Аналогичный эффект имеет место быть при увеличении объема рабочего вещества (жидкости) путем его замораживания (а.с. №1641996) внутри шпуров. В качестве рабочего вещества можно применять как воду, так и смесь с органическими растворителями, которые позволяют замораживать флюид при положительных температурах.

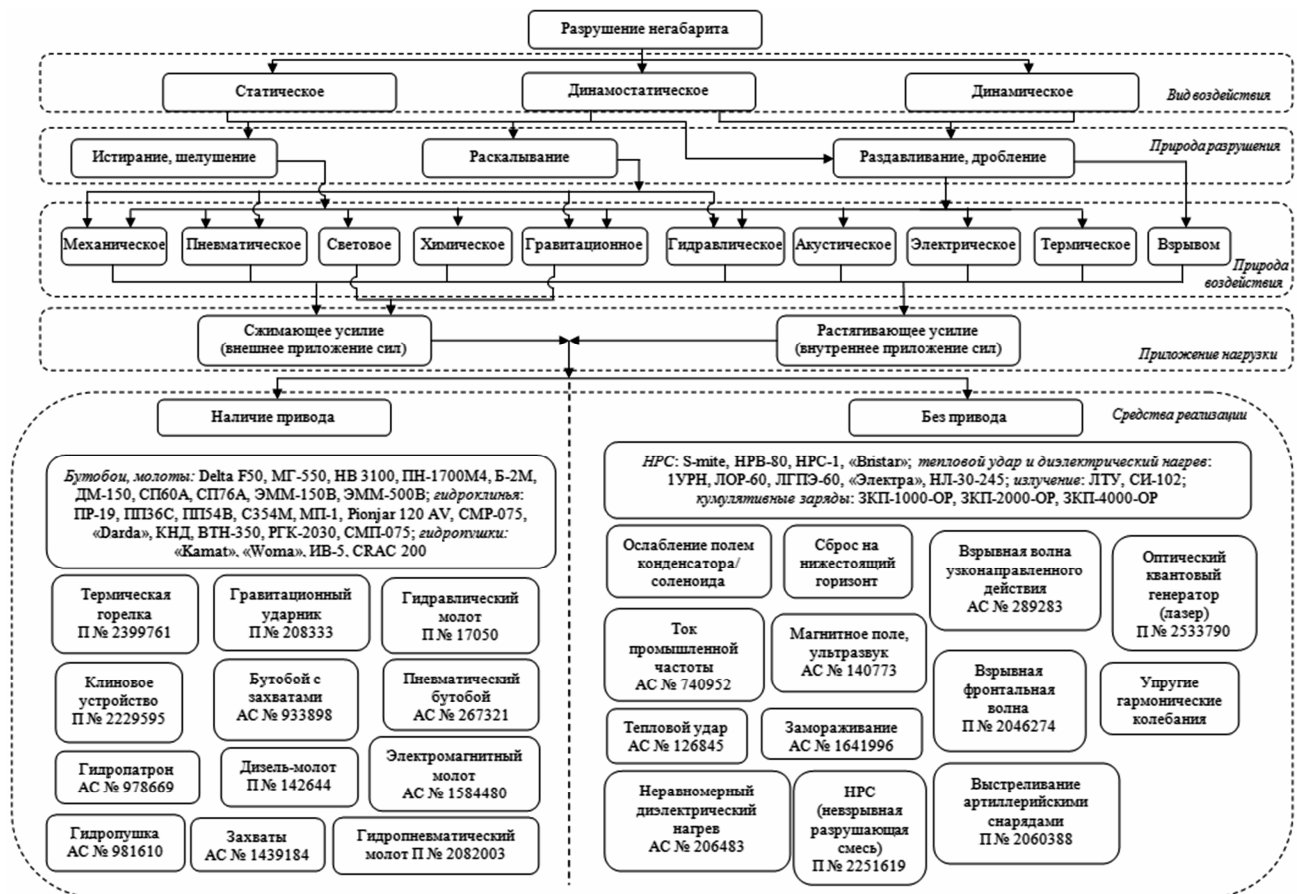


Рис. 1. Классификация способов разрушения негабарита

Для разрушения негабарита механическим воздействием применяют различное оборудование и устройства.

Основную долю динамического оборудования для разрушения негабарита составляют молоты (бутобои) с различным типом привода [5]. Их преимуществом являются: отсутствие необходимости отвода техники при дроблении, применение последних в качестве сменного навесного оборудования, устанавливаемого, например, на стреле экскаватора, что сокращает возможное время простоя [2].

Широкое применение в горной промышленности нашли:

- гидравлические молоты Delta F50, МГ-550, НВ 3100 [4], (Патент №17050);
- пневматические бутобои ПН-1700М4, Б-2М [4], (а.с. №267321);
- гидропневматические ударники ГПМ-120, ГПМ-120А, ГПМ-200.ю ГПМ-300, СП-71 КФ ВНИИСДМ [6], например а.с. 340447, имеющие в конструкции гидропневмоаккумулятор;
- механический гравитационный ударник (Патент №208333): энергия удара формируется посредством гравитационных сил; данный вид ударника имеет множество разновидностей и модификаций;
- электромагнитные молоты ЭММ-150В, ЭММ-500В [4] или (а.с. №1584480);
- дизель-молоты ДМ-150, СП60А, СП76А [4] или (Патент №142644).

Разновидностью механического гравитационного ударника является изобретение по а.с. №697651 представляющее машину со штангой и молотом в качестве ударного механизма. Ударник поднимается с помощью трособлочной системы. Особенностью данного изобретения является придание молоту дополнительной кинетической энергии, что увеличивает энергию удара в несколько раз.

Известны модификации ударников, включающие в своей конструкции захваты, применение которых позволяет увеличить эффективность раскалывания путем фиксации положения негабарита по отношению к последнему. Так кусок породы фиксируется с

боковых сторон двумя захватами (а.с. №1338891) или производится установка негабарита на нижнем захвате и фиксация ударником сверху (а.с. №1245702).

Применение захватов как отдельного инструмента для разрушения негабаритных кусков горной породы также возможно. Например, конструкция по а.с. №1439184 может использоваться как для транспортировки негабаритов, так и для их дробления. Раскол куска породы происходит из-за создаваемого внешнего давления инденторами-захватами на его поверхности.

В качестве механического способа разрушения негабарита можно указать Патент №2060388, заключающийся в разрушении негабарита снарядом.

Еще одним способом борьбы с негабаритными кусками является резание, например, алмазными канатными пилами, например KMT-25 [7], DSW 3018-E [8]. Также существует карьерная канатная установка TSY-55G SKYSTONE [9], применение которой позволяет производить открытую добычу полезных ископаемых с минимальным выходом негабарита.

Тепловое разрушение негабаритных горных пород может также производиться с помощью высококонцентрированного светового излучения, создаваемого оптическими квантовыми генераторами – лазерами [2]. Разрушение негабарита лазером напоминает процесс резания. Известны такие устройства излучения: ЛГУ, СИ-102 для разрушения негабарита [4] и роботизированный комплекс лазерного воздействия (Патент №2533790).

Широко применяют для разрушения негабарита клиновые устройства, в частности, самым распространенным из них являются гидравлические клинья СМР-075, «Darda», КНД, ВТН-350, РГК-2030, СМП-075 [4] или (а.с. №1167327). Гидроклин устанавливается в заранее пробуренный шпур и расклинивает его, что приводит к расколу куска.

Для более эффективного разрушения негабаритного куска горной породы в Патенте №2131032 предложено заполнять шпур сначала слоем неньютоновской жидкости, затем слоем сыпучего материала, в который впоследствии внедряется клин. Эффективность разрушения таким способом заключается в увеличении размеров разрыва от каждого из шпуров.

Известны изобретения, которые производят разрушение горной породы зарядом воды или другой жидкости. В зависимости от конструктивных особенностей и поверхностного влияния на негабарит такие средства можно разделить на гидропушки и гидропатроны.

Гидропушки «Kamat», «Woma», ИВ-5 [4], CRAC 200 или устройство по а.с. №981610 направляет на горную породу струю или импульсный заряд жидкости, которые взаимодействуют с породой и разрушают негабарит либо из шпура, либо с поверхности.

Несколько другой подход предполагает применение гидропатронов (а.с. №978669), он представляет собой заряд (ВВ и инициатор), размещенный в заполненном жидкостью шпуре. После срабатывания заряда взрывная волна, придавая жидкости мгновенно большую кинетическую энергию, заставляет ее заполнять имеющиеся естественные трещины, расширяя их, и тем самым приводит к дезинтеграции куска.

Похожим на гидропушку по воздействию на поверхность негабарита потоком энергии является термическая горелка по Патенту №2399761, которая с помощью теплового потока, локально нагревая горную породу, ведет к разрушению куска вследствие возникающих в ней термоупругих напряжений, превышающих предел прочности.

Разрушение негабаритов горной породы воздействием электромагнитной энергии производится пропусканием через породу электрического тока (а.с. №740952) либо высокочастотного диэлектрического нагрева (а.с. №206483), либо теплового удара (а.с. №126845), либо образованием разогревающегося канала электрического тока, вызывающего термоупругие напряжения [10]. Суть последних двух способов заключается в локальном расширении горной породы и последующем ее разрушении термическим ядром. Эти работы возможно производить установками 1УРН, ЛОР-60, ЛГПЭ-60, «Электра», НЛ-30-245 [4].

Известен способ разрушения негабаритов железных руд (а.с. №140773), заключающийся в комбинированном излучении породы сначала ультразвуком, который увеличивает магнитную восприимчивость, и затем высокочастотным магнитным полем.

Данный процесс приводит к образованиям тепловых напряжений, которые приводят к разрушению породы.

Первая машина, встречающая негабарит на месте проведения горных работ – экскаватор. Перемещение негабаритного куска ковшем экскаватора недопустимо, так как снижает ресурс машины, приводит к возникновению аварийных ситуаций и необходимости проведения незапланированного ремонта.

Распространено применение гидравлических молотов в качестве сменного рабочего органа на стреле гидравлического экскаватора [11]. Однако стоит рассмотреть возможность конструкции экскаватора, имеющего одновременно ковш для проведения выемочно-погрузочных работ и дополнительное устройство для дробления негабарита с целью сокращения времени простоя.

### **Выводы**

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. На данный момент основными способами борьбы с негабаритными кусками горной породы является применение ВВ или механическое разрушение молотом (бутобоем) с различными типами привода.

2. Применение других способов разрушения ограничено либо из-за специфичности самого способа (ограниченные условия), либо из-за экономической нецелесообразности его применения.

3. Большинство специальных способов разрушения негабарита на месте ведения открытых горных работ не имеют достаточного подтверждения их эффективности, что не позволяет широко внедрять их в производство.

4. Необходима разработка устройства, позволяющего проводить выемочно-погрузочные работы без отвода техники с места проведения работ и без потери времени на разрушение негабаритного куска горной породы.

### **Заключение**

Наличие негабарита и эффективность борьбы с ним в значительной степени будет определять долговечность и надежность работы горной техники и влиять на объем и номенклатуру мероприятий работ по техническому обслуживанию и ремонту. Для повышения готовности горных машин карьеров необходима разработка устройства, которое, с одной стороны, эффективно борется с негабаритами, а с другой, приводит к минимальным потерям рабочего времени и функционирования горной техники и в первую очередь карьерных экскаваторов, так как именно они первыми встречаются этим неблагоприятным фактором при разработке забоя.

### **Список литературы**

1. Андрущенко Д.Н. Комплекс оборудования для выполнения вспомогательных процессов горных работ // Проблемы недропользования. – 2014. – №2(2). – С. 80-84.
2. Трегубов Н.М. Вторичное дробление горных пород при циклично-поточной технологии добычи. – М.: Недра, 1976. – 160 с.
3. Тарасов С.П., Тарасов П.И., Хазин М.Л. Мобильный локализатор для разрушения негабаритов // Горная промышленность. – 2021. – №1. – С. 105-109. – doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-105-109.
4. Тарасов П.И., Андрущенко Д.Н. Транспортирование негабаритов как альтернативный способ их ликвидации из рабочей зоны карьера // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – №2. – С. 4-9.
5. Герике П.Б., Герике Б.Л. Поиск инструмента для механического разрушения прочных породных массивов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S2. – С. 241-265.
6. Галдин Н.С., Бедрина Е.А. Ковши активного действия для экскаваторов: Учеб. пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2003. – 53 с.
7. Канатная пила КМТ-25 ТМ «Гидроспецмаш» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hydrosrn.ru/kanatnaya-pila-kmt-25?ysclid=ldivz41ggg722663745>.

8. DSW 3018-E Канатная пила – Алмазные канатные пилы – Hilti Россия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.hilti.ru/c/CLS\\_POWER\\_TOOLS\\_7124/CLS\\_DIAMOND\\_WIRE\\_WALL\\_SAWS\\_7124/CLS\\_DIAMOND\\_WIRE\\_SAWS\\_7124/r51186?itemCode=2031881](https://www.hilti.ru/c/CLS_POWER_TOOLS_7124/CLS_DIAMOND_WIRE_WALL_SAWS_7124/CLS_DIAMOND_WIRE_SAWS_7124/r51186?itemCode=2031881).
9. Карьерная канатная установка TSY-55G Skystone [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stone-service-stanki.ru/stanki/kanatnye/karernaya-kanatnaya-ustanovka-tsy-55g-skystone/?ysclid=ldiwbhycju7037478>.
10. Трубецкой К.Н., Потапов М.Г., Виницкий К.Е., Мельников Н.Н. и др. Справочник. Открытые горные работы. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.
11. Трубин А.С. Гидромолот для одноковшового экскаватора: конструкция и тенденции развития // Наука и образование в современных условиях: материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Нефтекамск, 09 декабря 2021 года. – Нефтекамск: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2021. – С. 39-46.

### References

1. Andryushenkov D.N. Complex of equipment for execution auxiliary processes of mining operations // Problems of Subsoil Use. 2014, no. 2(2), pp. 80-84.
2. Tregubov N.M. Secondary crushing of rocks with cyclic-flow mining technology. – М.: Nedra, 1976. – 160 p.
3. Tarasov S.P., Tarasov P.I., Khazin M.L. Mobile Safety Screen for Secondary Breaking // Mining industry. 2021, no. 1, pp. 105-109. doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-105-109.
4. Tarasov P.I., Andryushenkov D.N. Transportation of oversize material as an alternative method of its elimination from the working area of the quarry // News of Higher Educational Institutions. Mining Journal. 2014, no. 2, pp. 4-9.
5. Gerike P.B., Gerike B.L. Search for a tool for mechanical destruction of solid rock massifs // Mountain Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). 2012, no. S2, pp. 241-265.
6. Galdin N.S., Bedrina E.A. Buckets of active action for excavators: Textbook. – Omsk: SibADI Publ. House, 2003. – 53 p.
7. Rope saw KMT-25 TM "Gidrospetsmash" [Electronic resource]. – Access mode: <https://hydrosm.ru/kanatnaya-pila-kmt-25?ysclid=ldivz41ggg722663745>.
8. DSW 3018-E Rope Saw – Diamond Rope Saws – Hilti Russia [Electronic resource]. – Access mode: [https://www.hilti.ru/c/CLS\\_POWER\\_TOOLS\\_7124/CLS\\_DIAMOND\\_WIRE\\_WALL\\_SAWS\\_7124/CLS\\_DIAMOND\\_WIRE\\_SAWS\\_7124/r51186?itemCode=2031881](https://www.hilti.ru/c/CLS_POWER_TOOLS_7124/CLS_DIAMOND_WIRE_WALL_SAWS_7124/CLS_DIAMOND_WIRE_SAWS_7124/r51186?itemCode=2031881).
9. TSY-55G Skystone Quarry rope installation [Electronic resource]. – Access mode: <https://stone-service-stanki.ru/stanki/kanatnye/karernaya-kanatnaya-ustanovka-tsy-55g-skystone/?ysclid=ldiwbhycju7037478>.
10. Trubetskoy K.N., Potapov M.G., Vinitsky K.E., Melnikov N.N., etc. Open-pit mining. – М.: Mining bureau, 1994. – 590 p.
11. Trubin A.S. Hydraulic hammer for single-bucket excavator: design and development trends // Science and education in modern conditions: Materials of the International (correspondence) scientific and practical Conference, Neftekamsk, December 09, 2021. – Neftekamsk: Scientific and Publishing Center "World of Science" (IP Vostretsov Alexander Ilyich), 2021. – P. 39-46.

#### *Сведения об авторах:*

#### *Information about authors:*

|  |  |
|--|--|
| <b>Иванов Сергей Леонидович</b> – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машиностроения | <b>Ivanov Sergey Leonidovich</b> – doctor of technical sciences, professor, professor of mechanical engineering Department |
| <b>Шешукова Екатерина Игоревна</b> – аспирант  | <b>Sheshukova Ekaterina Igorevna</b> – postgraduate student  |
| <b>Недашковская Евгения Сергеевна</b> – аспирант   | <b>Nedashkovskaya Evgeniya Sergeevna</b> – postgraduate student  |
| katiger@mail.ru  |  |

Получена 07.02.2023