

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕЛЬНИЦЫ СУХОГО МНОГОКРАТНОГО УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ «МАЛЫЙ ТАРЫН»

В. Р. Винокуров

Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Якутск, Россия

**Аннотация:** Приведены результаты экспериментальных исследований, в которых изучалась эффективность применения центробежной ступенчатой мельницы сухого многократного ударного действия при измельчении разных классов крупности и различных технологических продуктов (дробления, сепарации, грохочения), полученных при разных схемах переработки проб руд месторождения «Малый Тарын», в разработанных технологических схемах в связке с пневмосепаратором ПОС-2000. При оценке эффективности измельчения ЦМВУ-800 учитывалось образование измельченного геоматериала крупностью менее 0,071 мм, т.к. данная крупность геоматериала является достаточной для дальнейшего обогащения, например, на флотационных машинах. Экспериментально показана возможность применения сухого многократного ударного измельчения для руд месторождения «Малый Тарын» фракционной крупностью: -5+3 мм; -3+1 мм; -3+0 мм. Продукты измельчения крупностью более 1 мм (преимущественно класс -3+1 мм) возвращались на повторные циклы измельчения, т.к. эффективная максимальная крупность питания пневмосепаратора ПОС-2000 составляет 1 мм. Количество циклов измельчения зависело от остаточной доли содержания классов крупностью более 1 мм. Полученные результаты проведенных экспериментальных исследований показали, что при измельчении проб руд месторождения «Малый Тарын» центробежная ступенчатая мельница ударного действия ЦМВУ-800 обеспечила эффективную степень измельчения, необходимую для стабильной работы пневмосепаратора ПОС-2000.

**Ключевые слова:** центробежная мельница, количество циклов, измельчение, крупность, дробление, степень измельчения, грохочение, пробы, измельченный материал, эффективность.

**Для цитирования:** Винокуров В. Р. Применение мельницы сухого многократного ударного действия при измельчении золотосодержащих руд месторождения «Малый Тарын» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12-1. – С. 48–58. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_121\_0\_48.

### Dry impact milling of Maly Taryn gold ore

V. R. Vinokurov

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, RAS, Yakutsk, Russia

**Abstract:** This paper describes the experimental research data on the efficiency of a centrifugal dry impact mill in grinding of different size middlings (crushing, separation, screening) produced

in various circuit processing of ore samples from the Maly Taryn deposit. The experiments were aimed to assess usability of the centrifugal dry impact mill in new process circuits together with air separator mill POS-2000. The efficiency of centrifugal dry impact mill TSMVU-800 is estimated based on the amount of ground particles smaller than 0.071 mm as this particle size is sufficient for further processing, for instance, in flotation machines. The experiments prove applicability of dry impact milling of Maly Taryn ore having fraction sizes of: -5+3 mm; -3+1 mm; -3+0 mm. The mill products larger than 1 mm (mostly fraction size -3+1 mm) was sent for re-grinding as the effective maximum size of feed for air separator mill POS-2000 was 1 mm. The number of milling cycles was governed by the residue amount of size larger than 1 mm. The experimental research has proved that centrifugal dry impact mill TSMVU-800 employed in milling Maly Taryn ore samples ensures effective fineness number for stable operation of air separator mill POS-2000.

**Key words:** centrifugal mill, number of cycles, milling, size, crushing, fineness number, screening, samples, ground material, efficiency.

**For citation:** Vinokurov V. R. Dry impact milling of Maly Taryn gold ore. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(12-1):48–58. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_121\_0\_48.

## Введение

Процессы измельчения, как наиболее затратные в обогащении полезных ископаемых, всегда требовали новых подходов и решений в разработке измельчительного оборудования [1–3]. Затраты, связанные с рудоподготовкой, составляют основные расходы на обогащение полезных ископаемых. Большие затраты обусловлены высокими требованиями к степени измельчения, связанными с тонкой вкрапленностью полезных ископаемых, низкой эффективностью работы устройств, КПД которых составляет от 0,1 до 1% [4–6]. В настоящее время для разработки небольших месторождений как альтернатива наиболее дорогостоящему мокрому измельчению с использованием шаровых мельниц многие исследования направлены на разработку малогабаритных и высокоэффективных измельчителей сухого ударного действия. Это обусловлено тем, что они менее энергозатратны, просты по конструкции и имеют небольшие габаритные размеры при относительно высокой производительности [7–9].

При разработке новых измельчительных установок основными требова-

ниями являются: максимальное селективное раскрытие минералов полезного компонента, широкий диапазон крупности исходного измельчаемого материала, снижение энерго- и металлоемкости. Поскольку горно-технологические условия и физико-механические свойства исходной руды могут меняться, при разработке одного и того же месторождения, как правило, изучаются несколько разных схем переработки исходного сырья. В связи с этим при выборе измельчительного оборудования большую роль играет универсальность, т.е. возможность применения измельчительной установки в разных схемах переработки с измельчением различных технологических продуктов и разных классов крупности материалов, поступающих на измельчение. В лаборатории ОПИ ИГДС СО РАН разработана центробежная ступенчатая мельница, учитывающая эти принципиальные требования [10–11]. Ранее опытно-промышленный образец ступенчатой мельницы ЦМВУ-800 в составе модульной передвижной рудоподготовительной установки МПРОУ (дробилка ДКД-300, мельница ЦМВУ-800, пневмосепаратор

ПОС–2000) был испытан при крупно-объемном опробовании месторождений «Одолго», «Задержнинское» [12].

Первоначально при разработке исходная крупность питания измельчаемого геоматериала для эффективной работы мельницы была рассчитана на диапазон крупности от 1,6 до 2,5 мм. Ниже приведены результаты экспериментальных работ по применению ЦМВУ–800 при разных схемах переработки с измельчением руд фракционной крупностью: –5+3 мм; –3+1; мм; –3+0 мм.

### **Экспериментальные исследования по сухому измельчению руд при многократном ударном воздействии**

При измельчении разных технологических продуктов и классов крупности золотосодержащих руд месторождений «Малый Тарын» использовалась центробежная ступенчатая мельница ЦМВУ–800, которая является новым классом измельчителей, основанных на многократном динамическом воздействии [13–14].

Исходный материал был представлен двумя крупнообъемными пробами. Технологическая проба № 1 (балансовые руды) по вещественному составу представляет собой песчанистые алевриты, аргиллиты, тектониты; жильный сливной кварц – кальцитового состава, лимонизированный по трещинам. По шкале Протодьяконова исследуемая руда относится к категории «довольно крепких пород». Технологическая проба № 2 (забаланс) по вещественному составу схожа с пробой № 1. Для каждой пробы были разработаны технологические схемы переработки, в которых были задействованы: дробилка комбинированного ударного действия ДКД–300, центробежный измель-

читель ЦМВУ–800 и пневматический сепаратор ПОС–2000.

Была разработана методика проведения исследований, в ходе которой были подобраны оптимальные режимные параметры работы мельницы ЦМВУ–800 в связке с пневмосепаратором ПОС–2000. В основном, технологические продукты для измельчения были представлены продуктами дробления и грохочения классом крупности –3+0 мм. Для определения гранулометрического состава и степени измельчения отбирались пробы после каждого цикла измельчения. Степень измельчения рассчитывалась как соотношение средневзвешенных размеров частиц (по классам крупности) по массе частиц продуктов соответственно до и после измельчения. Согласно методике все продукты измельчения подвергались рассеву крупностью –1 мм и пневмосепарации. Продукты измельчения крупностью более 1 мм (преимущественно класс –3+1 мм) возвращались на повторные циклы измельчения, т.к. эффективная максимальная крупность питания пневмосепаратора ПОС–2000 составляет 1 мм. Количество циклов измельчения зависело от остаточной доли содержания классов крупностью более 1 мм.

Согласно схеме переработки пробы № 1 измельчению подвергались различные технологические продукты: класс крупности –5+3 мм после грохочения исходной пробы руды; класс крупности –3+1 мм, полученный после грохочения исходной пробы с последующей пневмосепарацией и грохочением; класс крупности –3+1 мм, полученный после грохочения исходной пробы с дальнейшим дроблением и грохочением продуктов дробления и последующей пневмосепарацией с грохочением продуктов пневмосепаратора.

В пробе № 2 измельчению подвергался класс крупности  $-5+3$  мм после дробления, также измельчались полученные продукты дробления и последующего грохочения крупностью

$-3+0$  мм и продукты грохочения исходного материала крупностью  $-3+0$  мм.

При измельчении пробы № 1 классов крупности  $-5+3$  мм максимальное количество циклов измельчения

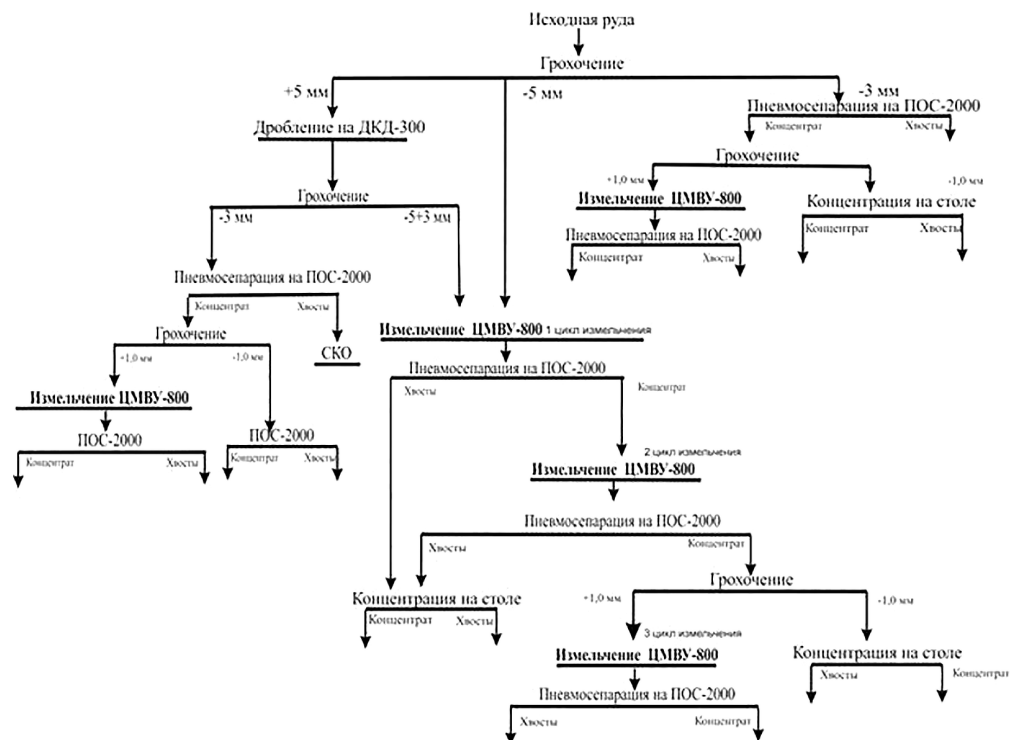


Рис. 1. Разработанная технологическая схема для пробы № 1

Fig. 1. The developed technological scheme for sample No. 1

Таблица 1

**Гранулометрические составы продуктов измельчения руды после 3 циклов измельчения пробы № 1 классов крупности  $-5+3$  мм, полученных после грохочения**  
**Granulometric compositions of ore grinding products after 3 grinding cycles of sample No. 1 of  $-5+3$  mm size classes obtained after screening**

Класс крупности, мм	Выход, %			
	Исходная руда	1 цикл	2 цикл	3 цикл
$-0,071+0$	—	3,4	6,7	1,9
$-0,1+0,071$	—	2,6	2,7	1,7
$-0,2+0,1$	—	6,4	7,9	4,1
$-0,315+0,2$	—	5,3	7,4	7,2
$-0,5+0,315$	—	6,5	10	5,8
$-1+0,5$	—	18,4	22,5	29
$-1,6+1$	—	22,7	22,9	36,1

Окончание табл. 1

Класс крупности, мм	Выход, %			
	Исходная руда	1 цикл	2 цикл	3 цикл
-2,5+1,6	—	10,2	8	14,2
-3,2+2,5	14,5	18,6	11,9	0
-4+3,2	65,4	5,7	0	0
-5+4	20,1	0,2	0	0
Степень измельчения		14,3	8,8	4,2

составило 3 цикла, определенное по убыли массы остаточного количества материала в классах  $-3+1$  мм, так как для эффективной работы пневмосепаратора ПОС-2000 при подобранных условиях сепарации необходимо измельчение до крупности менее 1 мм.

Как видно по результатам, представленным в табл. 1 и на рис. 2, степень измельчения (эффективность измельчения) с количеством циклов соответственно уменьшается. Максимальная степень измельчения достигается на 1 цикле измельчения и равна 14,3. Степень измельчения с каждым циклом уменьшается до значения 4,2 в третьем цикле.

Как видно из рис. 3, степень измельчения практически одинаковая, небольшая разница объясняется разницей в гранулометрическом составе исходных материалов перед измельчением, в особенности разницей доли содержания весомых верхних классов крупности  $-3,2+2,5$  мм;  $-2,5+1,6$  мм. Так степень измельчения продуктов распада исходной руды составила 10,7, а для материала того же класса, полученного после предварительного дробления исходных классов руды  $+5$  мм, чуть выше и составляет 12,5. Разница в степени измельчения двух вариантов обусловлена разностью гранулометрического состава исходных продуктов.

Измельчение пробы № 2 проводилось аналогично пробе № 1 с фракци-

ями крупностью  $-5+3$  мм и  $-3+0$  мм, полученными при расходе исходной руды и дроблении крупных классов  $+5$  мм. Согласно общей технологической схеме обработки пробы № 2 (рис. 4), измельчению в два цикла подвергались объединенные классы крупности  $-5+3$  мм до и после дробления, а также полученные продукты дробления и последующего грохочения крупностью  $-3+0$  мм; в один цикл измельчались продукты грохочения исходного материала крупностью  $-3+0$  мм. В ходе проведенных испытаний было установлено, что для объединенных классов крупности  $-5+3$  мм достаточно двух циклов измельчения на центробежной мельнице ЦМБУ-800.

Степень измельчения после первого цикла составила 19,5, после второго 12,5, это объясняется тем, что на второй цикл измельчения поступают более мелкие классы крупности, вследствие чего снижается степень измельчения. При этом гранулометрические составы продуктов измельчения первого и второго циклов по выходу контрольного класса крупности  $-0,071$  мм практически одинаковы, что говорит о достигаемом пределе измельчения при принятых режимах измельчения (частота вращения рабочих органов).

Также в два цикла измельчались полученные продукты дробления и последующего грохочения крупностью  $-3+0$  мм.

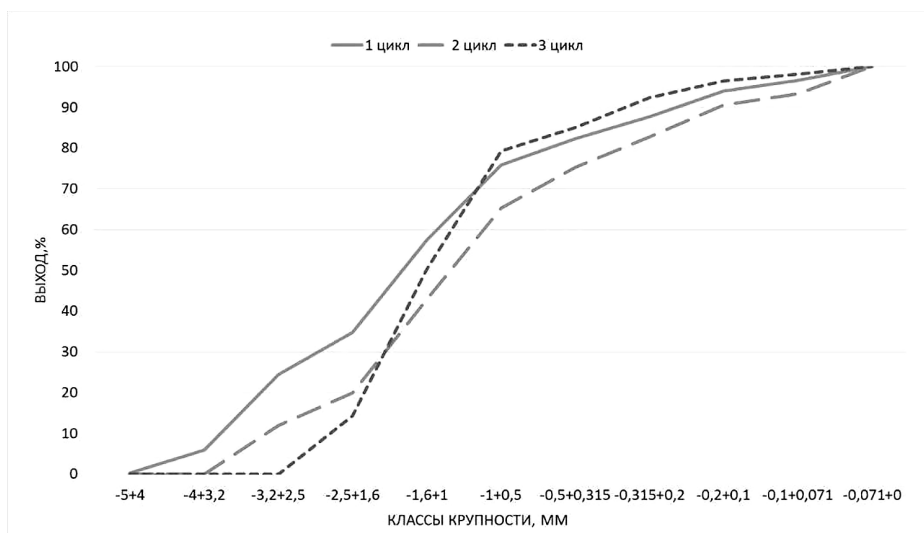


Рис. 2. Суммарный выход классов по плюсу 3 циклов измельчения пробы № 1 классов крупности  $-5+3$  мм  
 Fig. 2. The total output of classes plus 3 grinding cycles of sample No. 1 of the size classes  $-5+3$  mm

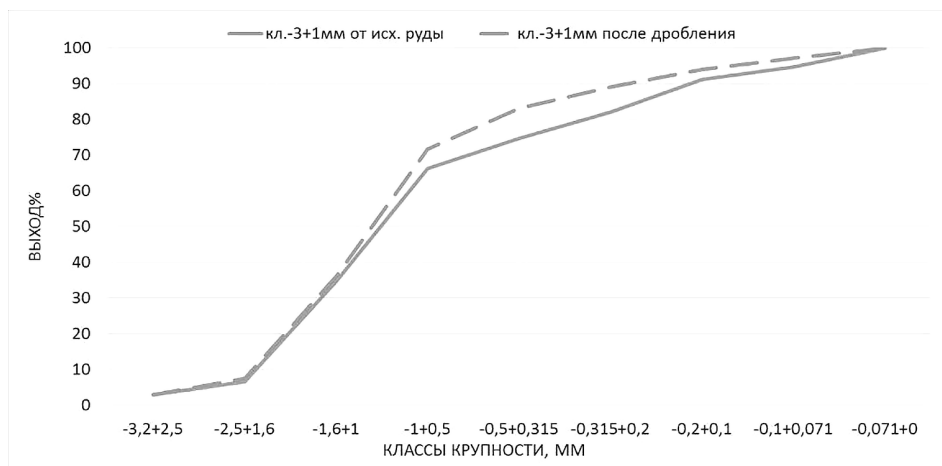


Рис. 3. Суммарный выход классов по плюсу продуктов измельчения пробы № 1 классов крупности  $-3+1$  мм отсева исходной руды, полученных после предварительного дробления  
 Fig. 3. The total yield of the plus classes of the grinding products of sample No. 1 of the fineness classes  $-3+1$  mm of the initial ore sieving obtained after preliminary crushing

Как видно из табл. 2, в первом и втором циклах степени измельчения практически одинаковы, одинаковы и полученные гранулометрические составы продуктов измельчения (рис. 6). Степень измельчения фракций меньше крупностью 3 мм ниже, чем степень

измельчения более крупного класса  $-5+3$  мм.

По результатам, приведённым в табл. 3, видно, что степень измельчения класса крупности  $-3+0$  исходной пробы руды № 2 чуть выше, чем степень измельчения класса крупности

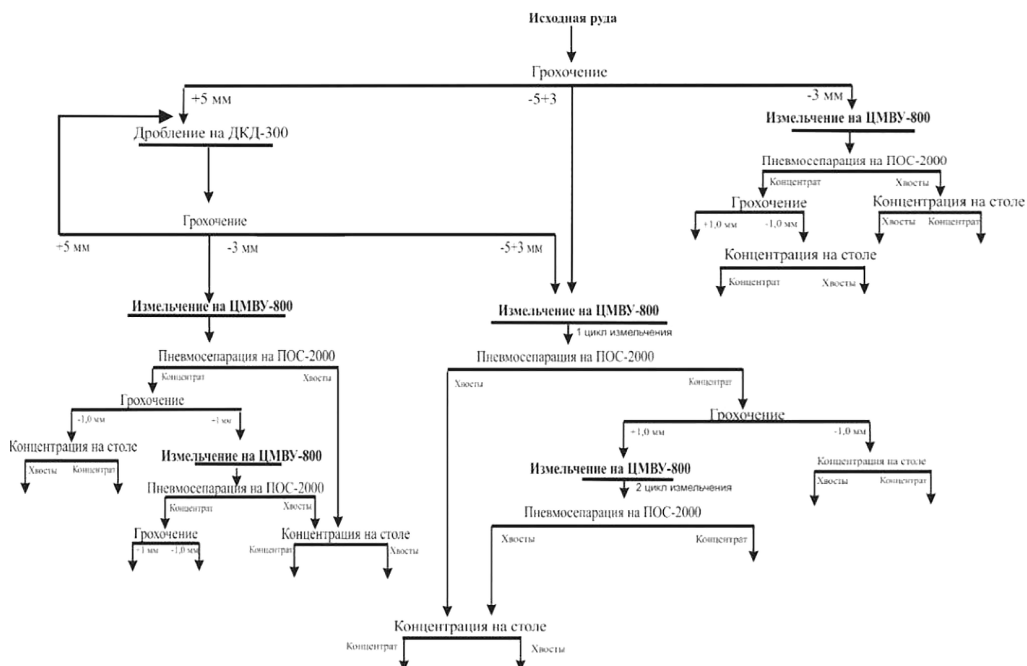


Рис. 4. Разработанная технологическая схема для пробы № 2  
 Fig. 4. The developed technological scheme for sample No. 2

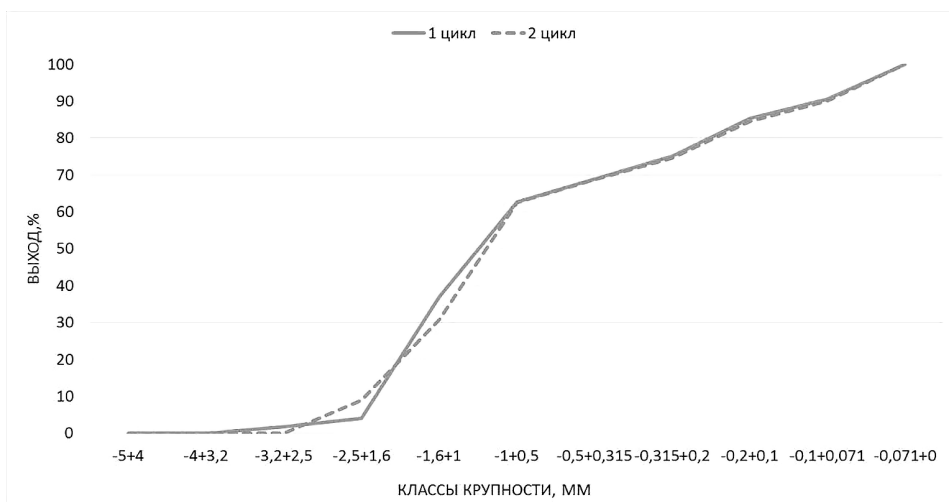


Рис. 5. Суммарный выход классов по плюсу двух циклов измельчения пробы № 2 классов крупности  $-5+3$  мм после дробления  
 Fig. 5. The total output of the classes plus two grinding cycles of sample No. 2 of the fineness classes  $-5+3$  mm after crushing

$-3+0$  мм, полученного после дробления и последующего грохочения (табл. 2, рис. 6).

В оценке эффективности измельчения ЦМВУ-800 учитывалось образование измельченного геоматериала

Таблица 2

**Гранулометрический состав продуктов измельчения пробы № 2 классов крупности –3+0 мм после дробления**

**Granulometric composition of the grinding products of sample No. 2 of the fineness classes –3+0 mm after crushing**

Классы крупности, мм	Выход, %		
	Исходная руда	1 цикл	2 цикл
–0,071+0	0,2	8,2	8,7
–0,1+0,071	0,4	5,8	5,6
–0,2+0,1	6,4	13,8	11,6
–0,315+0,2	3,5	8	9,1
–0,5+0,315	2,9	9,2	13
–1+0,5	7,6	23,7	33,4
–1,6+1	19,9	23	16,2
–2,5+1,6	31	4,6	1,7
–3,2+2,5	28,1	3,7	0,7
Степень измельчения		11,9	10,6

Таблица 3

**Гранулометрический состав продуктов измельчения пробы № 2 класса крупности –3+0 мм, полученный без дробления**

**Granulometric composition of the grinding products of sample No. 2 of the fineness class –3+0 mm obtained without crushing**

Классы крупности, мм	Выход, %	
	Исходная руда	Измельчение
–0,071+0	0	4,5
–0,1+0,071	0,1	2,6
–0,2+0,1	0,3	6,4
–0,315+0,2	0,9	4,3
–0,5+0,315	0,8	5,2
–1+0,5	3,9	21,2
–1,6+1	23,2	30,2
–2,5+1,6	34,3	9,6
–3,2+2,5	36,5	16
Степень измельчения		13,5

крупностью –0,071мм, данный класс крупности является контрольным, т.к. такая крупность геоматериала является достаточной для дальнейшего обогащения, например, на флотационных машинах. Суммарный выход контрольного класса крупности – 0,071 мм с учетом потерь (в виде трудноулавливаемой пыли до 10% от общего количества измельчаемого материала) оценивается в пределах 31% от исходной массы измельчаемого геоматериала,

что является приемлемым показателем для сухого ударного измельчения в мельнице ЦМВУ–800.

### **Заключение**

Полученные результаты проведенных экспериментальных исследований показали, что при измельчении проб руд месторождения «Малый Тарын» центробежная ступенчатая мельница ударного действия ЦМВУ–800 обеспечила эффективную степень



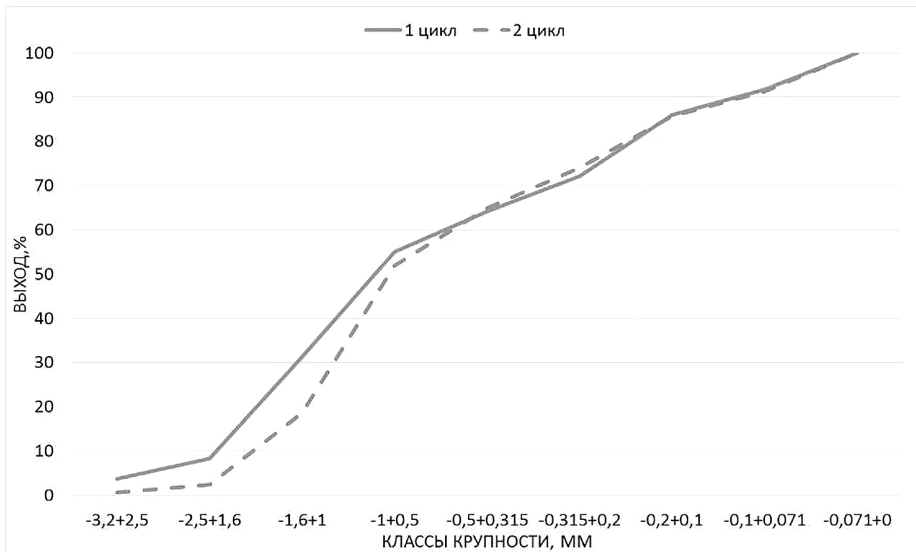


Рис. 6. Суммарный выход классов по плюсу двух циклов измельчения пробы № 2 классов крупности  $-3+0$  мм после дробления

Fig. 6. The total output of classes on the plus of two grinding cycles of sample No. 2 of size classes  $-3+0$  mm after crushing

измельчения, необходимую для стабильной работы пневмосепаратора ПОС-2000.

Экспериментально показана возможность применения сухого многократного ударного измельчения для руд месторождения «Малый Тарын» фракционной крупностью:  $-5+3$  мм;  $-3+1$ ; мм;  $-3+0$  мм. На примере руд месторождения «Малый Тарын» дана оценка возможности применения центро-

бежной мельницы ЦМВУ-800 сухого многократного ударного действия для разных классов крупности и различных технологических продуктов (дробления, сепарации, грохочения), что позволяет оценить возможность использования центробежной мельницы ЦМВУ-800 в связке с пневмосепаратором ПОС-2000 в различных технологических схемах переработки золотосодержащих руд.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Крупна П. И., Щербачев В. И. Перспективы реконструкции рудоподготовительных операций обогатительных фабрик на основе модернизации процессов дробления и нового поколения российского дробильно-классифицирующего оборудования // Горные машины и автоматика. -2004.- № 3. — С. 35–38.
2. J. F.G. Oliveira, R. J. Silvab, C. Duoc, F.Hashimoto's. Manufacturing Technology// Industrial challenges in grinding/Volume 58, Issue 2, 2009, pp. 663–680.
3. Armando F.d.V. Rodrigues, Homero Delboni Jr, Malcolm S. Powell, Luis Marcelo Tavares, Comparing strategies for grinding itabirite iron ores in autogenous and semi-autogenous pilot-scale mills, Minerals Engineering, Volume 163, 2021,106780, ISSN 0892–6875, <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.106780>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687521000091>)
4. Пузевич Е. В. Жернова технологий. // Добывающая промышленность, 2016. — №1. — С. 56–60.

5. Газалеева Г. И. Рудоподготовка. Дробление, грохочение, обогащение / Г. И. Газалеева, Е. Ф. Цыпин, С. А. Червяков. — Екатеринбург: ООО «УЦАО», 2014. —914 с.
6. Юсупов Т. С. Совершенствование разделительных процессов на основе селективного измельчения руд // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды. Т. 1. — Новосибирск: ИГД СО АН, 2012.
7. Hoon Lee, Heechan Cho, Jihoe Kwon. Powder Technology. Using the discrete element method to analyze the breakage rate in a centrifugal/vibration mill/ Department of Energy Systems Engineering, Seoul National University, South Korea. Seoul. Volume 198, Issue 3, 25 March 2010, pp. 364–372
8. Чантурия В. А., Маляров П. В. Обзор мировых достижений и перспективы развития техники и технологии дезинтеграции минерального сырья при обогащении полезных ископаемых // Современные методы технологической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья: материалы Междунар. совещ. “Плаксинские чтения–2012”, Петрозаводск, 10 – 14 сентября 2012 г. — Петрозаводск: КНЦ РАН, 2012.
9. Liu, L., Cao, D. & Sun S. Dynamic characteristics of a disk–drum–shaft rotor system with rub-impact. *Nonlinear Dyn* 80, 1017–1038 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11071-015-1925-4>
10. Патент №2150323 7 В 02 С 13/20. Центробежный измельчитель встречного удара / Матвеев А И, Григорьев А. Н., Филиппов В. Е. /Ин-т горн. дела Севера СО РАН. Заявл. 28.10.97; Оpubл. 10.06.2000 //Изобретения. Полезные модели. — 2000. — №16. — Ч. 2. — С. 268.
11. Матвеев А. И., Винокуров В. Р., Львов Е. С. Новое в рудоподготовке — аппараты дробления и измельчения многократного ударного действия. Горн. информ. — аналит. бюл. — 2016. — №8(специальный выпуск №21). —С. 242 — 252.
12. Матвеев А. И., Григорьев А. Н., Федоров Ф. М., Лебедев И. Ф., Львов Е. С. Винокуров В. Р. Рудообогатительный передвижной модульный комплекс. Патент РФ № 2281809 Оpubл.20.08.2006. Бюлл. №23.ч.1. — С.200.
13. Матвеев А. И., Винокуров В. Р. Экспериментальные исследования по интенсификации процессов измельчения в ступенчатой центробежной мельнице// Природные ресурсы Арктики и Субарктики Том 24 № 2, 2019 г. Якутск —С. 56 — 6411.
14. Винокуров В. Р. Экспериментальные исследования по определению влияния скорости воздушного потока на процесс измельчения в центробежной ступенчатой мельнице. Горн. информ.-аналит. бюл. — 2018. — № 9. — С. 158–165. **ПЛАЭ**

## REFERENCES

1. Krupna P. I., Shherbachev V. I. Prospects for the reconstruction of ore preparation operations of concentration plants based on the modernization of crushing processes and a new generation of Russian crushing and classifying equipment. *Gornye mashiny i avtomatika*. 2004. no. 3. pp. 35 – 38. [In Russ]
2. J. F.G. Oliveira, R. J. Silvab, C. Duoc, F.Hashimoto’s. Manufacturing Technology. *Industrial challenges in grinding*. Volume 58, Issue 2, 2009, pp. 663–680.
3. Armando F.d.V. Rodrigues, Homero Delboni Jr, Malcolm S. Powell, Luis Marcelo Tavares, Comparing strategies for grinding itabirite iron ores in autogenous and semi-autogenous pilot-scale mills, *Minerals Engineering*, Volume 163, 2021,106780, ISSN 0892 – 6875, <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.106780>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687521000091>)
4. Puzevich E. V. Millstones of technologies. *Dobyvayushchaya promyshlennost*, no.1, 2016, pp. 56 – 60. [In Russ]
5. Gazaleeva G. I., Cypin E. F., Chervjakov S. A. *Droblenie, grohochenie, obogashchenie* [Ore preparation. Crushing, screening, beneficiation]. Ekaterinburg: ООО «УЦАО», 2014. 914 p. [In Russ]
6. Yusupov T. S. *Sovershenstvovanie razdelitel’nyh processov na osnove selektivnogo izmel’cheniya rud* [Improvement of separation processes based on selective grinding of ores].

Fundamental'nye problemy formirovaniya tekhnogennoj geosredy. Vol. 1. Novosibirsk: IGD SO AN, 2012. [In Russ]

7. Hoon Lee, Heechan Cho, Jihoe Kwon. Powder Technology. Using the discrete element method to analyze the breakage rate in a centrifugal/vibration mill/ Department of Energy Systems Engineering, Seoul National University, South Korea. Seoul. Volume 198, Issue 3, 25 March 2010, pp. 364–372.

8. Chanturiya V. A., Malyarov P. V. *Obzor mirovyh dostizhenij i perspektivy razvitiya tekhniki i tekhnologii dezintegracii mineral'nogo syr'ya pri obogashchenii poleznyh iskopaemyh* [Review of world achievements and prospects for the development of technology and technology for the disintegration of mineral raw materials in mineral processing]. *Sovremennye metody tekhnologicheskoy mineralogii v processah kompleksnoj i glubokoj pererabotki mineral'nogo syr'ya: materialy Mezhdunar. soveshch. "Plakskinskie chteniya–2012"*, Petrozavodsk, 10–14 sentyabrya 2012 g. Petrozavodsk: KNC RAN, 2012.9. Kulebakin, V. G. *Primenenie mehanohimii v gidrometallurgicheskikh processah*, Novosibirsk, Nauka. 1988. 271 S. [In Russ]

9. Liu, L., Cao, D. & Sun, S. Dynamic characteristics of a disk–drum–shaft rotor system with rub-impact. *Nonlinear Dyn* 80, 1017–1038 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11071-015-1925-4>.

10. Patent no.2150323 7 V 02 S 13/20. Centrobezhnyj izmel'chitel' vstrechnogo udara. Matveev A I, Grigor'ev A. N., Filippov V. E. In-t gorn. dela Severa SO RAN. Zajavl. 28.10.97; Opubl. 10.06.2000. Izobreteniya. Poleznye modeli. 2000. no.16. Ch. 2. p. 268. [In Russ]

11. Matveev A. I., Vinokurov V. R., L'vov E. S. New in ore preparation crushing and crushing devices of repeated impact action. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016. no.8 (special'nyj vypusk no.21). pp. 242–252. [In Russ]

12. Matveev A. I., Grigoriev A. N., Fedorov F. M., Lebedev I. F., Lvov E. S. Vinokurov V. R. Ore-dressing mobile modular complex. RF Patent No. 2281809 Publ. 20.08.2006. Bull. No. 23. part 1. p. 200. [In Russ]

13. Matveev, A. I., Vinokurov V. R. Experimental studies on the intensification of grinding processes in a stepped centrifugal mill. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki*. Vol 24, 2019, no. 2. Yakutsk. pp. 56–6411. [In Russ]

14. Vinokurov V. R. Experimental studies to determine the effect of air flow rate on the grinding process in a centrifugal step mill. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018. no. 9. pp. 158–165. [In Russ]

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Винокуров Василий Романович* — мл. научный сотрудник лаб. ОПИ, [vaviro@mail.ru](mailto:vaviro@mail.ru), Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 43.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Vinokurov V. R.*, junior researcher of the Laboratory “Enrichment of Minerals”, [vaviro@mail.ru](mailto:vaviro@mail.ru), Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, RAS, Republic of Sakha (Yakutia) Yakutsk, Lenin ave. 43, Russia.

Получена редакцией 18.07.2021; получена после рецензии 02.11.2021; принята к печати 10.11.2021.

Received by the editors 18.07.2021; received after the review 02.11.2021; accepted for printing 10.11.2021.

