

## Классификация дробильных установок и технологических схем их применения при переработке строительных горных пород

А.Ю. Чебан<sup>а</sup>, Н.П. Хрунина<sup>б</sup>

Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, ул. Тургенева 51, Хабаровск, Россия

<sup>а</sup>chebanay@mail.ru, <sup>б</sup>npetx@mail.ru

Статья поступила 4.12.2015, принята 12.01.2016

*При переработке строительных горных пород в нерудные строительные материалы задействованы разные типы дробильных установок, имеющие оригинальные конструкции и технические параметры. Основным направлением использования дробильных установок является получение щебня определенного фракционного состава. Для предприятий по производству щебня особенностью является то, что процессы добычи горной массы и ее измельчение связаны не только технологически, но и качественно, поскольку качество исходной породы в забое целиком определяет эффективность ее измельчения в дробильной установке. Производственные мощности карьера и дробильной установки должны быть увязаны таким образом, чтобы потребность в исходном материале полностью удовлетворялась с учетом потерь и отходов при дроблении, грохочении и транспортировании. Дробильные установки значительно отличаются по конструкции и технологическим схемам их применения. В данной работе проведено обобщение известных технологических схем применения дробильных установок при переработке строительных горных пород. Предлагается классификация особенностей конструкций собственно дробильных установок, ранее не систематизированных другими авторами. В настоящее время фирмы — производители дробильного оборудования продолжают развитие и совершенствование конструкций дробильных установок и технологических схем их применения, в связи с чем предлагаемая классификация со временем может быть уточнена и дополнена.*

**Ключевые слова:** дробильные установки; классификация; горная масса; щебень; измельчение; сортировка.

## Classification of crushing plants and technological schemes of their application in recycling construction rocks

A.Yu. Cheban<sup>а</sup>, N.P. Hrunina<sup>б</sup>

Institute of Mining of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; 51, Turgenev Str., Khabarovsk, Russia

<sup>а</sup>chebanay@mail.ru, <sup>б</sup>npetx@mail.ru

Received 4.12.2015, accepted 12.01.2016

*When recycling construction rocks into the non-metallic construction materials, different types of crushing plants with different designs and specifications are involved. The main direction for applying the crushing plant is obtaining a certain fractional composition of crushed stone. For enterprises produced crushed stone the peculiarity is that the processes for producing the rock mass and its grinding are connected not only technologically, but also in quality, as the quality of the source rocks in the mine is determined by the effectiveness of its grinding in the crushing plant. Production capacity of the stone quarry and a crushing plant must be linked so that the demand for the raw material can be completely satisfied with the account of losses and waste during crushing, screening and transportation. Crushing plants vary significantly in design and technological schemes of their application. In this work a generalization has been made for known technological schemes of the usage of crushing plants when recycling construction rocks. Classification has been proposed for the design peculiarities of crushers, which has not been previously systematized by other authors. Currently, manufacturers of crushing equipment continue developing and improving the designs of crushing plants and technological schemes of their application, and therefore, the classification proposed can be refined and supplemented as the time go by.*

**Key words:** crushing plants; classification; rock mass; crushed stone; shredding; sorting.

### Введение

Источниками получения нерудных строительных материалов служат песчаные, песчано-гравийные, гравийные месторождения строительных горных пород, а также месторождения строительного камня, сложенные магматическими, метаморфическими или осадочными горными породами [1–4]. При ведении дорожного, промышленного и гражданского строительства наибольшее распространение среди нерудных строительных материалов как по

объемам, так и в стоимостном выражении приходится на щебень [5; 6].

Наиболее качественный щебень получается из прочных магматических горных пород (гранит, диорит, базальт и др.), однако большая потребность в щебне для строительных работ и значительная транспортная составляющая в цене обуславливают необходимость использования для его производства осадочных горных пород (известняков, доломитов, песчаников) месторождений, расположенных вблизи потребителей.

В настоящее время в связи с совершенствованием горного оборудования расширяется область механического рыхления полускальных и некоторых скальных строительных горных пород [7–10]. Тем не менее, на большинстве месторождений по добыче строительного камня подготовка горных пород к выемке по-прежнему ведется с применением буровзрывного способа рыхления [11–15]. Полученная в результате взрыва горная масса имеет весьма неоднородный состав, а размеры кусков могут отличаться друг от друга в десятки, сотни и тысячи раз. Получение из горной массы щебня необходимого фракционного состава осуществляется в результате дробления. Дроблением называется процесс разделения кусков горных пород на более мелкие части посредством применения дробильных установок (дробилок). Горная масса, подаваемая в дробилку, называется исходным материалом, а выходящий после дробления щебень — продуктом дробления.

Известны работы, в которых дается классификация некоторых конструктивных решений дробильных установок, а также отдельных технологических способов их применения [11; 12; 16; 17]. В данном исследовании авторы попытались провести обобщение и системати-

зацию известных технологических схем применения дробильных установок при переработке строительных горных пород. Также предлагается расширенная классификация особенностей конструкций собственно дробильных установок, ранее не систематизированных другими авторами.

#### Классификация технологических схем дробления.

Дробление горной массы происходит в результате воздействия внешней разрушающей силы посредством *раздавливания, излома, удара, раскалывания* или *истирания* [17; 18]. Раздавливание и удар являются наиболее распространенными способами дробления при получении щебня (рис. 1).

Выравнивание фракционного состава каменных материалов на первом этапе осуществляется дроблением наиболее крупных кусков. В зависимости от крупности кусков, получаемых при измельчении горных пород, различают *крупное дробление*, при котором получают куски размером не более 300...70 мм, *среднее* (70...20 мм) и *мелкое дробление* (20...1 мм) [17; 20]. Измельчение горной массы до размеров в долях миллиметра называют *тонким помолом*.

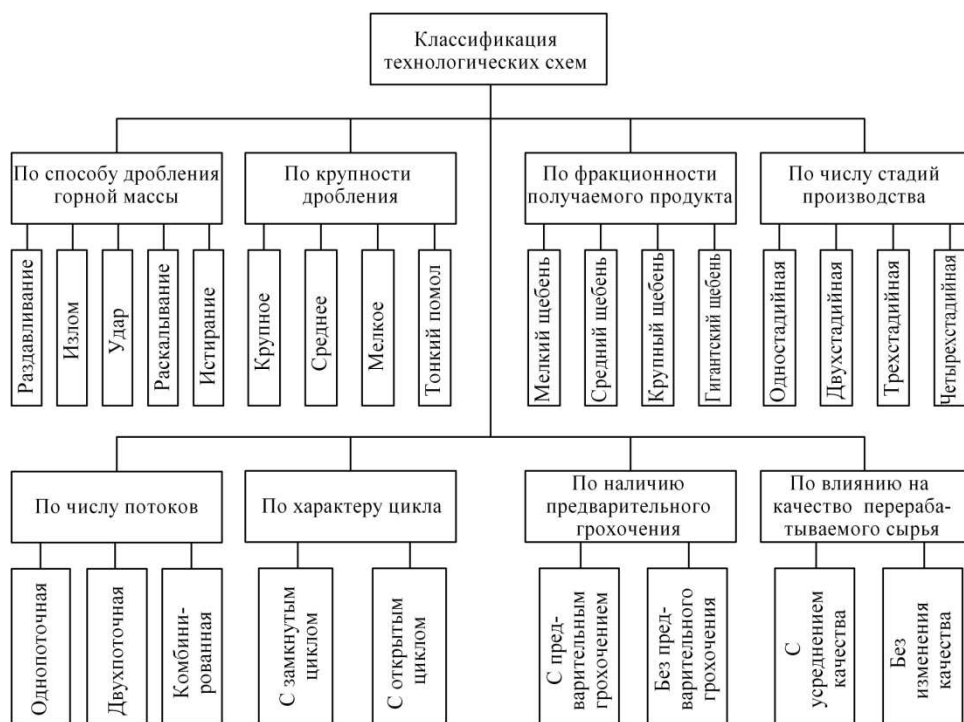


Рис. 1. Классификация технологических схем применения дробильных установок при переработке строительных горных пород

После дробления полученный продукт подвергается сортировке и обогащению. По фракционности получаемого в результате измельчения продукта различают *мелкий щебень* с крупностью кусков (зерен) от 5 до 20 мм, *средний* (20...40 мм), *крупный* (40...70 мм) и *гигантский щебень* (70...120 (150) мм) [17; 18]. Фракция дробления, содержащая зерна материала величиной менее 5 мм, называется *отсевом*.

По числу стадий технологические схемы производства щебня бывают одно-, двух-, трех- и четырехстадийными [12]. От правильно выбранного числа стадий дробления зависят количество и размер фракций производимого щебня. В каждой стадии дробления обеспечивается получение продукта определенной степени кусковатости. Число стадий дробления определяется прежде всего характеристиками горной массы, поступающей на дробление, и требованиями к конечному продукту переработки.

*Одностадийная схема* дробления применяется довольно редко, на карьерах притрассового типа малой производственной мощности (до 50 тыс. м<sup>3</sup> щебня в год), при этом материал проходит одну стадию дробления и сортировки, после чего отгружается потребителям.

*Двухстадийная схема* используется в основном на карьерах с небольшой производственной мощностью до 200...400 тыс. м<sup>3</sup> щебня в год. В данной схеме кусковая масса после первичного дробления направляется в дробилку вторичного дробления. Схема обеспечивает получение щебня в основном крупных фракций.

*Трех- и четырехстадийные схемы* дробления применяются на карьерах со средней и большой производственной мощностью.

*По числу потоков* технологические схемы дробления бывают однопоточные, двухпоточные и комбинированные [12]. При *однопоточной* технологической схеме вся поступающая из карьера горная масса проходит через последовательные операции переработки в одном технологическом потоке. Такая схема используется при разработке месторождений изверженных, метаморфических и осадочных карбонатных пород повышенной прочности при минимальном содержании или отсутствии слабых и глинистых включений.

*Двухпоточная схема* предполагает переработку горной массы двумя самостоятельными потоками с аналогичными процессами и оборудованием. Схема обеспечивает повышение производительности предприятия и надежности его работы, а также применяется при переработке разнопрочных карбонатных пород, когда в одном из потоков можно выделять более прочные компоненты для производства щебня повышенной прочности.

*Комбинированная схема* используется при переработке разнопрочных пород с повышенным содержанием слабых и глинистых включений. Схема имеет два самостоятельных потока в промежуточной части технологического процесса переработки, что позволяет выпускать качественный щебень одного сорта.

*По характеру цикла* технологической схемы различают схемы с открытым и замкнутым циклом дробления [12]. При *замкнутом цикле* измельченный материал частично возвращается в дробилку для повторного дробления, при *открытом цикле* материал не возвращается в дробилку.

*По наличию предварительного грохочения* различают схемы с предварительным и без предварительного грохочения [12].

Предварительное грохочение перед первой стадией дробления целесообразно при переработке любых строительных пород, содержащих более 20 % кусков, размер которых меньше ширины выпускной щели первичной дробилки, а также при наличии включений глинистых и слабых пород. При этом обычно используют колосниковые грохоты, а в отдельных случаях (для повышения эффективности грохочения) — вибрационные колосниковые грохоты.

*По возможности влияния на качество перерабатываемого сырья* различают схемы с усреднением качества при одновременной подаче и переработке сырья из разных забоев и без изменения качества сырья [17].

### Классификация дробильных установок и исходного дробимого материала.

*По конструкции* дробилки делятся на щековые, конусные, валковые, молотковые и роторные (рис. 2).

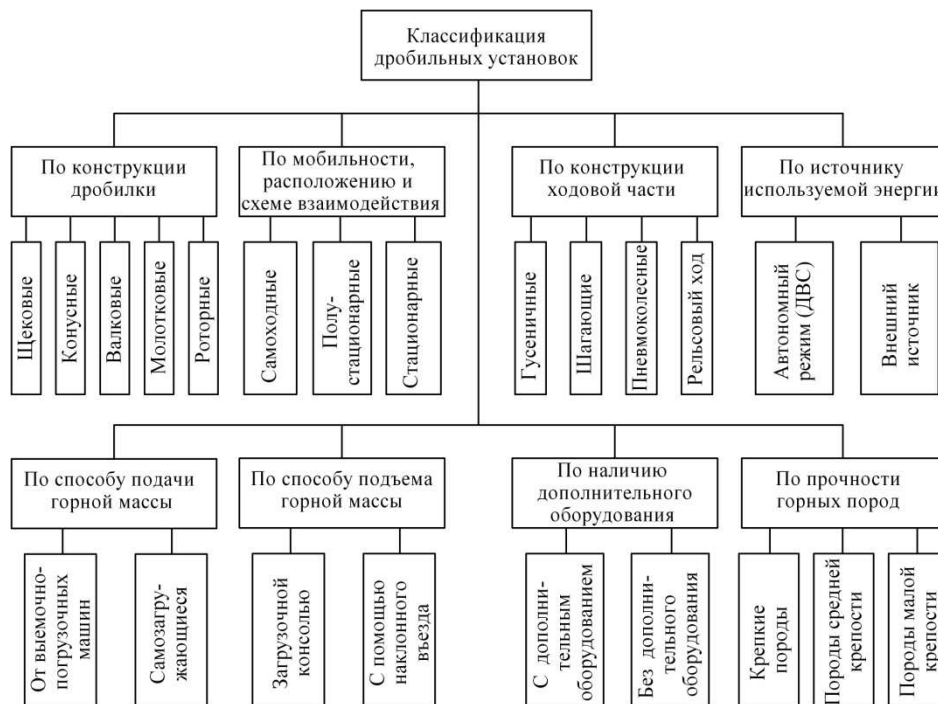


Рис. 2. Классификация дробильных установок и исходного дробимого материала

*Щековые дробилки* чаще всего используются для дробления крупного материала. Это обусловлено относительно большими размерами приемного отверстия дробилок и большими развиваемыми усилиями дробления. Однако эти дробилки в зависимости от типоразмера могут также использоваться на среднем и мелком дроблении материала [18; 19]. Дробление осуществляется за счет раздавливания кусков породы между подвижной и неподвижной щеками. Распространению щековых дробилок способствует простота конструкции, обслуживания и ремонта, а также возможность использования некоторых дробилок как для среднего, так и для мелкого дробления путем замены дробящих плит. Щековые дробилки могут иметь простое или сложное движение подвижной щеки.

*Конусные дробилки* применяют для дробления очень крепких пород с высокой степенью абразивности. Данные дробилки могут использоваться на всех стадиях дробления, а при производстве щебня в основном используются на стадии среднего и мелкого дробления. Дробление породы осуществляется за счет раздавливания материала между подвижным и неподвижным конусами. Конусные дробилки делают с различными углами конусов: с крутым конусом — для крупного дробления, с пологим конусом — для среднего и мелкого дробления. Конусные дробилки по сравнению со щековыми расходуют меньше энергии и выдают более равномерный по крупности щебень. Их недостатками являются большие габариты и масса, сложность обслуживания и ремонта [18].

*Валковые дробилки* служат для измельчения горных пород малой крепости, а также для вторичного дробления каменных материалов средней и большой крепости. Валковые дробилки состоят из двух гладких или зубчатых барабанов (валков), вращающихся навстречу друг другу так, что порода затягивается в зазор между ними, где раздавливается валками.

*Молотковые и роторные дробилки* относятся к машинам ударного действия. Данные дробилки применяют для дробления средних и крепких пород на мелкие фракции щебня. Преимуществом этих машин является высокая степень измельчения и нетребовательность к предварительному измельчению породы; твердость и сопротивляемость породы влияют на энергоемкость процесса дробления меньше, чем у других типов дробилок.

У молотковых дробилок дробление осуществляется за счет кинетической энергии отдельных молотков, шарнирно закрепленных на массивном роторе. Куски породы, разбиваемые молотками, отбрасываются на стенку дробильной камеры с силой, достаточной для еще большего их измельчения.

Роторные дробилки оборудованы массивным ротором, на котором жестко закреплены сменные била из износостойкой стали. Такие дробилки можно применять для дробления крупных кусков сравнительно

крепких горных пород, а также на последующих стадиях дробления.

*По мобильности, расположению и схеме взаимодействия* дробильной установки с выемочным и транспортирующим оборудованием различают самоходные, полустационарные и стационарные дробильные установки [11; 17].

*Самоходные* дробильные установки обычно применяются в технологических схемах с полной конвейеризацией транспорта и располагаются в забое между выемочно-погрузочной машиной и конвейером. Самоходные агрегаты имеют относительно небольшую высоту и массу и перемещаются вдоль фронта работ вместе с выемочно-погрузочной машиной.

*Полустационарные* (передвижные) дробильные установки применяются при использовании комбинированного транспорта, осуществляя прием горной массы от автомобильного транспорта или выемочно-транспортирующих машин, ее дробление и погрузку на магистральные ленточные конвейеры. Располагаются такие установки, как правило, на нерабочем борту карьера. По мере развития горных работ передвижные дробильные установки периодически перемещаются на новое место.

*Стационарные* агрегаты устанавливаются на мощные бетонные фундаменты, располагаются в основном на дробильно-сортировочных заводах и осуществляют прием горной массы от автомобильного транспорта. На них устанавливаются преимущественно щековые и конусные дробилки.

В зависимости от *конструкции ходовой части* дробильные установки бывают на гусеничном, шагающем, пневмоколесном и рельсовом ходу [17]. Наибольшее распространение получили дробилки на гусеничном ходу. Гусеничная ходовая часть обеспечивает достаточно высокую мобильность и проходимость, позволяет перемещать относительно массивное дробильное оборудование. Шагающая ходовая часть, по сравнению с гусеничной, имеет меньшую стоимость, массу и высоту, при этом малая высота ходовой части упрощает загрузку дробилок горной массой. Пневмоколесная ходовая часть применяется для перемещения дробильных установок малой производительности. Рельсовая ходовая часть получила ограниченное распространение.

В зависимости от *источника энергии* дробилки могут работать в автономном режиме или от внешнего источника [18]. Небольшие дробильные установки, работающие на притрассовых карьерах, обычно приводятся в действие от двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Это делает возможной работу в *автономном* режиме, независимо от наличия электрических сетей в зоне проведения горных работ, что особенно важно в районах, где централизованные электрические сети отсутствуют, и энергия вырабатывается с помощью дизельных электростанций. При этом такие установки могут легко перемещаться от одного небольшого карьера к другому по мере продвижения фронта строительных работ. Круп-

ные дробильные установки, долгое время работающие на одном месте, в основном, приводятся в действие от *внешних источников* электроэнергии.

*Подача* горной массы в *дробилку* может осуществляться с помощью *выемочно-погрузочных машин* или *средств самозагрузки*. В большинстве случаев подача исходного материала в дробильную установку осуществляется с помощью одноковшовых экскаваторов различных конструкций, одноковшовых погрузчиков или автосамосвалов [12; 16]. Реже применяются самозагружающиеся дробилки, оснащенные специальными погрузочными устройствами в виде загребающих лап или канатного скрепера, с помощью которых дробильная установка самостоятельно черпает взорванную горную массу из развала [17].

В ряде случаев по причине значительной высоты дробильной установки подача исходного материала в приемное отверстие дробилки от внешних агрегатов, располагающихся на уровне установки дробилки, невозможна. Следовательно, необходим дополнительный подъем исходного материала. Для *подъема горной массы* дробильная установка может оборудоваться *загрузочной консолью* с приемным бункером и транспортером или *наклонным въездом* для погрузчиков и автосамосвалов.

Дробильные установки могут оснащаться *дополнительным оборудованием*. Например, установки, применяемые для крупного дробления, нередко оснащаются оборудованием для разрушения негабаритных включений, которые могут встретиться в горной массе после взрыва, а затем при погрузке попасть в приемное отделение дробилки [17; 18]. На дробилках, предназначенных для переработки горной массы, загрязненной глинистыми включениями, может устанавливаться система самоочистки, обеспечивающая обогрев забиваемых частей горячим воздухом. Также на дробилках могут устанавливаться устройства для предохранения от поломок и удаления посторонних крупных металлических включений (например, зубьев экскаватора или арматуры).

Горная масса (исходный материал), подвергающаяся дроблению, в зависимости *от крепости* и других физико-механических характеристик условно подразделяется на следующие группы [11; 12]: *крепкие породы* (граниты, кварциты и т. п.), *породы средней* (известняки, доломиты и т. п.) и *малой крепости* (мергель, мел, глина).

### Заключение

Для предприятий по производству щебня важной технологической особенностью является то, что процессы добычи горной массы и ее измельчение связаны между собой, при этом учет качества исходной горной породы в забое играет существенную роль и целиком определяет эффективность ее измельчения в дробильной установке. Производственные мощности карьера и дробильной установки должны быть увязаны таким образом, чтобы потребность в исходном материале

полностью удовлетворялась с учетом потерь и отходов при дроблении, грохочении и транспортировании. Поскольку фирмы — производители дробильного оборудования продолжают развитие конструкций и технических параметров дробильных установок, а технологические схемы их применения совершенствуются, предлагаемая классификация конструкций и технологических схем применения дробильных установок со временем может быть уточнена и дополнена.

### Литература

1. Васильев Н.Г. Минерально-сырьевая база неметаллов России и роль ФГУП «ЦНИИГеолнеруд» в ее формировании // Разведка и охрана недр. 2015. № 9. С. 10-18.
2. Першин Г.Д., Караулов Н.Г., Утляков М.С. Современные технологические схемы добычи блочного высокопрочного камня // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 3. С. 5-11.
3. Чирков А.С., Ларионов С.О. Комплексная разработка карбонатных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2001. № 12. С. 130-131.
4. Фомин С.И., Ларин Н.С. Прогнозирование рыночных цен на щебень при определении оптимальной производительности карьера // Маркшейдерия и недропользование. 2015. № 6. С. 9-12.
5. Семенов А.А. Российский рынок щебня и гравия: тенденции последних лет и перспективы развития // Строительные материалы. 2010. № 10. С. 4-9.
6. Буткевич Г.Р. Промышленность нерудных строительных материалов: современное состояние и особенности // Строительные материалы. 2006. № 6. С. 58-61.
7. Чебан А.Ю., Хрунина Н.П. Использование горного оборудования для механического разрушения скальных и полускальных пород // Горная промышленность. 2014. № 2. С. 104-107.
8. Шемякин С.А., Матвеев Д.Н., Чебан А.Ю. Экономическое обоснование эффективности безвзрывной селективной выемки полезного ископаемого и вмещающих пород с использованием технико-технологических комплексов на основе фрезерных комбайнов // Горный журнал. 2015. № 2. С. 43-46.
9. Буткевич Г.Р. Взрывные и безвзрывные способы разрушения скальных пород на карьерах // Строительные материалы. 2011. № 2. С. 33-34.
10. Cheban, A.Yu., Sekisov G.V., Khrunina N.P., Shemyakin S.A. Upgrading continuous and cyclic excavation and transportation during open-pit mining // Eurasian mining. 2014. № 1. P. 22-24.
11. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю., Щадов М.И. Справочник по открытым горным работам: М.: НТЦ «ГОРНОЕ ДЕЛО», 2010. 700 с.
12. Weltpremiere to go // GP: Gesteins-Perspekt. 2014. 18, № 2, P. 54-55.
13. Чебан А.Ю., Рассказов И.Ю., Литвинцев В.С. Анализ парка машин горнодобывающих предприятий Амурской области // Маркшейдерия и недропользование. 2012. № 2. С. 41-50.
14. Секисов Г.В., Чебан А.Ю. Техническое вооружение горных предприятий Приморского края, занимающихся добычей строительных горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 11. С. 283-287.
15. Чебан А.Ю., Секисов Г.В., Соболев А.А. Состояние и основные пути развития добычи природных строительных материалов в южных субрегионах Дальневосточного округа //

Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 7. С. 71-76.

16. Дребенштедт К., Риттер Р., Супрун В.И., Агафонов Ю.Г. Мировой опыт эксплуатации комплексов циклично-поточной технологии с внутрикарьерным дроблением // Горный журнал. 2015. № 11. С. 81-87.

17. Трубецкой К.Н., Куницын А.Л., Панкевич Ю.Б. Современные методы открытой разработки карбонатного сырья за рубежом. М., 1973. 65 с.

18. Mobil Anlagen von Sandvik in Kasachstan. AT Miner // Process. Eur. 2015. 56, № 1-2, P. 40-41.

19. Special equipment for quarry operations // Zement-Kalk-Gips Int. 2014. 67, № 10, P. 12-14.

20. Чебан А.Ю., Секисов Г.В., Хрунина Н.П. Структурный анализ технических средств, задействованных при добыче строительных горных пород на юге Дальневосточного региона // Горная промышленность. 2013. № 4. С. 26-29.

### References

1. Vasil'ev N.G. Mineral resources of Russia and the role of non-metals FSUE "TNIIGeolnerud" in its formation // Prospect and protection of mineral resources. 2015. № 9. P. 10-18.

2. Pershin G.D., Karaulov N.G., Utlyakov M.S. Modern high-technology circuit block quarrying // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2015. № 3. P. 5-11.

3. Chirkov A.S., Larionov S.O. Integrated development of carbonate deposits // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2001. № 12. P. 130-131.

4. Fomin S.I., Larin N.S. Predicting the market prices of rubble in determining optimal performance career // Mine surveying and subsurface use. 2015. № 6. P. 9-12.

5. Semenov A.A. The Russian market of rubble and gravel: recent trends and prospects of development // Stroitel'nye materialy. 2010. № 10. P. 4-9.

6. Butkevich G.R. Nonmetallic building materials industry: current status and characteristics // Stroitel'nye materialy. 2006. № 6. P. 58-61.

7. Cheban A.Yu., Khrunina N.P. Use of mining equipment for the mechanical destruction of rock and semi rock // Mining Industry. 2014. № 2. P. 104-107.

8. Shemyakin S.A., Matveev D.N., Cheban A.Yu. Economic substantiation of efficiency nonexplosive selective mining of

minerals and host rocks with technical and technological complexes on the basis of milling combines // Mining Journal. 2015. № 2. P. 43-46.

9. Butkevich G.R. Explosive and nonexplosive ways of destruction of rock quarries // Stroitel'nye materialy. 2011. № 2. P. 33-34.

10. Cheban, A.Yu., Sekisov G.V., Khrunina N.P., Shemyakin S.A. Upgrading continuous and cyclic excavation and transportation during open-pit mining // Eurasian mining. 2014. № 1. P. 22-24.

11. Anistratov Yu.I., Anistratov K.Yu., Shchadov M.I. Directory of Open cast mining: M.: NTTs «GORNOE DELO», 2010. 700 p.

12. Weltpremiere to go // GP: Gesteins-Perspekt. 2014. 18, № 2, P. 54-55.

13. Cheban A.Yu., Rasskazov I.Yu., Litvintsev V.S. Analysis of the fleet of mining enterprises of the Amur region // Mine surveying and subsurface use. 2012. № 2. P. 41-50.

14. Sekisov G.V., Cheban A.Yu. Technical equipment of mining enterprises of Primorye, engaged in production of building rocks // Mining Informational and Analytical Bulletin Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2013. № 11. P. 283-287.

15. Cheban A.Yu., Sekisov G.V., Sobolev A.A. Status and the development of extraction of natural building materials in the southern sub-regions of the Far Eastern District // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2014. № 7. P. 71-76.

16. Drebenshtedt K., Ritter R., Suprun V.I., Agafonov Yu.G. World experience of operating complexes of cyclic-flow technology vnutrikarernym crushing // Mining Journal. 2015. № 11. P. 81-87.

17. Trubetskoi K.N., Kunitsyn A.L., Pankevich Yu.B. Modern methods of open development of the carbonate raw materials abroad. M., 1973. 65 p.

18. Mobil Anlagen von Sandvik in Kasachstan. AT Miner // Process. Eur. 2015. 56, № 1-2, P. 40-41.

19. Special equipment for quarry operations // Zement-Kalk-Gips Int. 2014. 67, № 10, P. 12-14.

20. Cheban A.Yu., Sekisov G.V., Khrunina N.P. Structural analysis of the technical means employed of at extraction of building rocks in the South of the far East region and Jewish Autonomous area // Mining Industry. 2013. № 4. P. 26-29.