

МЕЛЬНИЦА САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ, ОПЕРЕДИВШАЯ ВРЕМЯ



КОЧНЕВ В.Г.
Директор
ООО «ТТД»,
канд. техн. наук



ГРУШИНСКАЯ О.В.
Заместитель
директора
ООО «ТТД»

Разговоры о замещении импортной техники и технологий ведутся много лет. В настоящей статье представлены конкретные, внедренные разработки на замену оборудования самоизмельчения западных производителей.

Даже по прошествии 130 лет эксплуатации мельниц остаются неизученные вопросы, на которые предложены инженерные решения, на взгляд авторов, кардинально меняющие представление о конструкции оборудования и о роли таких элементов, как футеровка и решетка [1,2].

Для наглядности на рис. 1 показаны фотографии работающих мельниц самоизмельчения с размерами барабанов $D \times L = 1,7 \times 0,8$ м, $D \times L = 3,0 \times 1,1$ м, $D \times L = 4,0 \times 1,12$ м и $D \times L = 5,02 \times 1,33$ м, закрепленных на валу консольно.

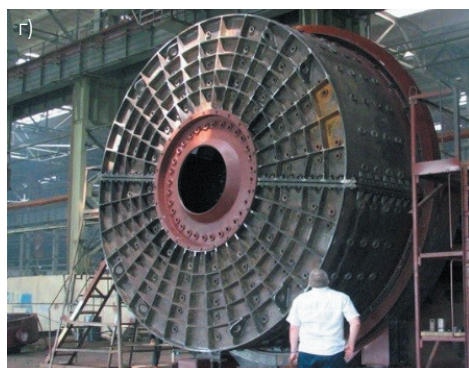
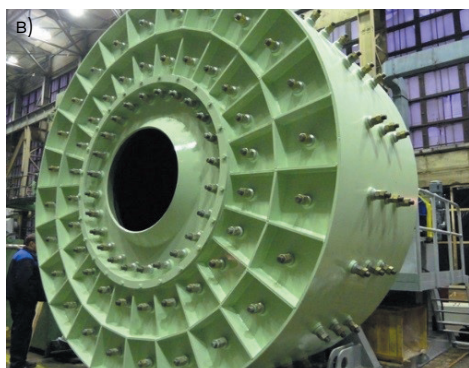
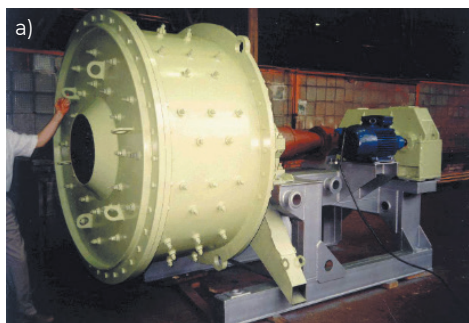


Рисунок 1. Мельницы самоизмельчения: а) $D \times L = 1,7 \times 0,8$ м; б) $D \times L = 3,0 \times 1,1$ м; в) $D \times L = 4,0 \times 1,12$ м; г) $D \times L = 5,02 \times 1,33$ м

Представленные разработки, несомненно, являются **инновационными**. Причины этого следующие:

1. **Конфигурация барабана**, которая имеет совершенно нетипичное соотношение диаметра к длине (D:L) — 3,75–8,8. При этом для мелких машин диаметром 3–5 м этот параметр составляет 3,75–4,45, а для мельниц большого диаметра (8–17 м) — 5,53–8,8. Для конкурентных мельниц диаметром 10–13 м соотношение находится в пределах 1,9–2,2. Обоснование преимущества высокого значения соотношения D:L будет представлено ниже.

2. **Необычная конструкция футеровки**, которая была названа каблучковой. Главное ее преимущество заключается в колоссальных показателях применения для некоторых руд (например, кимберлитов), а именно 80-процентном приросте производительности при снижении энергозатрат до 55 %. Более подробно каблучковая футеровка рассмотрена в журнале «Золотодобыча» № 5(294).

3. **Разгрузочная решетка**, которая является неотъемлемой частью мельницы. Чрезвычайно малый объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проведенных по данному компоненту в России и в мире, в какой-то степени оправдывает его низкие показатели, что и послужило основной причиной перехода на малоэффективную разгрузку через горловину (сливной тип разгрузки). Более подробно разгрузочная решетка рассмотрена в журнале «Золотодобыча» № 6(295).

4. **Отсутствие необходимости использования уникальных станков** для производства крупногабаритных мельниц, что делает их недостижимыми (в наше время и в обозримом будущем) по скорости изготовления и доставки к месту эксплуатации по сравнению с оборудованием конкурентов.

5. На базе принципиального решения, а именно консольного крепления барабана, появляется **возможность создания уникальных модификаций**, таких как двухконсольные мельницы, где оба барабана работают в режиме самоизмельчения, либо один барабан

работает как первичная мельница самоизмельчения, а второй — как шаровая мельница. Оба барабана монтируются на одном валу и на одной раме.

6. Мельницы работают **на подшипниках качения**, используя либо консистентную (при диаметре барабана до 8 м), либо местную циркуляционную смазку (свыше 8 м). Мощные маслостанции и уникальные по сложности подшипники скольжения, как у оборудования конкурентов, не требуются.

7. **Наличие собственной несущей рамы**, что позволяет использовать натуральную подложку (ровный участок земли) для монтажа мелких мельниц либо бетонную подложку (300–500 мм) для монтажа крупных мельниц. При этом меньшая масса мельниц (в два раза) при одинаковой производительности по сравнению с оборудованием конкурентов позволяет смонтировать их и на металлических высотных конструкциях. Важно также, что установка мельницы в горизонтальном положении с корректировкой до десятых долей градуса не является обязательной.

8. **Применение прямого привода** (без венцовой шестерни) для мельниц мощностью до 1 000 кВт и небольшой (до 4 м) венцовой шестерни для мельниц мощностью свыше 1 000 кВт.

КОНСТРУКЦИЯ МЕЛЬНИЦЫ САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КОНСОЛЬНОГО ТИПА

На фотографии (рис. 2) показана мельница с размерами барабана $D \times L = 4,0 \times 1,4$ м. Видно, что она имеет не-



Рисунок 2. Мельница самоизмельчения консольного типа с размерами барабана $D \times L = 4,0 \times 1,4$ м

сущую раму, на которой смонтирован привод, состоящий из вала, закрепленного на двух подшипниковых опорах, и зубчатой муфты, насаженной на один конец вала и соединенной с тихоходным валом редуктора. Быстроходный вал редуктора связан с электродвигателем посредством гидравлической муфты. На другом конце вала закреплен барабан мельницы.

Как видно из рис. 2, передний торец барабана имеет отверстие для загрузки руды. Для проведения ремонтных или профилактических работ оно увеличивается до 2 м, что позволяет выполнить, например, перефутеровку в течение суток, тем более что для режима самоизмельчения предлагается установить легкую резиновую футеровку каблучкового типа.

На рис. 3 показаны основные монтажные и транспортные узлы мельницы консольного типа, а на рис. 4 — последовательность монтажных работ.

Как упоминалось выше, консольные мельницы самоизмельчения имеют нетипичное соотношение диаметра к длине ($D \times L$). Что дает увеличение этого параметра?

В работе [3], являющейся настольной книгой горного инженера-технолога, отмечено, что из-за большой разницы в содержании крупного класса (речь идет о шаровых мельницах) в загрузочной и разгрузочной частях барабанной мельницы эффективность измельчения меняется от максимума к минимуму. Поэтому, как считают авторы: **«Было бы идеальным измельчение вести в мельницах настолько коротких, что материал подвергался бы минимально необходимому количеству ударов, и весь образовавшийся готовый продукт сразу же удалялся из мельницы»**. Казалось бы, очевидное утверждение, однако эта идея своей реализации практически не находит.

К настоящему времени разработчики измельчительного оборудования

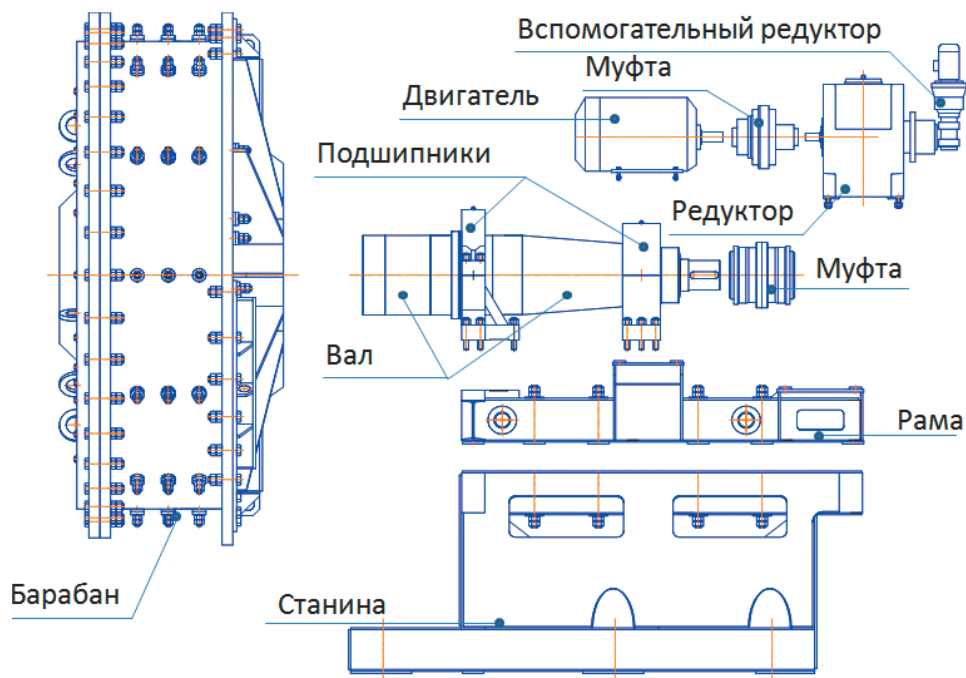


Рисунок 3. Монтажные и транспортные узлы мельницы самоизмельчения консольного типа с размерами барабана $D \times L = 5,0 \times 1,33$ м



Рисунок 4. Последовательность монтажных работ мельницы самоизмельчения с размерами барабана $D \times L = 5,0 \times 1,33$ м

окончательно не определились в части оптимизации соотношения диаметра барабана мельницы к его длине (D:L). На практике этот показатель колеблется от 0,3 до 3,0, причем наибольшее расхождение наблюдается для мельниц само- и полусамоизмельчения. Например, на предприятиях в Северной Америке характерное значение D:L составляет 2,5–3,0, в Скандинавских странах — 0,9–1,1, в Южной Африке — 0,3–0,5.

Для шаровых мельниц показатель D:L более унифицирован и составляет 0,7–0,9 (редко встречается 0,3 и 1,1), хотя, на взгляд авторов настоящей статьи, именно для такого оборудования он особенно важен.

Возвращаясь к мельницам самоизмельчения, можно сказать, что, во-первых, следы работы кусков руды, характерная гранулометрия видны на первом метре от загрузки мельницы материалом: есть крупные, средние, мелкие и очень мелкие куски, окатанные, дробленые. Во-вторых, через 1,5 м и по всей длине (в данном случае рассматривается мельница $D \times L = 4 \times 10$ м) превалирует окатанная галка размером 50–80 мм без видимых следов дробления. Убедительная картина, позволяющая сделать однозначный вывод: эффективная работа дробления-измельчения на расстоянии 1–1,5 м от загрузки мельницы; последующая длина обеспечивает в основном истирающий режим, малоэффективный для сформированной галки и с точки зрения использования подводящей мощности.

Этот эффект был хорошо изучен советским исследователем С.М. Гольдманом на примере сухого самоизмельчения в мельнице «Аэрофол» ($D \times L = 8,7 \times 2,6$ м). Используя отражательные кольца на тор-

цах мельницы, ему удалось увеличить ее производительность на 23 % и снизить удельные энергозатраты на 10–16 % [4]. Исследователь объяснил это снижением продольной сегрегации, картина которой была частично показана авторами настоящей статьи при описании мельницы в ЮАР.

В табл. 1 приведены значения D:L для некоторых зарубежных мельниц с размерами барабанов от 5,49×1,83 до 13,42×7,01 м [5], а также для отечественных мельниц компаний «Тяжмаш», «Уралмаш» и ООО «ТТД».

Как видно из табл. 1, с ростом размеров снижаются значения D:L для зарубежных мельниц, мельниц «Тяжмаш» и «Уралмаш», в то время как для мельниц ООО «ТТД» этот показатель увеличивается.

С учетом приведенной выше цитаты, а также известной зависимости производительности от диаметра (в степени 2,6) и длины барабана (в степени 0,8–1,0) [5], очевидно, что наиболее эффективным решением является мельница с барабаном большого диаметра и малой длины. В мире такого оборудования, однако, не выпускают в связи с нехваткой в достаточном количестве станков, способных расточить барабаны на 12 или 14 м.

ООО «ТТД» также не располагает станками для изготовления барабанов большого диаметра, однако обладает техническим решением, позволяющим делать мельницы на 15, 17 и 20 м, используя рядовые станки.

На рис. 5 показаны сравнительные геометрические характеристики двухконсольной мельницы ООО «ТТД» и самой крупной на сегодняшний день зарубежной мельницы.

ТАБЛИЦА 1. НЕКОТОРЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СООТНОШЕНИЯ D:L
ДЛЯ ЗАРУБЕЖНЫХ И ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МЕЛЬНИЦ

Зарубежные мельницы			Отечественные мельницы								
Размер барабана, D×L, м		D:L	Тяжмаш			Уралмаш			ТТД		
			Размер барабана, D×L, м		D:L	Размер барабана, D×L, м		D:L	Размер барабана, D×L, м		D:L
D	L	D	L	D		L	D		L	D	
5,49	1,83	3,00	5,00	2,30	2,17	5,70	1,85	3,08	5,00	1,33	3,76
6,71	2,13	3,15	7,00	2,30	3,04	8,70	2,60	3,35	8,30	1,50	5,53
7,32	2,44	3,00	7,00	7,00	1,00				10,80	1,80	6,00
7,91	3,05	2,59	9,00	3,00	3,00				15,60	2,00	7,80
8,23	3,35	2,46	10,50	5,40	1,94				17,60	2,00	8,80
8,53	3,66	2,33							19,80	2,00	9,90
9,75	4,27	2,28									
10,36	4,57	2,27									
10,97	4,88	2,25									
11,58	5,79	2,00									
12,19	6,40	1,90									
12,80	6,71	1,91									
13,42	7,01	1,91									

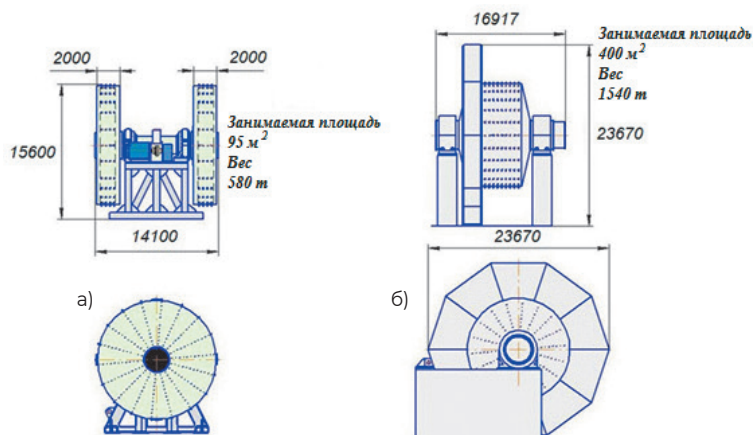


Рисунок 5. а) Мельница ООО «ТТД», двухконсольная, с размерами барабана 17,6×4,0 м; б) зарубежная мельница с размерами барабана 13,4×7,0 м

При конструкторских проработках консольных мельниц различных диаметров ООО «ТТД» большое внимание уделялось и уделяется вычислениям прочностных характеристик силовых элементов оборудования. Для этого были приглашены специализированные компании, владеющие современными приемами расчета. На основании полученных данных было установлено, что срок службы вала мельницы составляет более 38 лет, а срок службы самого

нагруженного подшипника качения — 22 года.

На рис. 6 показаны результаты расчета барабана и вала консольной мельницы с размерами барабана 5,0×1,33 м методом конечных элементов. Поскольку такие мельницы работают 15–18 лет, а использующие их компании за весь период эксплуатации ни по каким вопросам принципиального технического характера не обращались, можно считать, что расчет выполнен правильно.

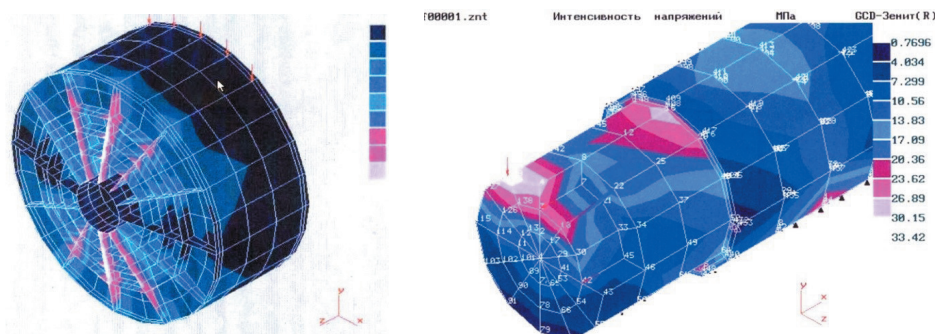


Рисунок 6. Расчет прочностных характеристик барабана и вала мельниц самоизмельчения консольного типа с размерами барабана 5,0×1,33 м

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на обширный материал, представленный в настоящей статье, вероятно, часть исследований, испытаний, разработок и идей не удалось донести до читателя. Если тематика заинтересовала, авторы просят обращаться в ООО «ТТД».

Обобщая сказанное, была проделана огромная работа по созданию совершенно новой мельницы самоизмельчения. Выполнены теоретические расчеты, проведено колоссальное количество конструкторских и экспериментальных работ, найдено практическое применение оборудования. Внедренные, пусть

пока и не в большом количестве, мельницы — от самой маленькой (1,7×0,8 м), работающей в геологической экспедиции в Якутии, до самой большой (5,0×1,33 м), которая эксплуатируется компанией «РУСАЛ», — оправдали ожидания разработчиков.

Чрезвычайно важно, что, пожалуй, впервые в мире была создана мельница в комплексе с внутренними элементами — футеровкой и решеткой, — отсюда и ее высокая эффективность. Также были проработаны крупные мельницы с диаметром барабана 15, 17 и 19 м, обоснованы планируемые показатели, которые существенно превышают показатели западного оборудования. ⚡

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bond E.C. An expert reviews the design and evolution of early autogenous grinding systems. *Engineering and Mining J.*, 1964, №8, pp. 105-111.
2. Giesser H.S. Tube milling practice. *Engineering and Mining J.*, 1914, Feb., p. 463.
3. Андреев, С.Е. Зверевич, В.В., Перов В.А. Дробление, измельчение и грохочение. Издательство «Недра», М., 1969.
4. С.М. Гольдман, Э.Д. Ключева, К.Г. Френкель. Влияние типа футеровки торцевых стенок мельницы «Аэрофол» на показатели ее работы. Тр. института «Механобр», Л., 1975. Вып. 140.
5. Яшин, В.П. Исследование закономерностей мокрого самоизмельчения руд в мельницах типа «Каскад». Дисс. канд. техн. наук. Л., ЛГИ им. Плеханова, 1969.
6. Бортников, А.В., Самуков, А.Д. (НПК «Механобр-техника»), Баранов, В.Ф. (ЗАО «Механобр-инжиниринг»). Обогащение руд, №6, 2004.



ООО «Техника и Технология Дезинтеграции»

тел.: +7 (921) 930-8711

e-mail: v.cochnev@yandex.ru | www.ttd.spb.ru