

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-7-110-117

*Романович А.А., *Прокопенко В.С., Лантева М.А., Четвериков Б.С., Анненко Д.М.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: vlad.prokopenko1@yandex.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Аннотация. В статье приведены сведения о российских и зарубежных ученых научные труды, которых посвящены разработке технологий и оборудования для получения кубовидного щебня из различных горных пород. Их исследования внесли значительный вклад в изучение процессов дробления и измельчения при получении щебеночных материалов в следующих направлениях: области моделирования и анализа процессов дробления; в разработке новых технологий, дробильного оборудования и других. Однако на сегодня существующие и разрабатываемые технологии и оборудование не учитывают при дроблении текстуру измельчаемых горных пород, что не позволяет существенно повысить их эффективность.

В статье представлено описание разработанной на уровне изобретения конструкции энергосберегающего дробильного комплекса, позволяющего получать из горных пород со сланцевой текстурой щебень, заданных размеров в том числе и кубовидный. Приведен анализ, графических зависимостей, влияния прочности исходной горной породы и скорости вращения рабочих органов на величину потребляемой мощности и производительности комплекса. В результате анализа установлено, что при увеличении скоростных параметров валков и исходной прочности измельчаемых горных пород пропорционально растет не только производительность комплекса, но и мощность, затрачиваемая на реализацию процесса измельчения.

Ключевые слова: кубовидный щебень, направленная подача, помольные агрегаты, энергосбережение, анизотропные горные породы.

Введение. Гранитный щебень пользуется высоким спросом из-за своих прочностных характеристик, его широко используют в железнодорожном строительстве (20 млн м³ в год) и дорожном строительстве (10 млн м³ в год). Так, например, в дорожном строительстве потребность в щебне фракции (20–40 мм) на сегодня покрыта лишь на 20–30 %. Спрос на данный вид строительного материала постоянно растет. Известно, что потребность в щебеночных материалах различных фракций в 2005 году составляла 11 млн. м³ в год, а к 2025 году возросла до 600 млн м³, почти в 55 раз. Принятый в 2018 году Национальный проект «Безопасные качественные дороги» прогнозирует рост потребности в этих строительных материалах [1]. Это указывает на постоянный увеличение спроса на дорожно-строительные материалы, в том числе и на щебень кубовидной формы. Дорожные организации особенно настаивают на увеличении производства кубовидного щебня, так как его применение напрямую влияет на качество дорог. Для автодорог высокого класса щебень должен иметь прочность не менее 120 МПа, желательно кубовидную форму и оптимальный зерновой состав с содержанием не более 15% лещадных частиц [2].

В настоящее время в центральные регионы России значительные объемы щебеночных материалов доставляется из Карелии и Урала, что

удваивает их стоимость, а, следовательно, снижает эффективность строительства.

В тоже время только одно из крупнейших железорудных предприятий в регионе Курской магнитной аномалии (КМА) – ОАО «Лебединский горно-обогатительный комбинат» (ЛГОК) ежегодно укладывает в отвалы около 30 млн. м³ скальных вскрышных пород, из которых не менее 30 % пригодны для производства щебня. Реально перерабатывается с целью получения щебня всего 5,5–6,0 млн. м³ в год, а остальной объем, большинство из которого горные породы со сланцевой текстурой, хранится в отвалах [3].

В настоящее время для производства щебня используются метаморфические и осадочные горные породы нерудной и вмещающей толщии – кварцитопесчаники, кварцевые порфиры и кристаллические сланцы. Марка их по прочности составляет 800–1200 МПа. Однако при существующей технологии их переработки содержание зёрен пластинчатой и игольчатой формы на выходе из дробильного оборудования превышает 50%, что сильно сказывается на себестоимости производства [4].

В результате анализа потребности в дорожно-строительных материалах и состояния Российских дробильно-сортировочных заводов (ДСЗ) установлено, что они должны производят

от 4 до 11 узких фракций щебня, чтобы сформировать необходимый зерновой состав [5–7]. Однако более 40 % производителей сосредоточены на производстве только крупного щебня либо смеси 5–20 мм, а общий выход щебня крупнее 5 мм не превышает 75 %. Оставшаяся часть (до 25 %) представляет собой отсев, который часто считается отходом [8–10]. Многие ДСЗ являются устаревшими (старше 30 лет), применяют неэффективные технологии, изношенное оборудование и испытывают потребность в исходном сырье. Чтобы улучшить ситуацию, необходимо провести реконструкцию отрасли, внедрить новые подходы к оценке сырья (учитывая такие показатели, как текстуру горной породы, прочность на растяжение, модуль упругости и коэффициент Пуассона, а не только прочность на сжатие) и обновить технологии и оборудование. Оптимальная технологическая схема должна обеспечивать максимальный выпуск кубовидного щебня, в том числе из горных пород со сланцевой текстурой, при минимальных затратах.

Методы. Многие российские и зарубежные ученые занимаются разработкой технологий и оборудования для получения кубовидного щебня из различных горных пород.

Так, например, российские ученые как Арсентьев В.А., Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Рыков В.Ф., Сафронов А.Н., Черкасский В.А., Шуляков А.Д., и др. рассматривают производство кубовидного щебня как обуславливающие актуальность этого направления ими предложены новые подходы и технологии, способствующие его развитию. Их научные работы представляет собой фундаментальные исследования, посвященные применению вибрационных дробилок для производства кубовидного щебня. В которых подробно рассматриваются теоретические основы процесса дробления, конструктивные особенности вибрационных дробилок, технологические параметры их работы, а также практические аспекты их применения [1–3].

В работах Груздева А.В., Осадчего А.М., Газалеевой Г.И., рассматриваются технологии производства кубовидного щебня с использованием конусных дробилок. Авторы анализируют факторы, влияющие на форму получаемого щебня и предлагают рекомендации по оптимизации процесса дробления [11].

В работах Реутовой Я.И. и других рассматриваются вопросы усовершенствования конструкции роторных дробилок с целью улучшения их рабочих характеристик, в частности, для производства кубовидного щебня. Авторы ана-

лизируют существующие конструкции и предлагают конкретные решения по их модификации [12].

Ряд зарубежных ученых, проводившие разработки в области разрушения горных пород с целью получения кубовидного щебня, внесли значительный вклад в развитие теории и практики процессов измельчения давлением. Их исследования представлены в следующих направлениях:

1) в области моделирования и анализа процессов дробления:

Профессор Malcolm Powell (University of Queensland, Австралия) известен своими работами по моделированию процессов дробления и измельчения, включая кинетику разрушения, распределение размеров частиц и анализ их формы. Его исследования помогают понять механизмы образования частиц разной формы при дроблении [13].

Профессор Aubrey Mainza (University of Cape Town, ЮАР) работает в области моделирования процессов измельчения и дробления с использованием метода дискретных элементов (DEM). Его работы позволяют лучше понимать процессы образования кубовидных зерен при дроблении горных пород [14].

Доктор Peter Radziszewski (McGill University, Канада) свои работы посвятил численному моделированию и анализу процессов дробления, в частности, влиянию параметров дробления на форму и размер частиц [15].

2) в разработке новых технологий и дробильного оборудования:

Доктор Alan Huse (JKTech, Австралия) предложил новые технологии и оборудование для дробления и измельчения горных пород, в том числе используемых для получения кубовидного щебня [16].

Анализ научных исследований в области получения кубовидного щебня позволил установить, что они направлены на достижения максимального выхода кубовидного щебня, для этого требуется осуществление финальной стадии дробления с полной загрузкой при использовании узкой, предпочтительно не лещадной, фракции сырья. Современные разработки вибрационных щековых и конусных дробилок, основывающиеся на физике твердых тел и теории колебаний, пока имеют ограничения в применении из-за значительного образования отсева (до 25–50 %) и быстрого износа рабочих органов [17].

Опыт зарубежных стран демонстрирует, что высокоэффективные и экономически целесообразные заводы строятся с акцентом на ком-

плексное использование ресурсов, гибкие производственные технологии (быстрая реакция на изменения в спросе), компактные конфигурации оборудования (с минимальным количеством транспортных средств), а также специализированное и унифицированное оборудование и стабильное качество исходного материала [13-16].

Не смотря на большие запасы горных пород со сланцевой текстурой которые находятся (при неглубоком залегании) в Молдавии, России (Кольский полуостров, Якутия, Урал, регион КМА, на Кавказе и другие), в Средней Азии на сегодня как у нас в стране, так и за рубежом проектируемое и выпускаемое дробильное оборудование, применяемое в технологии получения щебня, не учитывает текстуру измельчаемых материалов.

Поэтому целью работы является проведение исследований, направленных на разработку конструкции дробильного комплекса, позволяющего измельчать горные породы, имеющие сланцевую текстуру, с высоким выходом готовой продукции.

Результаты. Учеными БГТУ им. В.Г. Шухова на уровне изобретения разработана конструкция энергосберегающего дробильного комплекса (рис. 1), позволяющая получать из горных пород со сланцевой текстурой щебень заданных размеров, в том числе и кубовидный (рис. 2) [17–19].

Опытно-промышленная установка имеет следующие технические характеристики:

Габаритные размеры агрегата, м ВхДхН – 1200 × 2600 × 1610;

Размеры рабочих органов, м:

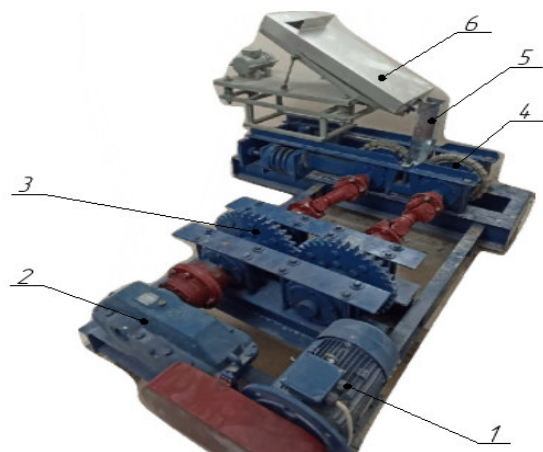
- диаметр рабочих органов, Д – 0,4;

- ширина рабочих органов, В – 0,1;

- шаг установки зубьев, t – 0,04;

Производительность, м³/ч – 0,5 – 1;

а)



Установленная мощность, Вт – 15×10^3 .

Процесс дробления происходит следующим образом, исходный материал с лещадной текстурой подается в приемный бункер (6), который предназначен для накопителя и обеспечения непрерывного его поступления в устройство для направленной подачи (5). В устройстве осуществляется направленное движение вдоль своей наибольшей оси в зону дробления, ограниченную зубчатыми валками, а также регулируется объем и скорость подачи сырья, соответствующая линейной скорости вращения рабочих органов, что позволяет обеспечить стабильную работу энергосберегающего дробильного комплекса и исключает завалы исходным материалом в зоне дробления.

В зоне дробления, происходит захват кусков подаваемого материала и последующее его измельчение между зубьями (4), установленными на их рабочей поверхности валков с определенным шагом. Размер готового продукта – щебня определяется расстоянием между зубьями.

Привод рабочих органов осуществляется от электродвигателя (1) через цилиндрический редуктор (2), который снижает частоту вращения до рабочих значений, а для синхронного вращения зубчатых валков (3) в конструкции агрегата предусмотрена синхронизирующая вращение зубчатая пара.

Такая конструкция энергосберегающего дробильного комплекса позволяет осуществлять направленную подачу, вдоль своей наибольшей оси, кусков исходного сырья с лещадной текстурой, захват его и направленное разрушение между зубьями рабочих органов, что позволяет получать щебень требуемых размеров с высоким выходом готового продукта.

б)

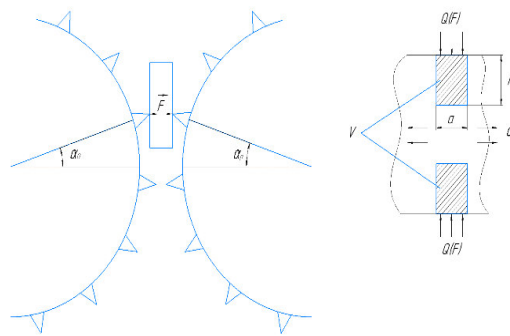


Рис. 1. Энергосберегающий дробильный комплекс:

а – общий вид: 1 – электродвигатель, 2 – редуктор, 3 – редуктор для синхронного вращения валков, 4 – дробящие валки, 5 – устройство для направленной подачи, 6 – бункер; б – схема разрушения исходного куса горной породы между рабочими органами

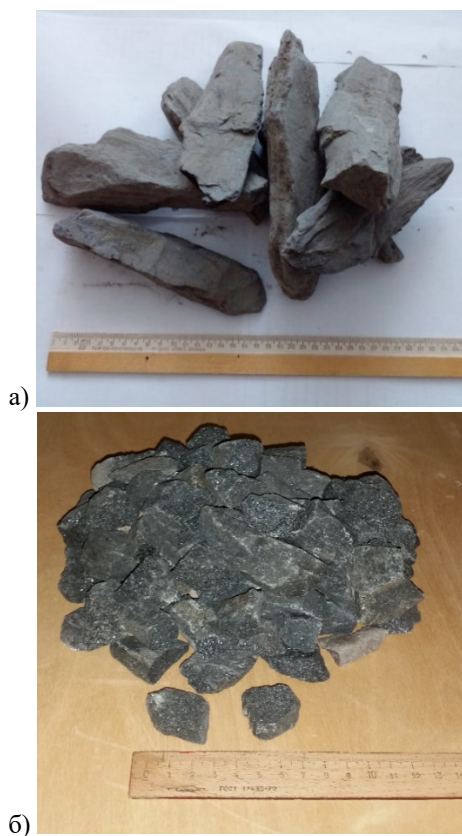


Рис. 2. Вид на форму горной породы:
а – исходный; б – после измельчения

Важными показателями для оценки эффективности от использования технологии или оборудования, является его производительность и потребляемая мощность, а для оценки эффективности его работы - удельный расход электроэнергии, затрачиваемой на получение готового продукта.

Проведенные аналитические исследования позволили [20] получить выражения для расчета потребляемой мощности привода (1) и производительности комплекса (2).

В результате,

$$N = \frac{4\mu\sigma_p F R (\cos \alpha_0 - \cos \alpha_p) \cdot \frac{6(1-2\mu) F V \sigma_p^2}{E^2} \omega}{\alpha_0 - \alpha_p} \quad (1)$$

где σ_p – предел прочности материала на сжатие, кПа; F – энергия разрушения, (Н); R – радиус вала, м; α_0 – величина угла захвата, рад; α_p – величина угла разрушения, рад; ω – угловая скорость валков, м/с, E – модуль Юнга, μ – коэффициент Пуассона материала

С целью определения рациональных параметров работы энергосберегаемого дробильного комплекса изучим влияние конструктивно-технологических параметров на выходные его характеристики, исходя из следующих исходных данных σ_p – кПа 1200 Н/м²; F – энергия разрушения, равная 1300-1600(Н); R – радиус вала, 0,35

м; величина угла захвата, равная $\alpha_0 = 17^\circ$ м; величина угла разрушения $\alpha_p = 10^\circ$; ω – угловая скорость валков, равная 1- 8 мин⁻¹.

Так согласно уравнения (1) на величину потребляемой мощности привода значительное влияние оказывают предел прочности материала на сжатие, который во многом определяет усилия, необходимые на раскалывание куска горной породы и угловая скорость рабочих органов комплекса. На рисунке 3 представлена графическая зависимость влияния прочности на сжатие горной породы и угловой скорости вращения рабочих органов на потребляемую мощность.

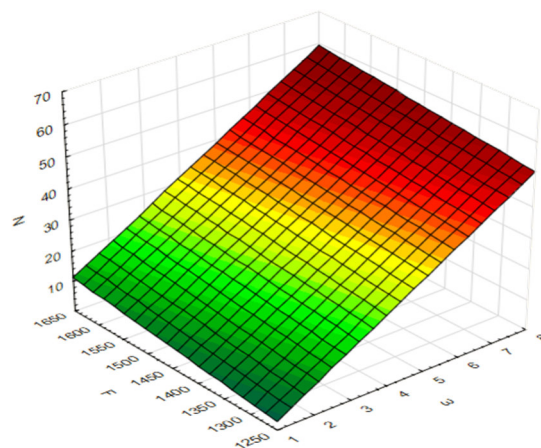


Рис. 3. Влияние прочности горной породы на сжатие и угловой скорости вращения валков на потребляемую мощность

Из графической зависимости установлено, что при увеличении угловой скорости вращения валков в диапазоне 1–8 мин⁻¹, потребляемая мощность привода возрастает пропорционально, повышение исходной прочности на сжатие кусков измельчаемой горной породы приводит также к приросту потребляемой мощности приводом комплекса, так при увеличении исходной прочности кусков от 1250 Н/м² до 1650 Н/м² на 36 % потребляемая мощность возрастает на 57 %.

Также важной технической характеристикой энергосберегающего дробильного комплекса является величина его производительности. Так проведенный анализ уравнения (2) позволил выявить, что на величину производительности определяющее влияние оказывают частота вращения валков, число зубьев и габаритные размеры валков. Так как увеличение количества зубьев, а, следовательно, и диаметра рабочих органов (при неизменном шаге зубьев) позволяет повысить производительность комплекса, а увеличение угловой скорости их вращения пропорционально влияет на её рост.

$$Q = 1,25z t L a n \mu \gamma \quad (2)$$

где z – количество зубьев; t – расстояние между зубьями, м; L – длина(ширина) валка, м; a – ширина зазора между зубьями, м; n – обороты вала, с^{-1} , равная 2–7 м/с; μ – коэффициент учитывающий степень разрыхленности исходного материала (0,2–0,3); γ – объемная масса дробленого продукта 1800 кг/м^3 .

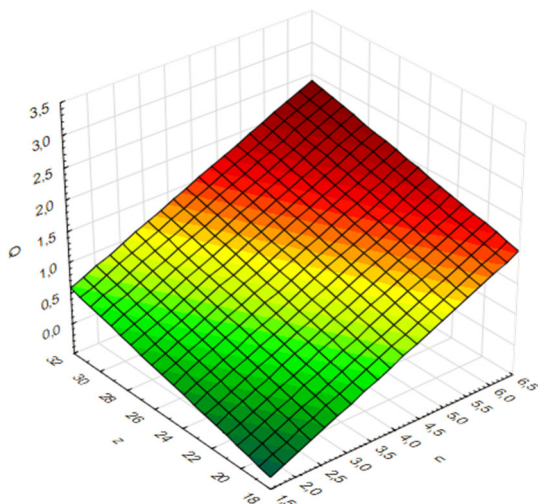


Рис. 4. Зависимость производительности измельчителя от количества зубьев и частоты вращения рабочих органов

Анализ графической зависимости, построенной на основании расчета по уравнению (2), влияния количества зубьев z и частоты вращения валков n на величину производительности Q (рис. 4) показал, что повышение скорости вращения рабочих органов агрегата и их диаметра значительно влияют на рост производительности. Установлено, что производительность комплекса возрастает пропорционально увеличению числа зубьев на их рабочих органах. Это связано с тем, что при сохранении неизменного шага между зубьями t , увеличение числа зубьев на их рабочих поверхностях валков ведет к росту их диаметра, это в свою очередь увеличивает объем материала, измельченного за один оборот. Так, например, увеличение числа зубьев с 18 до 32 на 78% приводит к пропорциональному приросту производительности с 0,432 т/час до 0,77 т/ч – на 78%. Аналогичное воздействие оказывает и увеличение частоты вращения валков n . Как следует из уравнения (2), производительность прямо пропорциональна n , что подтверждается и графически, так при увеличении частоты вращения от 1,5 до 6,5 мин^{-1} наблюдается линейный рост производительности от 0,5 до 2,3 т/ч.

Однако, чрезмерное увеличение частоты вращения рабочих органов может привести не только к росту динамических нагрузок, но и к снижению качества готового продукта, так как увеличение окружной скорости вращения ра-

бочих органов влечет за собой повышение величины проскальзывания зубьев относительно измельчаемых кусков, что повлияет на геометрические размеры полученного продукта и снизит производительность агрегата. Следовательно, оптимальный режим работы должен выбираться с учётом не только конструктивно-технологических параметров агрегата, но и свойств и текстуры измельчаемой горной породы.

Выводы. Таким образом, разработанная конструкция энергосберегающего дробильного комплекса, включающего в себя: устройство для направленной подачи кусков горной породы со сланцевой текстурой и рабочие органы в виде зубчатых валков позволяет получать из горных пород со сланцевой текстурой щебень, заданных размеров с высоким выходом готовой продукции. Проведенный анализ, полученных графических зависимостей, построенных по уравнениям для расчета производительности и потребляемой мощности агрегата, позволил установить, что при увеличении скоростных параметров рабочих органов энергосберегающего комплекса и их габаритных размеров растет как производительность, так и потребляемая мощность приводом. Прочность измельчаемых горных пород оказывает существенное влияние на его энергетические показатели. Однако данные исследования не позволяют оценить качественную сторону готового продукта. Поэтому с целью определения рациональных конструктивно-технологических параметров работы комплекса и качества готового продукта при измельчении горных пород различной прочности необходимо провести исследования на экспериментальной установке.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Халтурина О.А., Терешкина Н.Е. Национальные проекты России в транспортной сфере // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2024. № 4–1. С. 170–174. DOI: 10.17513/vaael.3347.
2. Кукин А.В. Принципы оптимизации параметров технологии разработки вскрышной породы с учетом последующего ее дробления на щебень // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 1. С. 221–223.

3. Шеков В.А., Луодес Х.Т., Иванов А.А., Вожаденко А.Я., Мясникова О.В. Щебень Карелии: свойства, применение и перспективы использования: монография. Ин-т геологии, 2004. 171 с.
4. Терехин Е.П., Шляхов А.М., Парфенов Д.С. Повышение эффективности установки для получения щебня на ДСФ АО «Лебединский ГОК» // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. 2024. С. 343–349.
5. Штефан Ю.В., Абдуллаев А.Р. Математическая модель технологии изготовления кубовидного щебня на основе теории надежности // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2023. № 37. С. 132–138.
6. Перцев А.Ю. Разработка мероприятий для повышения эффективности деятельности предприятия на примере Сибирской горнометаллургической компании // Актуальные проблемы транспорта в XXI веке. 2024. С. 351–359.
7. Марченко А.С., Михальков В.С. Получение кубовидного щебня // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии. 2024. С. 251–252.
8. Устинов И.Д., Шуляков А.Д. Производство кубовидного щебня – инновационный этап развития промышленности строительных материалов // Строительные материалы. 2017. № 5. С. 66–68.
9. Шуляков А.Д. О производстве высококачественного кубовидного щебня // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 56–59.
10. Халов Р.Ш. Обзор и анализ дробильных машин // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2015. № 1(34). С. 91–94.
11. Груздев А.В., Осадчий А.М., Газалеева Г.И. Технология получения кубовидного щебня в конусных дробилках // Горное оборудование и электромеханика. 2007. №. 7. С. 13–19.
12. Реутова Я.И. Совершенствование конструкции роторной дробилки // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №. 4. С. 136–139.
13. Powell M.S., Morrison R.D. The Future of Comminution Modelling // International Journal of Mineral Processing. 2007. Vol. 84, No. 1–4. Pp. 228–239.
14. Asbjornsson G., Tavares L.M., Mainza A., Yahyaei M. Different Perspectives of Dynamics in Comminution Processes. Minerals Engineering. 2022. Vol. 176. 107326.
15. Bouchard J., LeBlanc G., Levesque M., Radziszewski P., Georges-Filteau D. Breaking Down Energy Consumption in Industrial Grinding Mills. CIM Journal. 2019. Vol. 10, No. 4. Pp. 157–164.
16. Huse A. Advanced Comminution Techniques for Improved Mineral Processing. International Mining, 2018, Pp. 14–19.
17. Пат. 226841 Российская Федерация, МПК В01F 15/00. Пресс-валковый агрегат / А.А. Романович, М.А. Романович, В.С. Прокопенко, Ю.Г. Шестаков; заявитель и патентообладатель ФГБОУВО БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2024111657; заявл. 19.04.2013, 26.04.2024; опубл. 26.06.2024, Бюл. № 12. 7 с
18. Пат. 2530508 Российская Федерация, МПК В02С 4/02. Пресс-валковый измельчитель для получения кубовидного материала / А.А. Романович, С.А. Мещеряков, Л.Г. Романович, М.А. Романович; заявитель и патентообладатель ФГБОУВО БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2013118370; заявл. 19.04.2013; опубл. 14.08.2014, Бюл. № 28. 8 с
19. Пат. 172043 Российская Федерация, МПК В02С 4/08. Пресс-валковый агрегат для получения кубовидного материала / А.А. Романович, Т. Н. Орехова, Л.Г. Романович, Д.В. Романишин, М.А. Романович; заявитель и патентообладатель ФГБОУВО БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2016111820; заявл. 29.03.2016; опубл. 27.06.2017, Бюл. № 18. 6 с
20. Романович А.А., Воронов В.П., Романович М.А., Прокопенко В.С. Агрегат для получения кубовидного щебня из горных пород со сланцевой текстурой // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. 2023. №. 2. С. 28–32. DOI:10.46418/2619-0729_2023_2_6.

Информация об авторах

Романович Алексей Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры подъемно-транспортные и дорожные машины. E-mail: alexejrom@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Прокопенко Владислав Станиславович, старший преподаватель кафедры подъемно-транспортные и дорожные машины. E-mail: vlad.prokopenko1@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лаптева Марина Алексеевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры подъемно-транспортные и дорожные машины. E-mail: bel31rm@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Четвериков Борис Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры подъёмно-транспортные и дорожные машины. E-mail: await_rescue@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Анненко Дмитрий Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры подъёмно-транспортные и дорожные машины. E-mail: mixalich_bgtu@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 24.09.2025 г.

© Романович А.А., Прокопенко В.С., Лаптева М.А., Четвериков Б.С., Анненко Д.М., 2026

Romanovich A.A., Prokopenko V.S., Lapteva M.A., Chetverikov B.S.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

E-mail: vlad.prokopenko1@yandex.ru

ENERGY-SAVING COMPLEX RESEARCH

Abstract. *The article provides information about Russian and foreign scientists whose scientific works are devoted to the development of technologies and equipment for the production of cuboid-shaped crushed stone from various rocks. Their research has made a significant contribution to the study of crushing and crushing processes in the production of crushed stone materials in the following areas: modeling and analysis of crushing processes; in the development of new technologies and crushing equipment, and others. However, currently existing and developing technologies and equipment do not take into account the texture of crushed rocks during crushing, which does not significantly improve their efficiency. The article describes the design of an energy-saving crushing complex developed at the inventive level, which makes it possible to obtain crushed stone of specified sizes, including cuboid, from rocks with a shale texture. The analysis of graphical dependencies constructed according to the obtained equations for calculating its main parameters is presented, as a result of which it is established that with an increase in the speed parameters of the working bodies. The initial strength of the crushed rocks and the overall dimensions of the working bodies also have a significant impact on the energy performance of the complex.*

Keywords: *cube-shaped crushed stone, directional feeds, grinding units, energy conservation, anisotropic rocks.*

REFERENCES

1. Khalturina O.A., Tereshkina N.E. Russia's national projects in the transport sector [Natsionalnyye proyekty Rossii v transportnoy sfere]. Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava. 2024. No. 4-1. Pp. 170–174. DOI: 10.17513/vaael.3347. (rus)
2. Kukin A.V. Principles of optimizing the parameters of overburden rock development technology, taking into account their subsequent crushing into gravel [Printsipy optimizatsii parametrov tekhnologii razrabotki vskryshnykh porod s uchetom ikh posleduyushchego drobleniya na shcheben]. Mining informational and analytical bulletin. 2009. No. 1. Pp. 221–223. (rus)
3. Shekov V.A., Luodes H.T., Ivanov A.A., Vozhdaenko A.Ya., Myasnikova O.V. Crushed stone of Karelia: properties, application and prospects of use: monograph. Institute of Geology, 2004. 171 p. (rus)
4. Terekhin E.P., Shlyakhov A.M., Parfenov D.S. Improving the efficiency of the installation for obtaining crushed stone at the Lebedinsky GOK Joint-Stock Company [Povyshenie effektivnosti ustanovki dlya polucheniya shchebnya na DSF AO «Lebedinskij GOK»]. Sovremennye problemy gorno-metallurgicheskogo kompleksa. Nauka i proizvodstvo. 2024. Pp. 343–349. (rus)
5. Stefan Yu. V., Abdullaev A. R. Mathematical model of technology for manufacturing cuboid crushed stone based on the theory of reliability [Matematicheskaya model' tekhnologii izgotovleniya kubovidnogo shchebnya na osnove teorii nadezhnosti]. Novyye materialy i tekhnologii v mashinostroyenii. 2023. No. 37. Pp. 132–138. (rus)
6. Pertsev A.Y. Development of measures to improve the efficiency of the enterprise on the example of the Siberian mining and metallurgical company [Development of measures to improve the efficiency of the enterprise on the example of the Siberian mining and metallurgical company]. Aktualnyye problemy transporta v XXI veke. 2024. Pp. 351–359. (rus)
7. Marchenko A.S., Mikhalkov V.S. Obtaining cuboid crushed stone [Polucheniye kubovidnogo shchebnya]. Materialy, oborudovaniye i resursosberegayushchiye tekhnologii. 2024. Pp. 251–252. (rus)
8. Ustinov I.D., Shuloyakov A.D. The production of cuboid crushed stone is an innovative stage in the development of the building materials industry

[Proizvodstvo kubovidnogo shchebnya - innovatsionnyy etap razvitiya promyshlennosti stroitel'nykh materialov]. Stroitel'nye Materialy. 2017. No. 5. Pp. 66–68. (rus)

9. Shuloyakov A.D. On the production of high-quality cuboid crushed stone [O proizvodstve vysokokachestvennogo kubovidnogo shchebnya]. Stroitel'nye Materialy. 2017. No. 7. Pp. 56–59. (rus)

10. Khalov R.Sh. Review and analysis of crushing machines [Obzor i analiz drobilnykh mashin]. Izvestiya KSTU named after I. Razzakov. 2015. No. 1(34). Pp. 91–94. (rus)

11. Gruzdev A.V., Osadchy A.M., Gazaleeva G.I. Technology of obtaining cuboid crushed stone in cone crushers [Tekhnologiya polucheniya kubovidnogo shchebnya v konusnykh drobilnikakh]. Mining Machines and Automatics. 2007. No. 7. Pp. 13–19. (rus)

12. Reutova Ya.I. Improving the design of an impact crusher [Sovershenstvovaniye konstruksii rotornoy drobilki]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 4. Pp. 136–139. (rus)

13. Powell M.S., Morrison R.D. The Future of Comminution Modelling. International Journal of Mineral Processing. 2007. Vol. 84, No. 1–4. Pp. 228–239.

14. Asbjornsson G., Tavares L.M., Mainza A., Yahyaei M. Different Perspectives of Dynamics in Comminution Processes. Minerals Engineering, 2022, Vol. 176, 107326.

15. Bouchard J., LeBlanc G., Levesque M., Radziszewski P., Georges-Filteau D. Breaking Down Energy Consumption in Industrial Grinding Mills. CIM Journal. 2019. Vol. 10. No. 4. Pp. 157–164.

16. Huse A. Advanced Comminution Techniques for Improved Mineral Processing. International Mining, 2018, Pp. 14–19.

17. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Prokopenko V.S., Shestakov Yu.G. Roller press unit. Patent RF, no. 2024111657, 2024.

18. Romanovich A.A., Meshcheryakov S.A., Romanovich L.G., Romanovich M.A. A roller press shredder for producing cuboid material. Patent RF, no. 2016111820, 2016.

19. Romanovich A.A., Orekhova T.N., Romanovich L.G., Romanishin D.V., Romanovich M.A. A roller press unit for producing cuboid material. Patent RF, no. 2024111657, 2013.

20. Romanovich A.A., Voronov V.P., Romanovich M.A., Prokopenko V.S. An aggregate for producing cuboid crushed stone from rocks with a shale texture [Agregat dlya polucheniya kubovidnogo shchebnya iz gornyx porod so slantsevoy teksturoy]. Vestnik of St. Petersburg state university of technology and design. 2023. No. 2. Pp. 28–32. DOI: 10.46418/2619-0729_2023_2_6 (rus)

Information about the author

Romanovich, Alexey A. DSc, Professor. E-mail: alexejrom@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Prokopenko, Vladislav S. Senior Lecturer. E-mail: vlad.prokopenko1@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Lapteva, Marina A. PhD in Economics, Associate Professor. E-mail: bel31rm@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Chetverikov, Boris S. PhD, Associate Professor. E-mail: await_rescue@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Annenco, Dmitry M. PhD, Associate Professor. E-mail: mixalich_bgtu@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 24.09.2025

Для цитирования:

Романович А.А., Прокопенко В.С., Лаптева М.А., Четвериков Б.С., Анненко Д.М. Исследование энергосберегающего комплекса // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 7. С. 110–117. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-7-110-117

For citation:

Romanovich A.A., Prokopenko V.S., Lapteva M.A., Chetverikov B.S. Energy-saving complex research. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2026. No. 7. Pp. 110–117. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-7-110-117