

Код МРНТИ 52.45.25

*А. Доберсек, А. Кирнарский

«ENGINEERING DOBERSEK GmbH» (г. Менхенгладбах, Германия)

ПЕРСПЕКТИВЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ

Аннотация. В статье приведены результаты пилотных испытаний тонкого дробления особо твердой и твердой железной руды Криворожского бассейна (Кривбасса) на полупромышленном ролл-прессе в замкнутом цикле с вибрационным грохотом при граничной крупности разделения 3,15 мм. Установлена возможность сокращения энергозатрат на шаровое измельчение руды на 30...35%, что позволяет адекватно поднять переработку по исходной руде. Установлены рациональные рабочие параметры ролл-пресса при работе на железной руде Кривбасса, степень механического разупрочнения руды при тонком дроблении в HPGR, энергопотребление после тонкого дробления руды, уровень повышения производительности шаровых мельниц за счет тонкого дробления. Магнитная сепарация продукта ролл-пресса позволяет вывести 22% отвальных хвостов. На заключительной стадии тонкого измельчения до крупности 95% класса -0,056 мм применена вертикальная бисерная мельница TOWERMILL, при этом удельные энергозатраты составили 9,8 кВт-ч/т измельченной железной руды.

Ключевые слова: обогащение, железная руда, вибрационный грохот, отвальные хвосты, энергосбережение, крупность, мельница.

Темір рудасын байытудың энергия сыйымдылығын төмендету перспективалары

Аңдатпа. Мақалада 3,15 мм бөлінудің шекаралық үлкендігі кезінде тербелмелі экраны бар жабық циклді жартылай өнеркәсіптік ролікті пресе Криворожск бассейнінің (Кривбасс) аса қатты және қатты темір кенін ұсақ ұсақтауға арналған пилоттық сынақтардың нәтижелері келтірілген. Кенді шарлы ұнтақтауға жұмсалатын энергия шығынын 30...35%-ға қысқарту мүмкіндігі анықталды, бұл бастапқы кен бойынша қайта өңдеуді барабар көтеруге мүмкіндік береді. Кривбасс темір рудасы жұмыс істеген кезде ролікті престің ұтымды жұмыс параметрлері, кенді ұсақтағаннан кейін HPGR-де ұсақ ұсақтау кезінде кенді механикалық бөлшектеу дәрежесі, ұсақ ұсақтау арқылы шар диірмендерінің өнімділігін арттыру деңгейіне орнатылады. Ролікті пресе өнімінің магниттік бөлінуі үйінді құйрықтарының 22% шығаруға мүмкіндік береді. 95% -0,056 мм классқа дейін ұсақтаудың соңғы сатысында тік моншақ диірмені қолданылды TOWERMILL, меншікті энергия шығыны 9,8 кВт-сағ/т ұсақталған темір рудасын құрады.

Түйінді сөздер: байыту, темір кені, дірілдек таселек, қалдықтар үйінді, энергия үнемдеу, іргілігі диірмен.

Prospects for reducing the energy intensity of iron ore beneficiation

Abstract. The article presents the results of pilot testing of fine crushing of especially hard and hard iron ore from the Kryvorezhensk (Kryvbass) on a semi-industrial roller press in a closed cycle with a vibrating screen at a boundary particle size of 3.15 mm. The possibility of reducing energy consumption for ball milling of ore by 30...35% has been established, allowing for an adequate increase in processing of the original ore. Rational operating parameters of the roller press during work on Kryvbass iron ore, the degree of mechanical ore softening during fine crushing in HPGR, energy consumption after fine crushing of ore, and the level of increased productivity of ball mills due to fine crushing have been determined. Magnetic separation of the roller press product allows for the recovery of 22% of tailings. In the final stage of fine grinding to a particle size of 95% in the class of -0.056 mm, a vertical bead mill TOWERMILL, was used, with specific energy consumption of 9.8 kWh per ton of crushed iron ore.

Key words: dressing, iron ore, vibroshaker, tailings dump, energy saving, scale, mill.

При питании шаровой мельницы продуктом дробления в валках высокого давления (HPGR) имеет место существенное сокращение энергозатрат при шаровом измельчении минерального сырья [1]. Улучшение измельчаемости руды может использоваться для повышения производительности существующих агрегатов, или для достижения более тонкоизмельченного помола, если это обусловлено технологическим процессом. При модернизации существующих и проектировании новых обогатительных фабрик процесс рудоподготовки с использованием HPGR может исключать мелкое дробление и/или первую стадию измельчения – классификации. Для подтверждения этой идеи были проведены пилотные технологические испытания крепких и особо крепких железных руд месторождений северной, центральной и южной части Кривбасса. Испытания проводились на полупромышленном ролл-прессе Köppern 60/10 – 230 (рис. 1).

Технические характеристики ролл-пресса Köppern 60/10 – 230 приведены в таблице 1.

Сначала тесты проводили в открытом цикле при различном давлении прессования (не менее трех тестов). Если влажность исходного материала значительно варьируется, то проводятся дополнительные испытания на пробах рудной шихты с наиболее высокой и наиболее низкой влажностью при заданной величине давления прессования. После завершения испытаний в открытом цикле переходили к проведению тестов в замкнутом режиме работы. В этом режиме измельчение осуществляется при одном или двух различных значениях давления прессования. В каждом случае требуется около пяти проходов, каждый раз с добавлением надрешетного продукта +3,15 мм к



Рис. 1. Полупромышленная установка ролл-пресса Köppern 60/10 – 230.

Сурет 1. Көпперн 60/10 – 230 жартылай өнеркәсіптік ролікті пресе қондырғысы.

Figure 1. Semi-industrial roller press installation Köppern 60/10 – 230.

новой партии загружаемого исходного материала с целью достижения устойчивого процесса измельчения в HPGR. Оптимальные рабочие параметры ролл-пресса при работе на железной руде Кривбасса сведены в таблицу 2.

Разупрочнение руды оценивалось по степени уменьшения индекса Бонда для продукта HPGR по сравнению с исходным продуктом, при этом отдельно измеряли индекс Бонда для неклассифицированной и классифицированной тонкодробленной руды. Результаты измерений представлены в таблице 3.

Таблица 1

Технические характеристики роллер-пресса Koppert 60/10 – 230

Кесте 1

Koppert 60/10 – 230 роликті пресінің техникалық сипаттамалары

Table 1

Technical specifications of the roller press Koppert 60/10 – 230

Технические характеристики	Единица измерения	Численные значения
Диаметр валков	мм	1000
Ширина валков	мм	230
Частота вращения валков	об/мин	2,2 – 31,7
Угловая скорость валков	м/сек	0,11 – 1,66
Удельное усилие прессования – F_{sp}	Н/мм ²	до 5,5
Общее усилие прессования – F	кН	до 1265
Мощность привода	кВт	250

Таблица 2

Оптимальные рабочие параметры роллер-пресса при работе на железной руде Кривбасса

Кесте 2

Кривбасс темір рудасында жұмыс істеу кезінде роликті пресінің оңтайлы жұмыс параметрлері

Table 2

Optimal operating parameters of the roller press when working on iron ore from the Kryvbass

Технические характеристики	Значения для руд железнорудных месторождений Кривбасса		
	северная часть	центральная часть	южная часть
Удельное усилие прессования, Н/мм ²	3,50	3,50	3,5
Удельная пропускная способность, [т·с/ч·м ³]	375,0	324,0	336,0
Удельное энергопотребление, [кВт·ч/т]	1,0	1,75	1,3
Циркуляционная нагрузка, %	140	118	130
Износ поверхности валков, мкм/1000 оборотов	5,4		

Таблица 3

Степень механического разупрочнения железной руды Кривбасса при тонком дроблении в HPGR

Кесте 3

HPGR-де ұсақталған кезде темір кені Кривбастың механикалық ыдырау дәрежесі

Table 3

Degree of mechanical softening of iron ore from the Kryvbass during fine crushing in HPGR

Продукты	Индекс Бонда, W_b [кВт·ч/т] для проб руды железнорудных месторождений	
	северная часть Кривбасса	южная часть Кривбасса
Исходная железная руда – питание HPGR	8,20	14,70
Неклассифицированная дробленая руда после HPGR	7,80	14,20
Классифицированная [-3 мм] дробленая руда после HPGR	6,50	12,50

Для определения энергопотребления при шаровом измельчении железной руды после тонкого дробления в HPGR проводили тесты на шаровой мельнице диаметром 750 мм и длиной 450 мм при частоте вращения барабана 45 об/мин., что соответствует 85,5% от критической частоты вращения. Результаты измерений представлены в таблице 4. Отдельно проведены пилотные испытания гали мельниц самоизмельчения ММС 70 x 23 в условиях Ингулецкого ГОКа.

Проведенные HPGR-испытания железной руды Кривбасса показали перспективность предварительного их механического разупрочнения на последующий процесс шарового измельчения. На основании данных по сокращению энергопотребления на шаровое измельчение, представленных в таблице 3, рассчитываем степень повышения производительности шаровых мельниц при работе на руде и гале, прошедших тонкое дробление в HPGR. Результаты расчетов сведены в таблицу 5.

Данные таблицы 5 свидетельствуют о возможности повышения производительности технологических секций железорудных ГОКов Кривбасса по исходной руде как в открытом, так и замкнутом цикле. Полученные кинетические

исследования дают основание сделать вывод, что предварительное измельчение с помощью роллер-пресса, работающего в открытом цикле, перед шаровой мельницей уменьшает на 10-14% необходимое время или энергию для достижения необходимой крупности помола (70% кл. -0,056 мм) по сравнению с пробами исходной руды без предварительного HPGR прессования. Это вызвано повышенным содержанием тонких классов в продукте HPGR и снижением его прочности за счет межчастичного измельчения и развития микротрещин в руде при ее измельчении в роллер-прессе. Именно такое повышение производительности по исходной руде достигнуто на магнетитовой руде КМА (Стойленском ГОК), где при работе на руде крупностью 0-25 мм роллер-пресса 500/1 – 100 установлены в один проход в дополнение к традиционным конусным дробилкам и шаровым мельницам, при этом повышение пропускной способности по первой технологической линии достигло 12,25%, а по четвертой линии – 12,73% [2].

При работе HPGR в замкнутом цикле с грохотом получаем классифицированную руду крупностью -3,15 мм, при этом возможное увеличение производительности шаровой мельницы составляет 33-38%. Это объясняется повыше-

Таблица 4
Энергопотребление при измельчении железной руды Кривбасса после тонкого ее дробления в HPGR

Кривбасс темір кенін HPGR-ге ұсақтағаннан кейін ұнтақтау кезінде қуат тұтыну

Energy consumption during grinding of iron ore from the Kryvbass after its fine crushing in HPGR

Продукты	Расход электроэнергии [кВт·ч/т] для проб руды железорудных месторождений			
	северная часть Кривбасса	центральная часть Кривбасса	южная часть Кривбасса	гали мельниц ММС
Исходная железная руда – питание HPGR	10,30	13,60	19,60	20,8
Неклассифицированная дробленая руда после HPGR	9,30	11,90	16,80	18,5
Классифицированная [-3 мм] дробленая руда после HPGR	6,4	8,8	13,20	14,6

Таблица 5
Повышение производительности шаровых мельниц за счет тонкого дробления в HPGR

HPGR-де ұсақтау арқылы шар диірмендерінің өнімділігін арттыру

Increase in the productivity of ball mills due to fine crushing in HPGR

Продукты	Степень повышения производительности шаровых мельниц [%] для проб руды			
	северная часть Кривбасса	центральная часть Кривбасса	южная часть Кривбасса	гали мельниц ММС
Неклассифицированная дробленая руда после HPGR	9,70	12,50	14,28	10,1
Классифицированная [-3 мм] дробленая руда после HPGR	37,86	35,29	32,65	29,8

нием однородности и дисперсности продукта HPGR и переходом всего продукта в энергетически метастабильное состояние, при котором наблюдается интенсивное разупрочнение материала в условиях лавинообразного развития микротрещиноватости. Что касается гали, то при работе на классифицированном материале технологический бонус достигает 30%, что свидетельствует о перспективности HPGR-доизмельчения гали в отдельном цикле.

Следуя принципу Г.О. Чеччота «Не дрови ничего лишнего», исследовали возможность сброса отвальных хвостов сразу после HPGR-передела, для чего подрешетный продукт крупностью -3,15 мм (рис. 2а) грохота, работающего в замкнутом цикле с роллер-прессом, подвергался мокрой магнитной сепарации в слабом магнитном поле с магнитной индукцией 0,12 Тесла, в то время как надрешетный продукт +3,15 мм (рис. 2б) возвращался в голову процесса. Диаметр магнитного сепаратора – 200 мм, длина барабана – 120 мм.

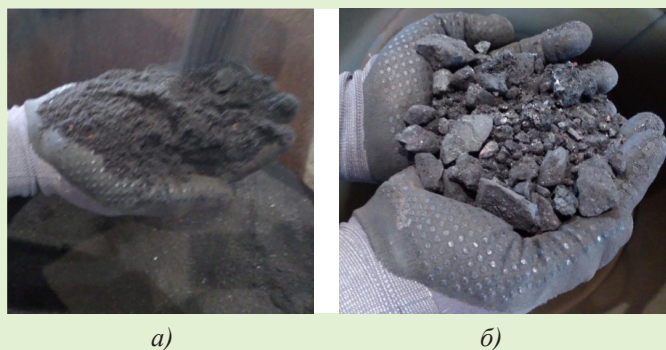


Рис. 2. Подрешетный (а) и надрешетный (б) продукты контрольного грохота.

Сурет 2. Устінде төмен өлшемді (а) және өлшемді (б) басқару экранының өнімдері.

Figure 2. Undersize (a) and oversize (b) products of the control screen.

Мокрая магнитная сепарация продукта тонкого дробления в HPGR для руды северной части Кривбасса показала, что на этом технологическом переделе выделяется 22,19% отвальных хвостов с массовым содержанием железа общего 13,25% и железа магнитного – 2,89% (табл. 6), что значительно сокращает фронт последующего измельчения и, как следствие, снижаются энергозатраты на этом технологическом переделе не только по причине снижения фактической нагрузки на мельницу, но и снижением прочности материала после удаления породной части, так как индекс Бонда по данным пилотных испытаний для концентрата, промпродукта и хвостов магнитной сепарации составляет соответственно 9,4 кВт·час/т, 11,3 кВт·час/т и 13,5 кВт·час/т, т.е. хвосты в 1,5 раза крепче концентрата магнитной сепарации.

Мокрая магнитная сепарация HPGR-продукта оправдывает себя не только из-за снижения нагрузки и энергозатрат на последующее шаровое измельчение разупрочненной железной руды, но и причине существенного улучшения ее качества за счет сброса крупнозернистых хвостов, которые по содержанию вредных примесей значительно превосходят магнитный продукт ММС. Так, концентрат ММС содержит 32,4% SiO_2 против 54,85% SiO_2 в хвостах

ММС. По содержанию серы, глинозема, оксида кальция концентрат на порядок лучше, чем хвосты ММС.

В некоторых случаях, как это имеет место с железной рудой центральной части Кривбасса, уместно использовать двухстадийную сухую магнитную сепарацию дробленой руды с выделением концентрата, промпродукта и отвальных хвостов (таблица 7).

Сравнивая мокрую и сухую магнитную сепарацию, приходим к заключению о более высокой эффективности ММС, так как прирост железа общего и железа магнитного при СМС составляет соответственно 4,1 5 и 6,0% против 7,0% и 8,22% в случае ММС. Извлечение кремнезема в хвосты при ММС достигает 30,74% против 15,78% при СМС. Безусловно, такое сравнение носит относительный характер, так как мокре магнитное разделение осуществлялось на руде северной части Кривбасса, а СМС применялась для руды центральной части Кривбасса.

Выбор граничной крупности грохочения продукта тонкого дробления в роллер-прессах -3,15 мм обусловлен двумя причинами. Во-первых, чем ниже крупность предварительно дробленого продукта, тем значительно меньше энергозатраты на его измельчение. Во-вторых, при превышении крупности 3 мм усложняется технология обезвоживания хвостов обогащения и возрастают энергозатраты, так как перед сгущением необходимо предусмотреть операцию классификации с напорной подачей хвостовой пульпы. При дисперсности твердой фазы хвостовой пульпы до 3 мм сгущение в высокоскоростных сгустителях последнего поколения не требует предварительного сброса крупнозернистой фракции, что подтверждено практикой сгущения хвостовой пульпы ЮГОКа в высокоскоростных сгустителях HRT – 62 [3]. В таблице 8 представлена гранулометрическая характеристика подрешетного продукта крупностью -3,15 мм после грохочения продукта HPGR-прессования. Исследования хвостов ММС продукта HPGR-прессования на руде Полтавского ГОКа обнаружили, что рудные зерна и богатые сростки в классе +0,25 мм отсутствуют, а содержание бедных сростков и нерудных зерен составляет соответственно 16,83% и 20,35% (от исходного). В классах менее 0,25 мм присутствуют рудные зерна, богатые и бедные сростки и нерудные зерна. Так, в классе 0-0,056 мм содержится 1,09% рудных зерен, 0,542% – богатых сростков, 9,74% – бедных сростков и 33,52% – нерудных зерен.

Для оценки энергозатрат при тонком измельчении железной руды в заданном диапазоне крупности были проведены пилотные испытания в вертикальной бисерной мельнице TOWERMILL. Исходный продукт – измельченная руда северной части Кривбасса крупностью 70% кл. -56 мкм. Содержание твердого в питании мельницы – 54,4% по массе и 20% по объему. Частота вращения шнека – 85 об/мин. Масса разовой пробы – 40 кг, масса мелющих тел (стальные шарики диаметром 20 мм) – 150 кг. Кинетические исследования показали, что для получения 98% кл. – 56 мкм в бисерной мельнице необходимо затратить 9,8 кВт·час/т электроэнергии, т.е. при номинальной нагрузке по одной технологической секции 122 т/ч потребная мощность составит 1196 кВт, а установленная мощность – 1300 кВт.

Проведенные исследования и технологические расчеты показали возможность практической реализации схемы,

Таблица 6

Результаты ММС продукта HPGR-прессования руды северной части Кривбасса

Кесте 6

HPGR өнімінің ММС нәтижелері-кривбастың солтүстік бөлігінің рудасын претсеу

Table 6

Results of wet magnetic separation of HPGR product-pressing of ore from the northern part of the Kryvbass

Показатели ММС	Продукты ММС		
	питание	концентрат	хвосты
Выход массовый, %	9,70	77,81	22,19
Содержание железа общего, %	37,80	44,80	13,25
Содержание железа магнитного, %	31,72	39,94	2,89
Содержание кремнезема, SiO_2 , %	39,60	32,40	54,85
Содержание глинозема, Al_2O_3 , %	0,55	0,29	1,46
CaO – содержание, %	1,44	0,97	3,08
MgO – содержание, %	2,79	2,02	5,50
Содержание фосфора, %	0,041	0,03	0,091
Содержание серы, %	0,102	0,065	0,23

Таблица 7

Результаты СМС руды центральной части Кривбасса

Кесте 7

Кривбастың орталық бөлігінің СМС кенінің нәтижелері

Table 7

Results of dry magnetic separation of ore from the central part of the Kryvbass

Показатели ММС	Продукты ММС			
	питание	концентрат	промпродукт	хвосты
Выход массовый, %	100,00	72,30	18,00	9,70
Содержание железа общего, %	30,90	35,00	23,20	14,63
Извлечение железа общего, %	100,00	81,90	13,51	4,59
Содержание железа магнитного, %	22,40	28,40	9,20	2,17
Извлечение железа магнитного, %	100,00	66,45	7,39	0,94
Содержание кремнезема, SiO_2 , %	49,205	41,24	64,59	80,02
Извлечение кремнезема, %	100,00	60,60	23,63	15,78

Таблица 8

Гранулометрическая характеристика подрешетного продукта

Кесте 8

Жер асты өнімінің гранулометриялық сипаттамасы

Table 8

Particle size distribution characteristics of the undersize product

Класс крупности, мм	Выход классов крупности, %		
	Значения для руд железнорудных месторождений Кривбасса		
	северная часть Кривбасса	центральная часть Кривбасса	южная часть Кривбасса
3,15-4,0	0,00	0,00	0,00
2,0-3,15	14,00	11,70	16,29
1,0- 2,0	27,10	22,05	28,48
0,5-1,0	17,44	12,00	16,42
0,25-0,5	11,57	9,31	10,74
0,0-0,25	29,89	44,92	28,07
Итого	100,00	100,00	100,00

которая включает трехстадиальное дробление, прессование мелкодробленой руды в роллер-прессе, мокрое грохочение продукта роллер-пресса, мокрая магнитная сепарация подрешетного продукта, шаровое измельчение магнитного продукта ММС, ММС – II, тонкое измельчение в вертикальной бисерной мельнице, работающей в замкнутом цикле с гидроциклонами и ММС – III. Сгущение хвостовой пульпы осуществляется в высокоскоростных сгустителях без предварительной классификации крупнозернитых хвостов.

Выводы

1. Проведены пилотные испытания по тонкому дроблению особо крепких и крепких железных руд Кривбасса на полупромышленном роллер-прессе Koppern 60/10 и установлена технологическая пригодность этих руд для их обработки на роллер-прессах.

2. Тонкое дробление криворожской руды в роллер-прессе сокращает энергозатраты последующего шарового ее измельчения на 30-35%, в результате чего возрастает удель-

ная нагрузка шаровых мельниц по готовому классу, что позволяет адекватно поднять переработку по исходной руде.

3. Применение роллер-прессов позволяет разработать технологические крупнотоннажные схемы, которые отличаются высокой энергоэффективностью, низким переизмельчением руды и повышением качественно-количественных показателей обогащения железной руды.

Благодарность

Авторы благодарны компании МЕТИНВЕСТ за оказанное доверие и поддержку при проведении технологического аудита на горно-обогатительных комбинатах Кривбасса. Авторы искренне признательны господину Андреасу Фройнду и команде фирмы Koppern за помощь в организации и проведении пилотных испытаний на натуральных пробах железной руды Кривбасса. Большое спасибо специалистам – обогатителям СевГОК, ЦГОК и ИнГОК за помощь при проведении генерального опробования технологических секций и подготовке проб для тестирования руды на роллер-прессах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. K. Schönert A. Обзор помолы на валковых мельницах высокого сжатия. // Международный журнал «Переработка полезных ископаемых». 1988. №22. С. 401-412 (на английском языке)
2. Фройнд А. Повышение эффективности переработки руды за счет применения валков высокого давления. / А. Фройнд, А. Хуберт, Ф. Хайникке. // Горный журнал. 2021. №6. С. 54-60 (на русском языке)
3. Доберсек А. Сгущение хвостовой пульпы на Южном горно-обогатительном комбинате. / А. Доберсек, А. Кирнарский, А. Райш. // Горный журнал Казахстана. 2023. №4. С. 42-47 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. K. Schönert A. Жогары сығымдалған роликті диірмендермен ұнтақтауды зерттеу. // Минералды өңдеудің халықаралық журналы. 1988. №22. Б. 401-412 (ағылшын тілінде)
2. Фрогінд А. Жогары қысымды орамдарды қолдану арқылы кенді өңдеу тиімділігін арттыру. / А. Фрогінд, А. Хуберт, Ф. Хайникке. // Тау-кен журналы. 2021. №6. Б. 54-60 (орыс тілінде)
3. Доберсек А., Кирнарский А., Райш А. Оңтүстік тау-кен байыту комбинатында құйрық целлюлозасын қоюлату. / А. Доберсек, А. Кирнарский, А. Райш. // Қазақстанның тау-кен журналы. 2023. №4. Б. 42-47 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. K. Schönert A. Survey of grinding with high-compression roller mills. // International journal Mineral Processing. 1988. №22. P. 401-412 (in English)
2. Froind A. Povyshenie effektivnosti pererabotki rudy za schet primeneniya valkov vysokogo davleniya. / A. Froind, A. Khubert, F. Khainikke. // Gornyi zhurnal. 2021. №6. S. 54-60 [Froind A. Enhancing ore processing efficiency through the use of high-pressure grinding rolls. / A. Froind, A. Hubert, F. Hainikke. // Mining Journal. 2021. №6. P. 54-60] (in Russian)
3. Dobersek A. Sgushchenie khvostovoi pul'py na Yuzhnom gorno-obogatitel'nom kombinat. / A. Dobersek, A. Kirnarskii, A. Raish. // Gornyi zhurnal Kazakhstana. 2023. №4. С. 42-47 [Dobersek A. Thickening of tailings pulp at the southern mining and processing plant. / A. Dobersek, A. Kirnarskiy, A. Raisch. / Mining Journal of Kazakhstan. 2023. №4. P. 42-47] (in Russian)

Сведения об авторах:

Доберсек А., канд. техн. наук, Президент компании «ENGINEERING DOBERSEK GmbH» (г. Менхенгладбах, Германия), [info\(at\)dobersek.com](mailto:info(at)dobersek.com)
Кирнарский А.С., д-р техн. наук, научный руководитель проектов по обогащению полезных ископаемых компании «ENGINEERING DOBERSEK GmbH» (г. Менхенгладбах, Германия), anatoliy.kirnarskiy@ed-mg.de

Авторлар туралы мәліметтер:

Доберсек А., PhD, «ENGINEERING DOBERSEK GmbH» президенті (Менхенгладбах қ., Германия)
Кирнарский А.С., техника ғылымдарының докторы, «ENGINEERING DOBERSEK GmbH» компаниясында минералды қайта өңдеу жобаларының ғылыми жетекшісі (Менхенгладбах қ., Германия)

Information about the authors:

Dobersek A., PhD, President of ENGINEERING DOBERSEK GmbH (Mönchengladbach, Germany)
Kirnarsky A.S., Doctor of Technical Sciences, Scientific Director of Mineral Processing Projects, ENGINEERING DOBERSEK GmbH, (Mönchengladbach, Germany)