УДК 669.712

В.М.СИЗЯКОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)
Л.Ф.БИЛЕНКО
ОАО «Механобр-техника», Санкт-Петербург
А.А.КУЗНЕЦОВ, Е.А.БЕЛИКОВ
Филиал «Пикалевский глиноземный завод – СУАЛ»

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ НЕФЕЛИНО-ИЗВЕСТНЯКОВОЙ ШИХТЫ НА ОСНОВЕ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО РАЗМОЛА НЕФЕЛИНОВОГО КОМПОНЕНТА

Рассмотрены вопросы оптимизации процессов подготовки нефелино-известняковой шихты на основе принципа независимости измельчаемости отдельных компонентов. Даны рекомендации по повышению эффективности работы измельчительного оборудования филиала «ПГЗ – СУАЛ».

Questions of optimization of processes of preparation the nepheline-calcareous charge on the basis of a principle of independence grindability separate components are considered. Recommendations on increase of an overall performance измельчительного the breaking machine of branch «PGZ-SUAL» are given.

Для реализации рекомендаций по усовершенствованию приготовления нефелино-известняковой шихты необходимо было выполнить комплекс исследований как по обоснованию рациональных режимов самих мельниц участка подготовки шихты (УПШ) филиала «ПГЗ – СУАЛ», так и по оптимизации общей схемы измельчения нефелинового и известнякового компонентов с опережающим размолом нефелиновой составляющей шихты [6-8]. Это позволит снизить содержание нефелина на сите +0,08 мм с 5-7 до 1 %, а содержание известняка на этом же контрольном сите, наоборот, повысить с 1 до 5-7 %.

В основу разработанной технологии положен огромный опыт по совершенствованию аппаратурно-технологической схемы Ачинского глиноземного комбината (АГК) [1, 2, 7], где кия-шалтырская нефелиновая руда проходит две стадии опережающего размола, а затем осуществляется совместный размол и домол частично измельченной руды с сухим мазульским известняком. Низкая исходная влажность мазульского известняка (1 %) дала возможность сосредоточить все промышленные воды нефелино-известняковой шихты только на рудной составляющей, что в свою очередь обеспечило внедрение замкнутого цикла по руде [3].

В филиале «ПГЗ – СУАЛ» из-за высокой влажности пикалевского известняка (14-15 %) организовать замкнутый цикл невозможно, но идея опережающего размола трудноизмельчаемого компонента (кольского нефелинового концентрата) для Пикалевского глиноземного завода будет такой же эффективной, как и для АГК.

Испытания увеличенной загрузки мелющих тел в мельницах. Ранее выполненными исследованиями было установлено [3], что мельницы участка подготовки шихты работают с постоянным недогрузом мелющих тел по сравнению с уровнем, установленным в технологическом регламенте. Определенная регламентом степень заполнения измельчающей средой составляет: для мельниц 1-2 – 22,7 % (45 т), для мельниц 3-4 – 18,8 % (45 т), для мельниц 5-11 – 24,4 % (70 т). Расчетная, оптимальная для трубных мельниц, степень

заполнения измельчающей средой [12] составляет 25-30 %. Производительность мельниц пропорциональна степени заполнения мельниц мелющими телами [10]:

$$K_J = \frac{J}{J_э}\frac{1{,}07 - J}{1{,}07 - J_э}, \qquad (1)$$

где J и $J_э$ – степень заполнения мелющими телами проектируемой и эталонной мельниц соответственно, доли ед.; K_J – коэффициент производительности мельниц, учитывающий разную степень заполнения.

Если повысить загрузку мелющих тел хотя бы до 30 %, то производительность известняковых мельниц можно увеличить на 20-40 %:

$$K_J = \frac{0{,}30}{0{,}227}\frac{1{,}07 - 0{,}30}{1{,}07 - 0{,}227} = 1{,}21$$

или (2)

$$K_J = \frac{0{,}30}{0{,}288}\frac{1{,}07 - 0{,}30}{1{,}07 - 0{,}188} = 1{,}393\,.$$

Если на домольных мельницах увеличить загрузку цильпебса до 35 % от объема, то производительность их увеличится согласно формуле (1) на 15-25 %.

Степень заполнения в 30 % объема соответствует для мельниц 1-2 – 60 т шаров; для мельниц 3-5 – 71 т; для мельниц 6-11 – 93 т цильпебса.

Загрузку цильпебса в мельницу 10 после ее перефутеровки увеличили с 70 до 96 т. Запуск мельницы прошел без каких-либо осложнений. Было начато наблюдение за работой этой мельницы. Отбирались пробы исходного питания и разгрузки мельниц 10 и 9, принятой за эталон для сравнения. Загрузка цильпебса в мельницу 9 составляла 70 т.

В пробах определялась влажность и содержание класса крупнее 0,08 мм. При отборе проб фиксировалась производительность каждой мельницы.

Сразу после догрузки мельницы 10 производительность увеличилась на 10-20 % по сравнению с мельницей 9. Содержание класса +0,08 мм в разгрузке этой мельницы составляло в начале 12-14 %, а на мельнице 9 – 10-12 %. Это отчасти объясняется также тем, что в мельницу 10 был загружен новый цильпебс без мелких изношенных цилиндров, который вначале всегда дает более грубый помол. По мере срабатывания цильпебса и появления в мелющей загрузке более мелких тел крупность измельчения продукта снижается. Через месяц испытаний содержание класса +0,08 мм в разгрузке мельницы 10 снизилось и составило 8-9 %, т.е. примерно до уровня разгрузки мельницы 9.

В среднем, удельная производительность мельницы 10 по готовому продукту (мельче 0,08 мм) за 30 дней испытаний составила 0,373 т/(м^3·ч), а мельницы 9 – 0,315 т/(м^3·ч). Таким образом, подтверждено, что увеличенная до 30 % загрузка мелющих тел в мельницу увеличивает удельную производительность мельницы по готовому продукту на 18-20 % по сравнению с регламентом (при коэффициенте загрузки 24 %).

Уточнение норм расхода цильпебса на доизмельчение шихты. Норма расхода цильпебса составляет 3,5 кг на тонну глинозема. Испытания, проведенные на мельницах, позволяют проверить количество цильпебса, израсходованного на этих мельницах за время испытаний, и его удельный расход.

Замеры количества цильпебса, проведенные в начале и в конце испытаний, дали следующие результаты: по мельнице 10 – в начале – 96 т, в конце – 81 т; по мельнице 9 – в начале – 70 т, в конце – 55 т. За время испытаний израсходовано по 15 т цильпебса на каждой мельнице. Мельница 10 отработала: 830 ч, мельница 9 – 883 ч. Выработано шихты 45784 и 44827 т соответственно. Из этой шихты получено глинозема 4211 и 4123 т. Тогда удельный расход цильпебса:

- на тонну глинозема: $\frac{15000}{4211} = 3{,}56$ кг (мельница 10) и $\frac{15000}{4123} = 3{,}64$ кг (мельница 9); в среднем 3,6 кг/т;
- на тонну шихты: $\frac{15000}{45784} = 0{,}328$ кг (мельница 10) и $\frac{15000}{44827} = 0{,}335$ кг (мельница 9); в среднем 0,331 кг/т.

Таблица 1

Гранулометрический состав известняка по данным промышленных опробований

Номер мельниц		Выход по классам											
		+80	–80 +60	–60 +40	–40 +20	–20 +10	–10 +5	–5 +1	–1 +0,4	–0,4 +0,16	–0,16 +0,088	–0,088	Итого
1		-	8,14	28,06	19,56	8,66	3,71	4,59	3,76	5,09	4,67	13,76	100,0
2		-	6,26	5,93	11,13	11,20	8,75	19,42	7,40	9,96	4,82	24,13	100,0
3		-	4,97	27,23	5,65	22,93	3,45	4,29	4,00	5,24	4,15	18,09	100,0
4		-	1,33	19,49	20,8	9,90	7,72	6,45	4,49	6,55	4,28	18,79	100,0
5		-	0,64	6,46	13,48	11,30	9,96	10,85	7,16	9,39	6,79	23,97	100,0
6		-	4,50	34,7	24,5	8,50	3,90	3,50	2,60	4,50	2,60	10,70	100,0
7		-	7,92	16,5	19,72	9,05	5,88	5,88	4,04	5,19	2,68	23,15	100,0
8		1,80	1,90	13,0	22,6	12,7	5,2	5,2	4,8	6,0	2,6	24,2	100,0
9		-	2,2	9,6	24,7	14,0	5,8	5,5	5,4	5,5	2,9	24,4	100,0
10		-	1,4	7,6	21,1	15,7	8,8	7,5	6,2	6,2	3,7	21,8	100,0
11		-	4,0	6,61	17,1	16,5	6,8	6,2	5,7	7,2	3,2	26,7	100,0
Среднее значение	Частный выход	0,16	3,93	15,92	18,24	12,77	6,36	6,40	5,05	6,44	3,85	20,88	100,0
	Суммарный по « – »	100,0	99,84	95,91	79,99	61,75	48,98	42,64	36,22	31,17	24,73	20,88	Не определяли
	Суммарный по « + »	0,16	4,09	20,01	38,25	51,02	57,38	63,78	68,83	75,27	79,12	100,00	– " –

Эти расходы примерно соответствуют удельным расходам цильпебса на Ачинском комбинате, где на тонну шихты расходуется 0,41 кг на две стадии помола.

В заявках на текущее производство глиноземному цеху следует учесть расход цильпебса из расчета 3,6 кг на тонну глинозема.

Уточнить удельный расход шаров пока что не представилось возможным. Это связано с трудностями замера фактического наличия шаров в мельницах 1-4, отсутствием строгого учета загруженных шаров.

Работу по уточнению нормы расхода шаров в УПШ следует продолжить. На данном этапе следует увеличить на 25 % норматив расхода шаров, так как наши замеры всегда показывали фактический недогруз до нормы щаров в мельницах. Установленный норматив расхода шаров – 0,71 кг на тонну глинозема – нельзя признать достаточным. На тонну шихты это составляет 0,064 кг. По нашим расчетам норму расхода шаров впоследствии следует увеличить в 2 раза.

Рационированная загрузка мельниц шарами. Многими исследованиями [4, 5, 10, 12] было показано, что производительность мельницы можно увеличить на 20-25 %, если ее загружать шарами разных диаметров. Специальными исследованиями, проведенными на АГК [4, 5] было установлено, что рационированная догрузка мельниц шарами четырех типоразмеров снижает крупность помола нефелиновой руды на первой стадии на 5-6 % по классу +0,08 мм по сравнению с догрузкой одноразмерными шарами диаметром 100 мм.

По данным многочисленных опробований известняка, поступающего в размольные мельницы 1-4 (табл.1), установлено, что содержание класса крупнее 60 мм в питании мельниц колеблется от 1 до 8 %, в среднем

Таблица 2

Основные параметры мельниц УПШ

Номер мельниц	Исходный материал	Размеры		Мощность двигателя, кВт	Мелющие тела			Частота вращения	
		Диаметр, м	Объем, $м^3$		Тип	Количество		об/мин	процент от критической скорости
						т	процент по массе		
1-2	Известняк	2,2	43	600	Шары	45	22,7	22,3	74,6
3-4	– " –	2,4	52	600	– " –	45	18,8	22,3	78,2
5	Шихта	2,4	52	600	Цильпебс	45	18,8	22,3	78,2
6-9	– " –	2,6	61	1250	– " –	79	24,4	20,1	73,6
10-11	– " –	2,6	61	1000	– " –	70	24,4	18,75	68,7

Примечание. Длина мельниц 13 м.

3,9 %. В то же время известняк содержит и много мелких классов. Так, содержание классов мельче 5 мм составляет в среднем 40 % (табл.1), а содержание классов мельче 10 мм доходит до 50 % [5]. Для измельчения известняка крупностью 5-10 мм необходимы шары диаметром 40-60 мм. В настоящее время мельницы загружаются только шарами диаметром 100 и даже 120 мм, что нерационально. Для интенсификации процесса измельчения известняка в мельницы необходимо загружать не менее 50 % мелких шаров диаметром 40-60 мм, что будет соответствовать средней характеристике крупности измельчаемого материала. Для трубных мельниц, оборудованных шаросортирующей футеровкой (оптимальной), подтвержденной многолетней практикой, является загрузка шарами четырех типоразмеров: 40; 60; 80 и 100 мм. Соотношение шаров каждого типоразмера определяется характеристикой крупности измельчаемого материала, чтобы количество шаров данного размера соответствовало выходу класса крупности, подвергаемого разрушению, а масса шара данного диаметра была достаточна для разрушения самого крупного куска в этом классе. Для разрушения кусков известняка крупностью 3-5 мм достаточен шар диаметром 40 мм; 5-10 мм – шар 60 мм; 10-20 мм – шар 80 мм и крупнее 20 мм – шар диаметром 100 мм.

Если догрузку мельницы производить рационированно, т.е. смесью шаров разных размеров, то мельница более пригодна для эффективной работы измельчения.

Расчеты, проведенные по методике проф. К.А.Разумова [11], показывают, что для повышения эффективности измельчения известняка мельницы должны догружаться шарами разных размеров в таком соотношении: шаров диаметром 40 мм – 40 %, диаметром 60 мм – 20 %, диаметром 80 мм – 20 % и 100 мм – 20 %.

Таким образом, рационированной догрузкой мельниц можно повысить производительность мельниц на 25 % и соответственно снизить расход энергии. Из четырех мельниц можно высвободить одну мельницу, т.е. иметь значительную экономию шаров, электроэнергии и т.п.

Анализ технологических особенностей мельниц участка подготовки шихты. Для определения рациональной схемы и режимов измельчения компонентов шихты необходимо рассмотреть конструктивные и технологические параметры мельниц, установленных в УПШ. В табл.2 приведены основные параметры данных мельниц.

Обращает на себя внимание, при кажущемся однообразии, разнобой основных параметров однотипных мельниц. Так, при одинаковом количестве шаров в размольных мельницах (известняковых) коэффициент заполнения объема мелющими телами значительно отличается. Неодинакова и частота вращения (в процентах от критической). Домольные мельницы имеют разную мощность двигателя и частоту вращения. Поэтому для оптимизации режимов каждая мельница должна налаживаться индивидуально.

Производительность мельницы в определенных пределах прямо пропорционально зависит от скорости вращения барабана. Поэтому при проектировании мельниц вводится поправочный коэффициент, учитывающий разную скорость вращения (отношение скоростей вращения в процентах от критической скорости).

Так, производительность мельниц 3-4 по отношению к мельницам 1-2 будет выше: $K = \frac{78,2}{74,6} = 1,05$ раза, т.е. на 5 %. Кроме того, если учесть поправку на диаметр мельниц $K_{д} = \sqrt{\frac{Д_2}{Д_1}} = \frac{2,2}{2,0} = 1,05$, то можно утверждать, что на мельницах 3-4 необходимо поддерживать производительность по известняку на 10 % более высокую, чем на мельницах 1-2 при сохранении одинаковой крупности помола. Если же их загрузить рационированной шаровой загрузкой и поднять коэффициент загрузки шаров до 30 %, то их производительность можно увеличить в 1,5-1,6 раза. В этом случае для обеспечения переработки планового потока известняка будет вполне достаточно трех мельниц вместо четырех по существующей схеме.

Скорость вращения мельницы 5 в $\frac{78,2}{68,7} =$ = 1,138 раза выше, а мельниц 6-9 в $\frac{73,6}{68,7} =$ = 1,071 раза выше, чем мельниц 10-11. Следовательно, на столько же можно повысить и производительность этих мельниц. Это следует учитывать при повседневной эксплуатации мельниц домола, при остановках мельниц на планово-предупредительные ремонты, выводе мельниц в резерв, регулировании распределения потоков между мельницами и т.п.

Согласно расчетам можно рекомендовать более совершенную схему подготовки шихты и технологические режимы работы мельниц глиноземного цеха.

Предложения по оптимизации схемы и режимов измельчения. Как уже указывалось, выполненные нами исследования [6, 8, 9] показали, что нефелиновый концентрат измельчается в 2,4 раза хуже известняка. Равномерное распределение компонентов в классах крупности шихты достигается только при условии, что время измельчения нефелина в схеме шихтоподготовки должно быть в 2,0-2,4 раза больше времени измельчения известняка. А для достижения более тонкого измельчения нефелина по сравнению с известняком требуется более длительное измельчение нефелинового концентрата. Отсюда очевидна необходимость организации предварительного измельчения нефелина перед совместным помолом с известняком.

В настоящее время по схеме – четыре мельницы для измельчения известняка и семь мельниц на совместном домоле шихты – удельные нагрузки составляют: по известняковым мельницам при потоке известняка 230 т/ч суммарный объем известняковых мельниц 190 м^3 = 1,21 т/(м^3·ч), а по домольным мельницам при потоке шихты 365 т/ч суммарный объем домольных мельниц 418 м^3 = 0,87 т/(м^3·ч) (табл.2).

В этом случае общее время измельчения 1 т компонентов для известняка равно 93,1 мин/т, для нефелина 25,5 мин/т (из расчета 37 % нефелина в шихте и 63 % известняка). Видно, что время измельчения известняка в принятой схеме в 3,65 раза больше, чем время измельчения единицы веса нефелина. Это приводит к переизмельчению известняка, а нефелин остается в крупных классах шихты. Этим объясняется расшихтовка в спеке, избирательный пылевынос известняка из печей спекания и недоизвлечение глинозема из сырья.

Таким образом, данный расчет указывает на несовершенство принятой схемы шихтоподготовки, не учитывающей относительную измельчаемость компонентов шихты.

Количество мельниц УПШ позволяет организовать более совершенную схему шихтоподготовки за счет перекомпоновки имеющихся мельниц. Для увеличения времени измельчения нефелинового концентрата необходимо часть мельниц с домола перевести на предварительное измельчение нефелина.

Первый вариант. Если перевести две мельницы (например, 5 и 11) на предвари-

тельное измельчение нефелина, то на единицу объема измельчительного оборудования нагрузка составит:

- для нефелинового концентрата 135 т/ч : 113 $м^3$ = 1,2 т/($м^3$·ч);
- для известняка (мельницы 1-4) 230 т/ч : 190 $м^3$ = 1,21 т/($м^3$·ч);
- для домола шихты (мельницы 6-10) 365 т/ч : 305 $м^3$ = 1,197 т/($м^3$·ч).

В этом случае все мельницы будут иметь равномерную загрузку единицы объема по исходному материалу.

Второй вариант. Если перевести три мельницы (5, 6 и 11) на измельчение нефелина, то удельные нагрузки:

- для нефелина 135 : 174 = 0,78 т/($м^3$·ч);
- для известняка 230 : 190 = 1,21 т/($м^3$·ч);
- для домола шихты (мельницы 7-10) 365 : 244 = 1,5 т/($м^3$·ч).

Время измельчения единицы веса каждого компонента по этим вариантам:

- в первом случае: предварительное нефелина и известняка 50 и 49,6 мин/т соответственно; на совместном домоле 50,13 мин/т, в том числе для нефелина 18,55 мин/т (37 %), для известняка 31,58 мин/т (63 %), а в общем по схеме – для нефелина 68,55 мин/т; для известняка 81,18 мин/т;
- во втором случае: нефелина 76,92 мин/т; известняка 49,6 мин/т, на совместном домоле 40 мин/т, в том числе для нефелина 14,8 мин/т; для известняка 25,2 мин/т, а в сумме – для нефелина 91,72 мин/т; для известняка 74,8 мин/т.

Видно, что во втором варианте время измельчения нефелина в схеме приготовления шихты становится больше, чем время измельчения известняка, в 1,23 раза. Это обеспечит более тонкий помол нефелинового концентрата в шихте по сравнению с известняком, что положительно скажется на качестве шихты и спека, уменьшит пылевынос известняка из печей спекания.

Третий вариант. Если на измельчении известняка оставить три мельницы (1, 2 и 3), а на предварительное измельчение нефелина перевести мельницы 4, 5 и 11, то удельные нагрузки составят: для нефелина 153 : 165 = = 0,818 т/($м^3$·ч); для известняка 230 : 138 = = 1,667 т/($м^3$·ч); для домола (мельницы 6-10) 365 : 305 = 1,197 т/($м^3$·ч).

В этом случае время измельчения составит: предварительное нефелина и известняка 73,35 и 35,99 мин/т соответственно, на домоле 50,12 мин/т, в том числе для нефелина 18,54 мин/т и для известняка 31,58 мин/т. В итоге: для нефелина 91,89 мин/т, для известняка 67,57 мин/т. Отношение времени измельчения нефелина в схеме ко времени измельчения известняка составляет 1,36, т.е. больше, чем по второму варианту.

Четвертый вариант. Измельчение известняка в мельницах 1, 2 и 3: нагрузка 1,667 т/($м^3$·ч), время 35,99 мин/т; измельчение нефелина в мельницах 4, 5, 6 и 11: нагрузка 0,597 т/($м^3$·ч); время 100,5 мин/т; домол в мельницах 7-10: нагрузка 1,5 т/($м^3$·ч), в том числе для нефелина 14,8 мин/т, для известняка 25,2 мин/т. Общее время измельчения нефелина в схеме составит 115,3 мин/т, время измельчения известняка 61,19 мин/т, отношение нефелина к известняку 1,88. Здесь это отношение приближается к коэффициенту измельчаемости нефелина по сравнению с известняком (2,0), а нагрузка на измельчительное оборудование – к оптимальным для данного типа мельниц. По-видимому, четвертый вариант перекомпоновки мельниц будет наиболее предпочтительным. При этом рекомендуется загрузить цильпебс в мельницах 6-11 до 93 т в каждую, а в мельницах размола известняка организовать рационированную догрузку шаров следующих диаметров: 100 мм – 20 %; 80 мм – 20 %; 60 мм – 20 %; 40 мм – 40 %, поддерживая количество шаров в мельницах на уровне 60 т для мельниц 1-2 и 70 т – для мельницы 3.

Выводы

1. Установленные в УПШ филиала «ПГЗ – СУАЛ» трубные мельницы имеют некоторые конструктивные отличия, которые следует учитывать при эксплуатации мельниц (регулировке производительности, остановках на ППР и т.п.).

2. Проведенные испытания работы мельниц с увеличенной загрузкой мелющих тел по сравнению с установленной в регламенте позволяют рекомендовать увеличить загрузку цильпебса в мельницах 6-11 до 93 т (вместо 70 т), а шаров в мельницах 1-2, 3-4 до 60 и 70 т (вместо 45 т) соответственно. Это значительно увеличит производительность передела подготовки шихты.

3. Рекомендуется организовать рационированную догрузку шаров в мельницах размола известняка шарами четырех типоразмеров: 100 мм – 20 %, 80 мм – 20 %, 60 мм – 20 % и 40 мм – 40 %. Рационированная догрузка шаров увеличит производительность мельниц на 20-25 %.

4. Рассмотренные особенности установленных в УПШ мельниц позволяют провести для улучшения качества шихты и технико-экономических показателей всего цеха перекомпоновку мельниц с организацией опережающего измельчения нефелинового концентрата перед совместным помолом с известняком.

Для перекомпоновки мельниц предлагаем следующий вариант:

- измельчение известняка – в мельницах 1-3;
- измельчение нефелина – в мельницах 4-6 и 11;
- домол шихты – в мельницах 7-10.

При этом отношение времени измельчения нефелина ко времени измельчения известняка составит 1,88, т.е. приблизится к коэффициенту измельчаемости 2,0-2,4. Нефелин будет измельчаться более тонко по сравнению с известняком, что требуется для улучшения работы печей спекания, повышения качества спека и извлечения глинозема и щелочи из сырья: остаток нефелина на сите +0,08 мм – до 1 %; остаток известняка на сите +0,08 мм – 5-7 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авт. свид. 684856 СССР. Способ подготовки шихты / В.М.Сизяков, Л.Ф.Биленко, А.И.Сичкар и др. 1975. Бюл. № 12.

2. Авт. свид. 541338 СССР. Способ приготовления глиноземной шихты / В.М.Сизяков, Л.Ф.Биленко, Н.С.Шмаргуненко и др. 1975. Бюл. № 9.

3. *Биленко Л.Ф.* Особенности приготовления известняково-нефелиновой шихты глиноземного производства / Л.Ф.Биленко, Р.Я.Дашкевич, А.И.Пивнев // Механобр-техника. СПб, 1993. 189 с.

4. *Биленко Л.Ф.* Оптимизация процесса измельчения нефелино-известняковых шихт / Л.Ф.Биленко, Р.Я.Дашкевич // Обогащение руд. 1974. № 5. С.32-35.

5. *Биленко Л.Ф.* Опытно-промышленные испытания трехстадийной схемы измельчения нефелиновой руды на Ачинском глиноземном комбинате / Л.Ф.Биленко, В.М.Сизяков // Труды ВАМИ. 1975. № 111. С.167-173.

6. Кинетика измельчения нефелино-известковой шихты / В.М.Сизяков, Л.Ф.Биленко, О.В.Алексеев и др. // Труды ВАМИ. 1975. № 111. С.158-166.

7. К вопросу повышения производительности сырьевых мельниц Ачинского глиноземного комбината / Л.Ф.Биленко, В.М.Сизяков, Н.С.Шмаргуненко // Труды ВАМИ. 1974. № 851. С.45-50.

8. Опыт освоения сырьевого цеха Ачинского глиноземного комбината / В.М.Сизяков, О.В.Алексеев, Р.Я.Дашкевич и др. // Труды ВАМИ. 1975. № 111. С.150-157.

9. Пат. 4256709 США (Mar.17, 1981). Method for the production of alumina / В.М.Сизяков. Опубл. 17.03.1981.

10. *Перов В.А.* Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: Учебн. пособие для вузов / В.А.Перов, Е.Е.Андреев, Л.Ф.Биленко. М.: Недра, 1990. 301 с.

11. *Разумов К.А.* Кинетика измельчения разнопрочных компонентов // Горный журнал. 1947. № 3. С.34-38.

12. Строительные материалы: Справочник / Под ред. А.С.Болдырева, П.П.Золотова. М.: Стройиздат, 1989. 567 с.