

УДК 622.732

А. Н. ИВАНОВ, Н. О. ТИХОНОВ (ЗАО «НПО «РИВС»)

## ПРИМЕНЕНИЕ ВАЛКОВЫХ ДРОБИЛОК ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПУТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ РУДОПОДГОТОВКИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ



А. Н. ИВАНОВ,  
директор департамента



Н. О. ТИХОНОВ,  
зав. сектором

В практике решения проектных задач по модернизации схем рудоподготовки действующих горно-обогатительных предприятий одно из перспективных направлений — применение валковых дробилок высокого давления (ВДВД) в качестве дополнительной стадии тонкого дробления руды перед ее подачей в цикл измельчения. В статье приведены основные преимущества ВДВД, задачи обязательных лабораторных и полупромышленных испытаний. Представлен пример выполненного технико-экономического расчета для конкретного объекта — КОО «Предприятие Эрдэнэт».

**Ключевые слова:** рудоподготовка, валковые дробилки высокого давления, испытания, моделирование, проектирование.

Многие действующие горно-обогатительные предприятия по мере отработки рудных запасов вынуждены решать проблемы, которые не возникали на ранних этапах их работы. В переработку вовлекаются руды новых месторождений, а на ранее разрабатываемых — руды более глубоких горизонтов. При этом зачастую изменяется не только содержание полезных минералов в исходной руде, но и физические свойства руды (твердость и абразивность). Все эти факторы, как правило, увеличивают себестоимость получаемого товарного концентрата. В этих условиях на многих действующих предприятиях ищут пути повышения объемов переработки.

Одним из перспективных направлений, позволяющих в ряде случаев успешно решать эту задачу, является реконструкция схем рудоподготовки с применением валковых дробилок высокого давления (ВДВД) в качестве дополнительной стадии тонкого дробления руды перед ее подачей в цикл измельчения. Снижение крупности дробленой руды позволяет увеличить производительность измельчительного оборудования на 15–20 % (в отдельных случаях и выше) в зависимости от особенностей руды и действующей схемы рудоподготовки [1].

С момента первых опытов внедрения ВДВД в цементном производстве (1986 г.) для измельчения клинкера изготовители этого оборудования добились серьезных успехов в части совершенствования конструкции и подбора требуемых материалов для изготовления рабочих валков, что позволяет в настоящее время эксплуатировать ВДВД с коэффициентом использования до 94 %, существенно повышена ремонтпригодность и удобство их обслуживания оборудования [2, 3].

Современные ВДВД весьма компактны, вследствие чего требуют создания меньших фундаментов, чем традиционные конусные дробилки. Машины обладают низким уровнем вибрации и шума, а образующаяся в ходе разрушения рудная пыль может быть легко удалена с помощью систем аспирации.

В настоящее время ВДВД производят целый ряд машиностроительных предприятий. Лидирующие позиции в этой области занимают Polysius (ThyssenKrupp Resource Technologies GmbH), KHD (KHD Humboldt Wedag AG) и Köppern (Maschinenfabrik Köppern GmbH & Co. KG), базирующиеся в Германии. Все изготовители применяют одну компоновочную схему установки, представленную на **рис. 1**, различаются в основном конструктивные решения отдельных узлов.

В состав ВДВД входят:

- два блока валков, каждый включает два блока подшипников, стальной вал, футеровочный бандаж;
- две приводные системы, каждая включает электропривод, понижающий редуктор, карданный вал;
- гидropневматическую нагнетательную систему;
- питающее устройство, включающее загрузочную коробку, внутренние направляющие плиты, другие основные элементы;
- корпусную раму;
- систему смазки.

Основной задачей при проектировании схем рудоподготовки с применением ВДВД является выбор типоразмера машины, обеспечивающего требуемую производительность при достижении заданной степени сокращения крупности. Пропускная способность ВДВД в основном определяется геометрией валков, типом футеровочных бандажей и физико-механическими свойствами разрушаемого материала. Для выбранного типоразмера ВДВД и материала пропускная способность регулируется скоростью вра-



**Рис. 1. Общий вид и основные элементы конструкции ВДВД**

щения валков.

Гранулометрический состав продукта контролируется измельчающим усилием между валками, благодаря которому материал, находящийся в зоне сжатия, подвергается воздействию высокого давления, что, в свою очередь, приводит к возникновению микротрещин и разрушению образцов. В настоящее время корреляция между измельчающим усилием и гранулометрическим составом продукта разрушения определяется экспериментально для каждого материала в ходе его тестирования.

Проведение предварительных лабораторных исследований и полупромышленных испытаний является обязательным этапом определения целесообразности применения ВДВД в конкретных условиях. При этом оценивают следующие факторы:

- общее соответствие исследуемой руды методу разрушения высоким давлением;
- ключевые технологические параметры ВДВД (удельная пропускная способность, удельное усилие сжатия и соответствующий удельный расход энергии);
- гранулометрический состав продукта разгрузки;
- абразивное воздействие руды на поверхность футеровочных бандажей.

Программа исследований фиксирует ряд параметров, например: истинную и насыпную плотность руды; ее гранулометрический состав до разрушения; влажность; насыпную плотность руды после сжатия в рабочей зоне; скорость вращения валков; общее измельчающее усилие; потребляемую мощность; давление нагнетательной системы; ширину щели между валками до загрузки материала; рабочую ширину щели; удельный расход энергии; производительность; гранулометрический состав продукта разрушения (центральной, краевых зон и общей разгрузки); соотношение между количеством продукта центральной и краевых зон.

На основании результатов испытаний, а также текущих технологических показателей имеющегося дробильного и измельчи-

тельного оборудования с помощью моделирующего компьютерного обеспечения JKSimMet, применяемого в НПО «РИВС» для разработки новых и модернизации существующих схем рудоподготовки, формируется математическая модель, позволяющая с высокой степенью надежности прогнозировать технологические показатели схемы рудоподготовки в зависимости от изменения параметров оборудования.

В качестве примера подобного подхода представлены результаты выполненного в НПО «РИВС» технико-экономического расчета «Техпереворужения I очереди рудоподготовки, IV стадии дробления» обогатительной фабрики КОО «Предприятие Эрдэнэт». Задача расчета заключалась в разработке технологии рудоподготовки, позволяющей увеличить производительность дробильно-транспортного отделения (ДТО-1) с текущих 20,6 млн т в год до 25 млн т без установки дополнительного измельчительного оборудования.

С целью подтверждения возможности применения ВДВД в условиях КОО «Предприятие Эрдэнэт», уточнения их прогнозируемых технологических показателей и окончательного выбора режима работы оборудования исследован процесс дробления руды с применением валков высокого давления на полупромышленном стенде лаборатории ThyssenKrupp с определением:

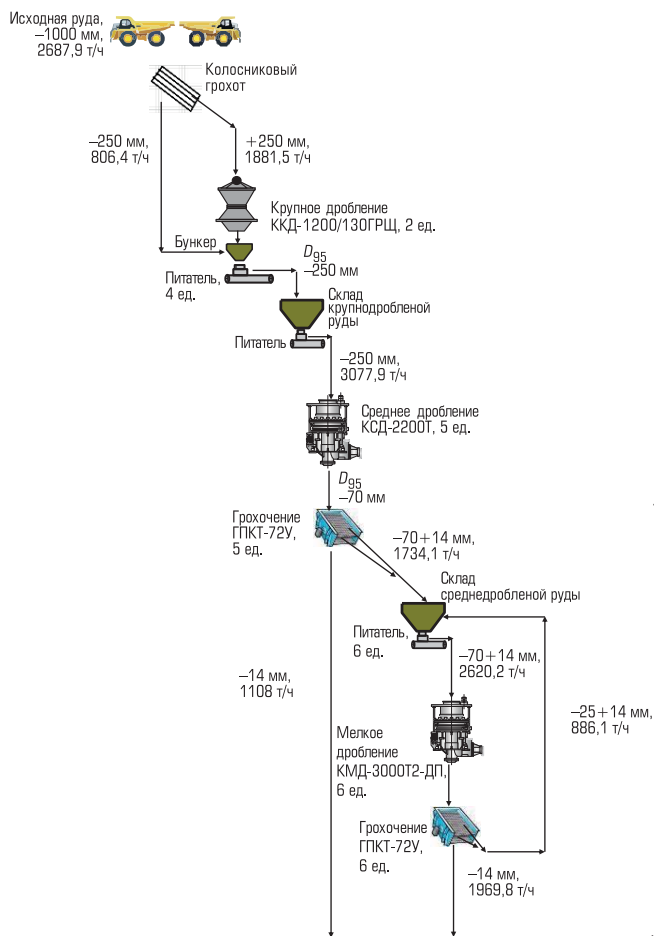
- необходимой измельчающей силы;
- влияния влажности питания на свойства дробленого материала, производительность и износ оборудования;
- удельной производительности;
- циркулирующей нагрузки;
- уточненного индекса Бонда шарового измельчения продукта дробления в ВДВД.

На основании результатов испытаний и последующих расчетов сделан вывод, что применение ВДВД позволит снизить крупность поступающей на измельчение руды с одновременным повышением до 50–55 % содержания в ней класса –2,5 мм, что даст возможность увеличить производительность имеющимся мельничным парком с обеспечением необходимой для последующего обогащения крупности измельченного продукта.

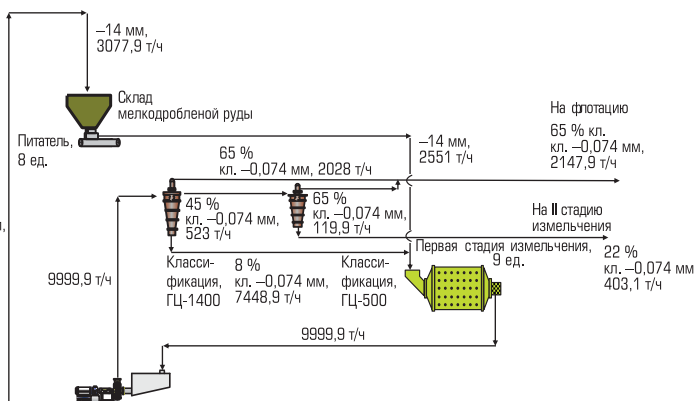
Существующая технологическая схема I очереди рудоподготовки КОО «Предприятие Эрдэнэт» является классической схемой трехстадиального дробления с замкнутым циклом в III стадии (мелкое дробление). Технологическая схема (включая I стадию измельчения) приведена на **рис. 2**.

Руда из карьера крупностью –1000 мм самосвалами подается в две дробилки ККД-1200/130ГРЦ. Перед дробилками установлены колосниковые грохоты со щелью шириной 150 мм. Надрешетный продукт грохотов подается в дробилки, а подрешетный после объединения с дробленой рудой крупностью –250 мм поступает в бункера, из которых системой питателей и ленточных конвейеров направляется на склад крупнодробленой руды.

Вторая стадия дробления (в открытом цикле с грохотами ГПКТ-72У) осуществляется в дробилках КСД-2200Т2-Д (5 ед.). Дробленый продукт транспортируется на промежуточный склад корпуса среднего и мелкого дробления. Затем руда поступает в дробилки мелкого дробления КМД-3000Т2-ДП (6 ед.). Надре-



**Рис. 2. Существующая технологическая схема I очереди рудоподготовки на обогатительной фабрике КОО «Предприятие Эрдэнэт» (годовой объем переработки 20,6 млн т)**



шетный продукт грохотов ГПКТ-72У, установленных под дробилками, возвращается на склад среднедробленой руды, образуя замкнутый цикл мелкого дробления.

Подрешетный продукт всех грохотов среднего и мелкого дробления (номинальной крупностью  $d_{95} = 14,8$  мм) системой конвейеров направляется на склад мелкодробленой руды. Из склада руда подается в мельницы I стадии измельчения (6 мельниц МЩЦ-5500×6500 и 3 мельницы МЩЦ-5800×6900), работающие в замкнутом цикле с трехпродуктовыми гидроциклонами ГЦ-1400. Тонкий слив гидроциклонов крупностью 65 % класса -0,074 мм самотеком поступает в контактный чан перед коллективной флотацией.

Определяющим производителем всей технологической цепочки является замкнутый цикл стадии мелкого дробления, существующие измельчительные мощности при текущей крупности поступающей руды также не в состоянии увеличить объем переработки более чем на 5–7 % при сохранении требуемой крупности измельченной руды.

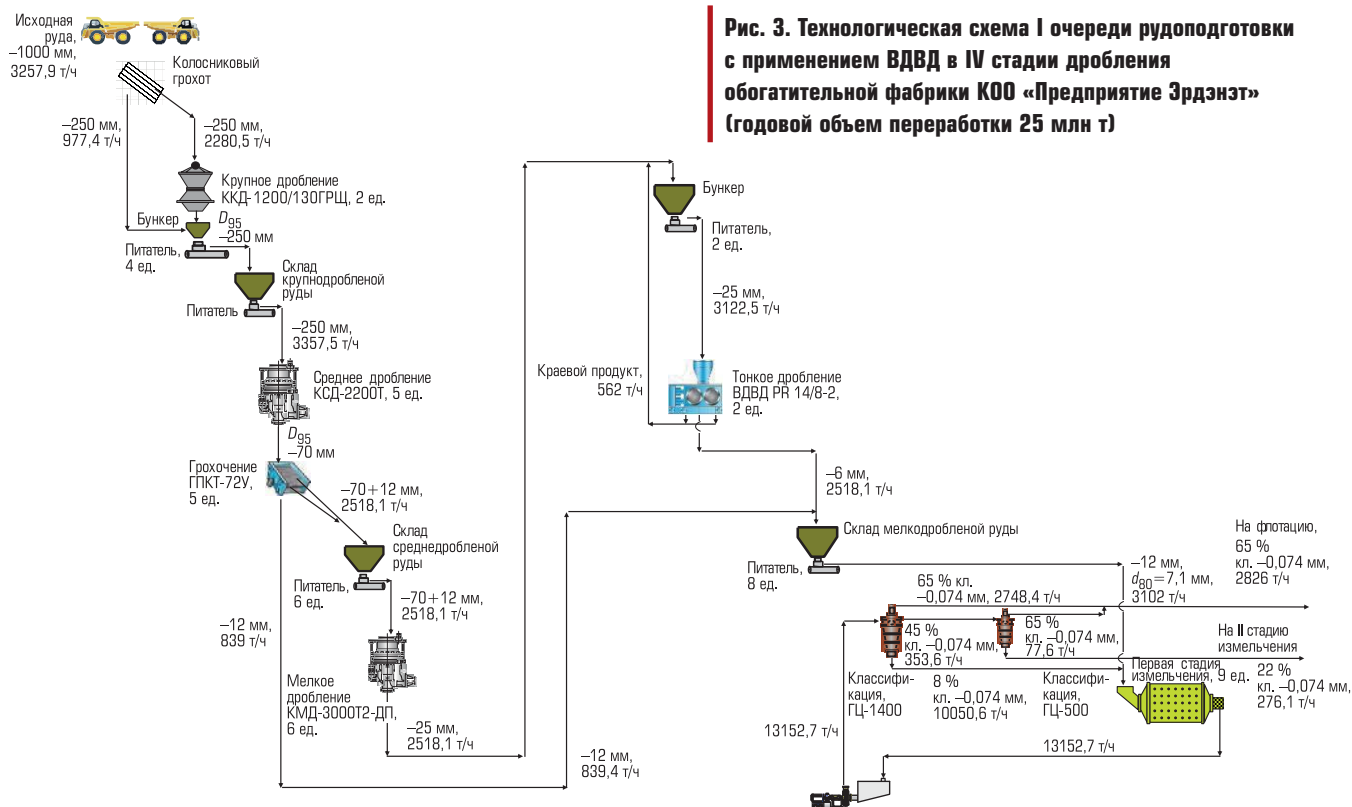
Следует отметить, что за годы работы предприятия специалистами КООП «Эрдэнэт» была проделана большая работа по совершенствованию и модернизации рудоподготовки, что позволило увеличить объем переработки с проектных 16 млн т в год до текущего уровня 20,6 млн т. Добиться этого удалось за счет замены дробилок мелкого дробления КМД-2200 на дробилки КМД-

3000Т2-ДП, установки в корпусе мелкого и среднего дробления дополнительной дробилки КМД-3000Т2-ДП, замены грохотов и ситовых поверхностей на более эффективные, что позволило снизить крупность поступающего на измельчение материала с 25 до 14,8 мм, обеспечить возможность увеличения объема переработки существующими мельницами.

Все резервные возможности при этом задействованы, и дальнейшее повышение объема переработки без коренного изменения технологии рудоподготовки невозможно. В месте с тем выполненная совместно со специалистами НПО «РИВС» полномасштабная модернизация флотационного отделения дает возможность существенного увеличения объемов.

В соответствии с разработанными техническими решениями предлагается перевести дробилки мелкого дробления на работу в открытом цикле, что исключит циркулирующую нагрузку на дробилки и позволит увеличить объем переработки без установки дополнительного дробильного оборудования мелкого дробления в III стадии, а продукт мелкого дробления направить в цикл тонкого дробления с применением ВДВД, работающих в полуоткрытом цикле с рециркуляцией «краевого» продукта, в котором наблюдается наибольшее закрупление дробленого продукта. Технологическая схема с применением ВДВД (включая I стадию измельчения) приведена на **рис. 3**.

Крупность питания мельниц ( $d_{95}$  — крупность по 5%-ному



**Рис. 3. Технологическая схема I очереди рудоподготовки с применением ВДВД в IV стадии дробления обогатительной фабрики КОО «Предприятие Эрдэнэт» (годовой объем переработки 25 млн т)**

остатку на сите;  $d_{с/в}$  — средневзвешенная крупность;  $F_{80}$  — крупность по 20%-ному остатку на сите) в соответствии с разработанными решениями изменится следующим образом:

- существующая (после дробления в КМД):  $d_{95} = 14,8$  мм,  $d_{с/в} = 7,5$  мм,  $F_{80} = 12,2$  мм;
- проектируемая (после дробления в ВДВД):  $d_{95} = 10,8$  мм,  $d_{с/в} = 2,9$  мм,  $F_{80} = 7,1$  мм.

Одновременно (согласно результатам исследований) применение ВДВД позволяет снизить на 10 % индекс Бонда за счет разупрочнения руды, сжимаемой в слое под высоким давлением руды [1]. Эти факторы дают возможность повысить объем переработки руды существующим мельничным парком на 20 % и обеспечить заданный объем переработки 25 млн т в год.

В объем выполненной работы входят проектные разработки основных компоновочных и архитектурных решений.

Согласно выполненным расчетам экономической эффективности планируемых мероприятий, срок окупаемости с момента ввода нового оборудования в эксплуатацию составит 2 года и 9 месяцев.

Безусловно, ВДВД не является универсальным средством для решения абсолютно всех проблем, в каждом конкретном случае требуется провести анализ существующих условий, особенностей конкретных руд, необходимо выполнить пробные испытания с последующим компьютерным моделированием для определения прогнозируемых показателей, детальный экономический расчет.

Однако, несомненно, что применение ВДВД создает для последующих технологических процессов определенные преимущества. Потенциальная экономия энергозатрат на дальнейшее из-

мельчение (и рудоподготовку в целом) обуславливает значительное снижение капитальных и эксплуатационных затрат. Применение ВДВД делает целесообразным вовлечение в эксплуатацию бедных руд, что невозможно при их переработке по традиционным технологиям дробления и полусамоизмельчения.

ЗАО «НПО «РИВС» работает в тесном сотрудничестве с ведущими изготовителями ВДВД, обладает достаточным опытом в разработке и совершенствовании схем рудоподготовки, имеет в своем распоряжении современные средства компьютерного моделирования процессов (программное обеспечение JKSimMet и собственные программные разработки), входящая в состав НПО «РИВС» проектная часть — ЗАО «РИВС-проект» использует передовые решения в области проектирования, таким образом, Объединение способно выполнять весь необходимый для успешного внедрения ВДВД объем работ, начиная с организации и проведения необходимых исследований руд, выполнения экономического анализа целесообразности внедрения новой техники и заканчивая выпуском рабочей проектной документации и технического сопровождения реализации решений на площадке заказчика.

*Библиографический список*

1. Morsky P., Klemetti M., Knuutinen T. A comparison of high pressure roller mill and conventional grinding. Proceedings XIX International Mineral Processing Congress, 1995. Vol. 1, P. 55–58 SME.
2. Klymowsky R., Cordes H. The Modern Roller Press — Practical Applications in the Ore and Minerals Industry // Aufbereitungs Technik. 1999. Vol. 40. No. 8. P. 387–396.
3. Putzelt N., Knecht J., Burchardt E., Klymowsky R. Challenges for High Pressure Grinding in the New Millenium. Seventh Mill Operators

"GORNYI ZHURNAL"/"MINING JOURNAL", 2014, № 11, pp. 22–26	
<b>Title</b>	<b>Application of high pressure roll crushers is a prospective way of modernization of ore preparation of operating mining-concentration enterprises</b>
<b>Author 1</b>	Name & Surname: <b>Ivanov A. N.</b>
	Company: <b>RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)</b>
	Work Position: <b>Director, Ore Pre-Processing Department</b>
	Contacts: <b>e-mail: rivs@rivs.ru</b>
<b>Author 2</b>	Name & Surname: <b>Tikhonov O. N.</b>
	Company: <b>RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)</b>
<b>Author 2</b>	Work Position: <b>Head of subdivision</b>
<b>Abstract</b>	<p>Improvement of ore pretreatment processes has always been a priority trend mining and processing modernization since ore pre-processing is the most expensive process stage of beneficiation.</p> <p>One of the promising directions, which in some instances has enabled effectivization of ore pre-processing at operating plants, is redesign of an ore pre-processing circuit by introduction of high pressure grinding rolls as an auxiliary stage of fine crushing of ore before grinding. Reduction of size of the ore grinding feed allows the increase in the milling equipment output by 15–20 % depending on features of a specific ore type and on characteristics of the current ore pre-processing chart.</p> <p>In order to estimate material behavior in the work zone of HPGR, laboratory and semi-commercial tests are carried out as a compulsory stage of feasibility study of the technology application under certain conditions.</p> <p>At the present time, RIVS is designing new charts and upgrades the existing schemes of ore pre-processing based on the test data and current process indexes of crushing and grinding equipment on hand using JKSim computer simulation software package. The obtained mathematical model allows high-reliable forecasting of the production data of the ore pre-processing chart at varied parameters of the involved equipment.</p> <p>As an illustration of the described approach, the article presents the technical-and-economic calculation for "Ore Pre-Processing Stage I Technical Upgrading, Crushing Stage IV" accomplished for the processing plant of Erdenet Mining Corporation.</p>
<b>Keywords</b>	Ore pre-processing, high pressure grinding rolls, testing, modeling, design.
<b>References</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Morsky P., Klemetti M., Knuutinen T. A comparison of high pressure roller mill and conventional grinding. Proceedings of XIX International Mineral Processing Congress. 1995. Vol. 1. pp. 55–58. SME.</li> <li>2. Klymowsky R., Cordes H. The Modern Roller Press - Practical Applications in the Ore and Minerals Industry. Aufbereitungs Technik. 1999. Vol. 40, No. 8. pp. 387–396.</li> <li>3. Putzelt N., Knecht J., Burchardt E., Klymowsky R. Challenges for High Pressure Grinding in the New Millenium. Seventh Mill Operators Conference. Kalgoorlie, 2000. WA. pp. 47–55.</li> </ol>

УДК 622.732

**Э. БУРХАДТ, М. КЕССЛЕР** (ThyssenKrupp Resource Technology)

## ПРИМЕНЕНИЕ ВАЛКОВЫХ ДРОБИЛОК ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В ГОРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ


 Э. БУРХАДТ,  
главный технолог

 М. КЕССЛЕР,  
руководитель проекта

Первые валковые дробилки высокого давления (ВДВД) были успешно внедрены в конце 1980-х годов в цементной отрасли промышленности и дали возможность значительно снизить расход электроэнергии. Потенциал их применения в горнодобываю-

Энергоэффективные системы дезинтеграции, такие, как валковые дробилки высокого давления (ВДВД), являют собой технически и экономически жизнеспособное решение тех сложных задач, которые стоят перед горноперерабатывающей промышленностью сегодня и встанут завтра. Опыт доказывает, что применение ВДВД повышает конкурентоспособность горноперерабатывающей промышленности. На сегодняшний день ВДВД успешно применяют в технологических процессах различного вида.

**Ключевые слова:** валковые дробилки высокого давления, роллер-пресс, горные породы, полезные ископаемые, барабанные шаровые мельницы, мелкое дробление, додрабывание, окомкование.

© Бурхадт Э., Кесслер М., 2014