

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-7-110-116

Богданов В.С., *Анциферов С.И., Богданов Д.В., Сычев Е.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: anciferov.sergey@gmail.com

СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Аннотация. Выполнен анализ состояния и направления развития техники и технологии измельчения материалов в цементной промышленности РФ и за рубежом. Рассмотрено оборудование, используемое для измельчения, к которому относятся шаровые барабанные мельницы, вертикальные мельницы и пресс-валковые измельчители. Показана эффективность использования шаровых барабанных мельниц и их преимущество перед другими помольными агрегатами, используемыми в крупнотоннажном производстве. Определено одно из основных направлений развития эффективности процесса измельчения в шаровых барабанных мельницах, заключающееся в разработке внутримельничных устройств, которые направлены на разрушение застойных зон в загрузке, интенсификацию работы мелющих тел и создание условий внутри мельничной классификации измельчаемого материала. Описана конструкция и принцип действия шаровой барабанной мельницы, оснащенной наклонной межкамерной перегородкой, за счет которой обеспечивается поперечно-продольное движение мелющих тел в корпусе мельницы. Приведены преимущества использования наклонной межкамерной перегородки, к которым относятся снижение массы загрузки мельницы и гидравлического сопротивления перегородки, улучшение аспирации, уменьшение потребляемой мощности и обеспечение поперечно-продольного движения.

Ключевые слова: помольный агрегат, шаровая барабанная мельница, измельчение, мелющие тела, удельный расход энергии, межкамерная перегородка, цемент.

Введение. В горнорудной, химической, энергетической и строительной промышленности измельчению подвергаются сотни миллионов тонн горных пород. При этом тонкость помола готового продукта составляет менее 40 мкм. В настоящее время производство цемента в РФ составляет более 65 млн. тонн в год [1]. По существующей технологии перерабатываемый материал измельчению подвергается дважды – на стадии подготовки сырья и при помоле клинкера с добавками [2, 3]. Процесс помола для производства одной тонны цемента потребляет порядка 70 % всей мощности [4]. В промышленности строительных материалов РФ на измельчение расходуется более 2 триллионов кВт·ч электроэнергии.

Используемые для тонкого помола в крупнотоннажном производстве агрегаты (мельницы) обладают весьма низким КПД, который по мнению специалистов, занимающихся проблемами совершенствования техники и технологии измельчения, не превышает 5 % [4, 5].

Методика. Какие мельницы в настоящее время в мировой практике получили наибольшее распространение в цементной промышленности. Доля шаровых барабанных мельниц составляет около 59 %, вертикальные мельницы – 25 %, пресс-валковые измельчители при комбинированной схеме применения совместно с шаровыми барабанными мельницами – 13 %. Доля горизонтальных мельниц составляет около 3 % [2].

Следует обратить внимание на тот факт, что получившие в последние годы широкое распространение вертикальные мельницы преимущественно применяются для помола сырьевых материалов [2].

Независимо от конструкции мельниц в них заложен один и тот же принцип измельчения – посредством рабочего органа создать в частице измельчаемого материала нагрузки, которые превышают силы межмолекулярного сцепления, в результате чего частица разрушается как минимум на две части. Такими нагрузками, реализуемыми в выше названных мельницах, являются: удар, раздавливание, истирание, которые в зависимости от конструкции мельниц могут наблюдаться в различном процентном соотношении. Например, в шаровых барабанных мельницах наблюдаются все виды нагрузок – удар, раздавливание и истирание. В вертикальных, пресс-валковых и горизонтальных мельницах используется принцип нагружения сжатием (давлением). Очевидно то, что чем выше напряжение сжатия, тем выше эффективность процесса измельчения материала, тем больше энергозатраты и наоборот – чем меньше давление сжатия, тем меньше затрачивается энергии на осуществление процесса измельчения. В пресс-валковых измельчителях давление в слое материала составляет 250-300 МПа, в горизонтальных и вертикальных до 50 МПа.

При выборе помольного агрегата для производства цемента учитывают не только величину

удельного расхода энергии, эксплуатационные расходы, капвложения, но и самое главное – потребительское качество готового продукта. Цемент, получаемый в шаровых барабанных мельницах, обладает широким спектром размера частиц в отличие от цемента, получаемого в вертикальных и горизонтальных мельницах, имеющего узкую характеристику распределения размеров частиц. При равном средневзвешенном размере частиц цемент, полученный в шаровых барабанных мельницах, обладает меньшей водопотребностью, чем цемент, полученный в вертикальных мельницах, он более технологичен при изготовлении растворов, бетона и железобетона. Пресс-валковые измельчители практически не применяют как самостоятельный помольный агрегат в производстве цемента из-за узкого гранулометрического распределения готового цемента [2, 6].

С целью оптимизации процесса измельчения в шаровых барабанных мельницах получила распространение двухстадийная схема измельчения. На первой стадии шихта измельчается в пресс-валках до размера – 5 мм, подается в сепаратор, где выделяются частицы готового продукта размером – 80 мкм, а крупка направляется в шаровую барабанную мельницу для финишного помола. По такой схеме удельный расход энергии снижается до 30 %, а полученный цемент отличается высокими потребительскими свойствами.

Основная часть. Анализ рынка оборудования для помола цемента позволяет сделать вывод о том, что к настоящему времени основным помольным агрегатом является шаровая барабанная мельница, работающая в замкнутом цикле измельчения с сепаратором, а в качестве предизмельчителя используются пресс-валки [2, 6–9].

Во всех известных к настоящему времени конструкциях мельниц используется принцип создания напряжения в частице измельчаемого материала, величина которого должна превышать предел прочности материала на сжатие в таком случае, произойдет разрушение частицы. При этом, если частицы имеют размер менее 100 мкм в них уже практически отсутствуют дефекты структуры и для их разрушения требуется многократное избыточное приложение нагрузки на что расходуется значительная дополнительная энергия. Нами установлено, что частицы клинкера размером менее 0,5 мм практически не измельчаются ударом, происходит обратный процесс – наклеп, частицы укрупняются, поэтому в данном случае измельчение необходимо осуществлять раздавливанием и истиранием. Установлено, что с увеличением подводимой энергии к измельчаемым частицам происходит не только уменьшение размера частиц, но и аккумулируется частицами

некоторая часть избыточной энергии, что значительно улучшает реакционную активность цемента [10]. Это подтверждается тем, что прочность цементного камня, приготовленного из «свежего» цемента в течение часа после помола и цемента после 10 суточного хранения на 10–15 % выше.

В шестидесятые годы это свойство «свежемолотого» цемента было использовано на многих промышленных предприятиях. Были централизованы установлены вибрационные мельницы, в которых осуществлялся домол низкомарочного цемента до требуемой кондиции. В данном случае использовался не только эффект от увеличения удельной поверхности цемента, но и эффект от аккумуляции частицами цемента избыточной энергии.

Анализ рынка оборудования для помола цемента не позволяет однозначно ответить на вопрос, какой тип мельниц экономически целесообразен, кому отдать предпочтение. Каждый производитель рекламирует только свою продукцию, показывая ее преимущество и умалчивая о недостатках. Однако рынок делает свой выбор и отдает предпочтение тем конструкциям мельниц, которые обеспечивают более качественный и востребованный цемент, чтобы не возникали проблемы с его реализацией. Такими мельницами в настоящее время и в обозримом будущем, пока не будут изобретены новые способы измельчения, останутся шаровые барабанные мельницы [11].

Несмотря на то, что шаровая барабанная мельница изобретена более 125 лет назад датским инженером М. Девидсоном, она не претерпела за эти годы никаких существенных изменений и представляет собой полый барабан, заполненный мелющими телами. Все последующие годы были направлены на повышение эксплуатационной надежности мельницы в целом, совершенствование режима процесса измельчения, совершенствование привода, применение двухстадийного и замкнутого циклов помола, оптимизации геометрических параметров барабана мельницы [2, 4, 5].

К настоящему времени установлено, что экономически целесообразными являются такие геометрические параметры барабана мельницы – диаметр 4,6 м, длина 16 м [12]. При увеличении диаметра шаровой барабанной мельницы возникают проблемы с износом и креплением футеровки внутренней поверхности барабана, эксплуатационной надежностью межкамерной перегородки и выходной решетки [12].

Существенным недостатком шаровых барабанных мельниц, который не устранен до настоящего времени, является следующий. Барабан

мельницы вращается с частотой равной 0,76 от критической частоты, при которой мелющие тела начинают центрифугировать, не совершая работы измельчения. Мелющие тела внутри барабана мельницы перемещаются в первой камере в водопадном режиме, осуществляя измельчение материала ударом, а во второй в каскадном измельчая материал раздавливанием и истиранием [2, 4, 5]. В процессе измельчения участвует только 50–55 % мелющих тел, перемещающихся в поперечном сечении барабана мельницы, в свою очередь остальные 45–50 % образуют застойную зону в центральной части загрузки, препятствуя перемещению частиц измельчаемого материала к выгрузке в продольном сечении [2, 4, 5].

Согласно диаграмме помола порядка 50 % частиц размером 80 мкм и менее, удовлетворяющих требованиям готового продукта, находятся в первой камере измельчения. Наличие таких частиц в камере помола снижает эффективность процесса измельчения, за счет демпфирования взаимодействия между мелющими телами и частицами измельчаемого материала. Зачастую это приводит к их переизмельчению и агломерации переизмельченных частиц, что подтверждается диаграммами помола. Налипание переизмельченных частиц цемента на мелющие тела или футеровку слоем толщиной 200 мкм снижает производительность помольного агрегата на 50 %.

Таким образом, одним из направлений повышения эффективности процесса измельчения в шаровых барабанных мельницах является отбор частиц готового продукта внутри барабана мельницы и их байпасирование по ходу процесса измельчения. Это не только повысит эффективность процесса измельчения, но и снизит удельный расход энергии [13].

В соответствии с теорией Девиса о двухфазном режиме движения мелющих тел в барабанной мельнице, согласно которой до точки отрыва шар движется по круговой траектории вместе с барабаном мельницы, а затем в точке отрыва он переходит на параболическую траекторию свободного падения, ударяя по частицам измельчаемого материала в зоне падения. В точке отрыва шар обладает максимальной энергией равной сумме кинетической и потенциальной энергий. Потенциальная энергия равна произведению массы шара на высоту его подъёма, то есть она зависит от диаметра барабана мельницы. Кинетическая энергия шара равна произведению массы шара на квадрат скорости его движения, то есть зависит от частоты вращения барабана мельницы. Имея конструктивные ограничения по диа-

метру барабана мельницы и частоте его вращения, мы не имеем возможности существенным образом увеличить суммарную энергию шара. Следовательно, одним из направлений совершенствования эффективности процесса измельчения в шаровых барабанных мельницах является создание таких внутримельничных устройств, которые не только бы обеспечивали разрушение застойных зон в загрузке, интенсифицировали работу мелющих тел, но и создавали условия внутримельничной классификации измельчаемого материала.

Нами, впервые в мировой практике, разработана шаровая барабанная мельница с поперечно-продольным движением мелющих тел, проведены всесторонние лабораторные и промышленные исследования на различных типоразмерах шаровых барабанных мельниц [14, 15].

На рисунке 1 представлена принципиальная схема шаровой барабанной мельницы, оснащенной наклонной межкамерной перегородкой.

Наклонная межкамерная перегородка 4 устанавливается под углом α к горизонтальной оси барабана 2 мельницы. Камера 3 грубого помола имеет в исходном положении (а) минимальную длину, равную L . Мелющие тела 8 в ней занимают положение, изображенное на схеме, то есть находятся на максимальном уровне. Камера 5 тонкого помола имеет максимальную длину равную L . Мелющие тела 9 в ней располагаются на минимальном уровне, изображенном на рисунке 1а. Их плоскость располагается под углом β , который равен углу естественного откоса мелющих тел 9, находящихся в камере 5 тонкого помола.

При вращении барабана 2 мельницы через половину оборота он займет характерное положение (б), изображенное на рисунке 1б. При этом длина камеры 3 грубого помола увеличится на величину ΔL , равную $\Delta L = \frac{D}{\operatorname{tg} \alpha}$, и станет максимальной, равной $L_1 + \Delta L$. Мелющие тела 8 в камере 3 грубого помола переместятся вдоль оси барабана мельницы в свободное пространство под наклонную межкамерную перегородку 4, их верхняя плоскость установится под углом β к горизонтальной оси барабана мельницы, равном углу естественного откоса мелющих тел, находящихся в камере 3 грубого помола. Мелющие тела 8, кроме обычного движения в поперечном сечении барабана мельницы, совершат дополнительное продольное движение под наклонную межкамерную перегородку 4. В связи с этим разрушаются застойные зоны в центральной части загрузки, и совершается дополнительная работа измельчения. Кроме этого, происходит процесс внутримельничной классификации измельчаемого материала – под наклонную межкамерную

перегородку вместе с мелющими телами перемещаются самые мелкие частицы измельчаемого

материала, которые направляются дальше по ходу процесса измельчения во вторую камеру 5.

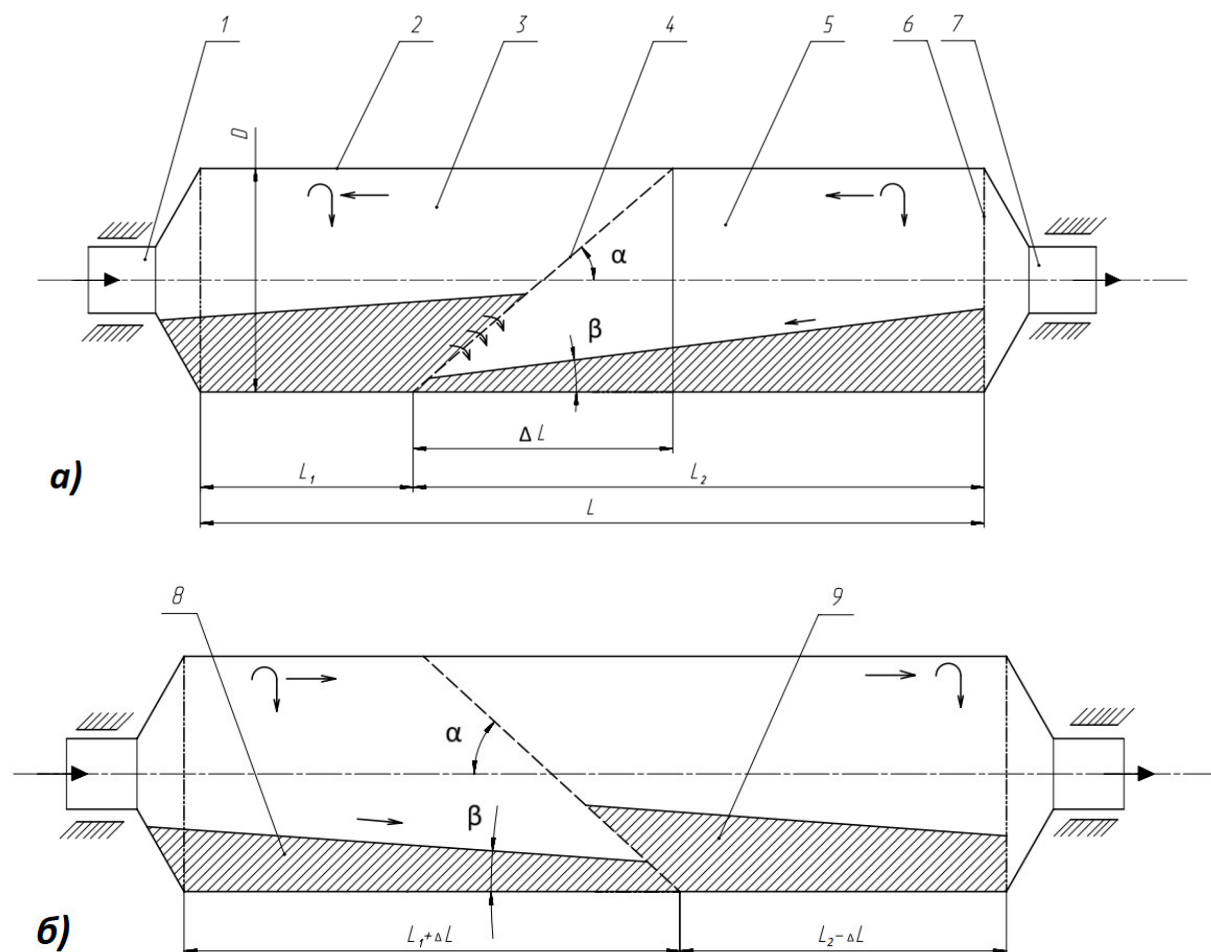


Рис. 1. Схема работы шаровой барабанной мельницы с наклонной межкамерной перегородкой:
1, 7 – загрузочная и разгрузочная цапфа; 2 – корпус; 3 – камера грубого помола; 4 – наклонная межкамерная перегородка; 5 – камера тонкого помола; 6 – выходная решётка; 8, 9 – мелющие тела

Длина камеры 5 тонкого помола станет минимальной, равной $L_2 - \Delta L$. Ее длина уменьшится на ΔL . Мелющие тела 9 переместятся в сторону разгрузочной решетки 6 и займут максимальный уровень. Здесь также совершится дополнительное продольное движение, разрушатся застойные зоны в центральной части загрузки, и произведется дополнительная работа измельчения интенсивным истиранием. Затем цикл повторится.

При переходе из положения (б) в положение (а) мелющие тела 8 вместе с измельчаемым материалом, находящиеся под наклонной межкамерной перегородкой 4 в камере 3 грубого помола, «зачерпываются» ею при дальнейшем вращении барабана, они скатываются в направлении загрузочной цапфы 1.

Происходит внутримельничная классификация измельчаемого материала – мелкие частицы проходят через щели в перегородке во вторую камеру 5 тонкого помола, а крупные возвращаются в камеру 3 грубого помола на доизмельчение.

Конструкция наклонной перегородки и расположение щелей, выполнены таким образом, чтобы предотвратить обратное просыпание измельчаемого материала из камеры 5 тонкого помола в камеру 3 грубого помола при переходе барабана мельницы из положения (б) в положение (а).

Площадь наклонной межкамерной перегородки 4 при рекомендуемом угле $\alpha = 50^\circ$ ее наклона к продольной оси барабана мельницы на 45 % больше площади обычной вертикальной перегородки. Следовательно, при равном «живом сечении» площадь отверстий в обычной вертикальной перегородке будет меньше, чем суммарная площадь отверстий в наклонной межкамерной перегородке.

Гидравлическое сопротивление перегородки снижается на 20–25 %, что существенно улучшает режим процесса аспирации, снижает нагрузку на фильтры.

Промышленные испытания наклонной межкамерной перегородки были проведены на мельницах $2,6 \times 13$ м, 3×14 м, $3,2 \times 15$ м, $4 \times 13,5$ м. Опыт

промышленной эксплуатации показал, что наибольшая эффективность процесса измельчения достигается у мельниц с диаметром барабана 4 м.

Главным фактором, обеспечивающим повышение технико-экономических показателей работы мельниц, является существенное снижение массы мелющих тел. Например, масса мелющих тел в мельнице 4×13,5 м была уменьшена с 238 т до 160 т, то есть на 78 т или на 32 %. Причем масса шаров в камере грубого помола была уменьшена со 100 т до 50 т, то есть на 50 %. Во второй камере со 138 т до 120 т, то есть на 13 %. Это объясняется тем, что во второй камере загружен цилиндр, который обладает меньшей продольной подвижностью. Если во вторую камеру загрузить мелкие шары диаметром 20-30 мм возможно получение большего эффекта за счет интенсификации продольного движения мелющих тел во второй камере. Вследствие снижения массы мелющих тел на 32 % потребляемая мощность привода снизилась с 3180 кВт до 2560 кВт, то есть на 620 кВт или на 19,5 %. При той же производительности мельницы за счет снижения потребляемой мощности привода удельный расход энергии снизился с 37,6 до 30,3 кВт·ч/т, то есть на 19,4 %. Экономия электроэнергии при коэффициенте использования равном 0,78 составила около 5 млн. кВт.

При снижении массы мелющих тел снижается нагрузка на опорно-ходовую часть мельницы, на редуктор, на корпус мельницы, на внутримельничные устройства. При движении мелющих тел в обычной мельнице преобладает трение скольжения как между мелющими телами и футеровкой, так и в слоях между мелющими телами, вследствие чего происходит интенсивный износ как шаров, так и футеровки, который суммарно достигает до 1,5 кг на тонну цемента. При применении наклонной перегородки преобладает трение качения, за счет чего снижается удельный расход мелющих тел. За счет уменьшения суммарной массы загрузки так же снижается расход дорогостоящих мелющих тел. Выработка готового продукта на единицу массы мелющих тел возрастает до 60 %.

Режим поперечно-продольного движения мелющих тел так же может быть обеспечен за счет использования наклонных и спирально-винтовых диафрагм, конической футеровки с изменяемым на противоположное направление наклона рабочей поверхности. Однако наибольший эффект обеспечивается при использовании наклонных межкамерных перегородок.

Выводы. Анализ рынка помольного оборудования, применяемого для помола клинкера и добавок, показывает, что в обозримом будущем

шаровая барабанная мельница останется основным помольным агрегатом при крупнотоннажном производстве. Она обладает простой конструкцией, высокой эксплуатационной надежностью, возможностью автоматизации процесса измельчения, позволяет производить цемент с требуемым потребительским качеством. Основные направления ее совершенствования были направлены на повышение эксплуатационной надежности, автоматизацию управления процессом работы, применением различных схем в сочетании с другими агрегатами. Одним из важных факторов, наряду с известными достижениями, является оптимизация работы мелющих тел и внутримельничная классификация измельчаемого материала.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках проекта № 22-29-01438 подержанного Российским научным фондом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bogdanov V.S., Dontsova Y.A., Bogdanov N.E. Mechanics of the grinding media in ball mills with longitudinal and transverse motion of the grinding media // ZKD. 2019. № 6. Pp. 15–24.
2. Хардер Й. Развитие одноэтапных процессов измельчения в цементной промышленности // Цемент Известь Гипс. 2006. № 1. С. 24–38.
3. Николаева Н.В. Выбор и расчет мельниц само- и полусамозмельчения // Записки Горного института, 2007. №1. С. 166–168 с.
4. Ястребов К.Л., Николаев М.Д. Расчет мощности, потребляемой барабанными мельницами // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2015. №4. С. 56–59.
5. Дуда В. Цемент. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
6. Jung O. Raising the Output of Vertical Roller Mills as an Alternative to New Capital Investment // Cement International. 2004. № 2. Pp. 52–57.
7. Harder J. Moderne Mahltechnik in der Zementindustrie // ZKG International. 2003. № 3. Pp. 31–42.
8. Jorgensen S.W. Cement grinding – a Comparison between Vertical Roller Mill and Ball Mill // Cement International. 2005. № 2. Pp. 55–63.
9. Чижик Е.Ф., Соколов В.И. Концепция измельчения руд в шаровых барабанных мельницах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. № 21. С. 326–330.
10. Ястребов К.Л., Дружинина Т.Я., Ершов В.А. Параметры механического и технологического режима работы мельниц, методы и аппаратное оформление исследований // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2015. №2. С. 56–64.

11. Шутов В.В. Оптимизация параметров барабанных мельниц // Записки горного института, 2004. №1. С. 86-89.

12. Nakajma Y. Wo liegen die Grenzen beim Bau grosse Rohrmulden // ZKG. 1971. № 9. Pp. 420-424.

13. Пат. 2246355, Российская федерация, МКИ В02 С17/06. Трубная мельница с внутримельничным классифицирующим устройством / В.С. Богданов, Ю.М. Фадин и др; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. №2003132214/03; заявл. 03.11.2003; опубл. 20.02.2005, Бюл. №5. 5 с.

14. Авт. свид. 733727 СССР, МКИ В02 С17/06. Шаровая мельница / В.С. Богданов, Б.Д. Тиховидов, Н.С. Богданов; заявитель и патентообладатель Харьковский инженерно-строительный институт. №2549471/29-33; заявл. 02.12.77; опубл. 15.05.80, Бюл. №18. 2 с.

15. Сапожников А.И., Репин С.В., Иванов П.С. Инновационные технологии измельчения строительных материалов // Вестник Тувинского государственного университета. 2014. №3. С. 22-28.

Информация об авторах

Богданов Василий Степанович, доктор технических наук, профессор. E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, улица Костюкова, 46.

Анциферов Сергей Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Механическое оборудование». E-mail: anciferov.sergey@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, улица Костюкова, 46.

Богданов Денис Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Механическое оборудование». E-mail: bogdanov.denis.v@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, улица Костюкова, 46.

Сычёв Евгений Андреевич, аспирант кафедры «Механическое оборудование». E-mail: evgeniy.sychov.015@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, улица Костюкова, 46.

Поступила 11.03.2022 г.

© Богданов В.С., Анциферов С.И., Богданов Д.В., Сычев Е.А., 2022

Bogdanov V.S., *Anciferov S.I., Bogdanov D.V., Sychev E.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: anciferov.sergey@gmail.com*

STATE AND DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF GRINDING TECHNIC AND TECHNOLOGY

Abstract. The analysis of the state and direction of development of equipment and technology for grinding materials in the Russian and foreign cement industry is carried out. The equipment used for grinding with ball mills, vertical mills and press-roll grinders is considered. The effectiveness of the use of ball mills and their advantage over other grinding units used in large-capacity production is shown. One of the main directions for the development of the efficiency of the grinding process in ball drum mills has been determined. It consists in the development of intra-mill devices that are aimed at destroying stagnant zones in the feed, intensifying the work of grinding bodies and creating conditions within the mill classification of the crushed material. The design and principle of operation of a ball drum mill equipped with an inclined inter-chamber partition is described. It ensures the transverse-longitudinal movement of grinding bodies in the mill body. The advantages of using an inclined inter-chamber partition are given, which include a reduction in the weight of the mill load and the hydraulic resistance of partition, improved aspiration, reduced power consumption and provision of transverse-longitudinal movement.

Keywords: grinding unit, ball drum mill, grinding, grinding media, specific energy consumption, inter-chamber partition, cement.

REFERENCES

1. Bogdanov V.S., Dontsova Y.A., Bogdanov N.E. Mechanics of the grinding media in ball mills

with longitudinal and transverse motion of the grinding media. ZKD. 2019. No 6. Pp. 15-24

2. Harder J. Development of one-stage grinding processes in the cement industry [Razvitie odnoetapnykh processov izmel'cheniya v cementnoj promyshlennosti]. Cement Lime Gypsum. 2006. No 1. Pp. 24–38. (rus)
3. Nikolaeva N.V. Selection and calculation of self- and semi-self-grinding mills [Vybor i raschet melnits samo- i polusamoizmelcheniia]. Notes of the Mining Institute. 2007. No. 1. Pp 166–168. (rus)
4. Yastrebov K.L., Nikolaev M.D. Calculation of the power consumed by drum mills [Raschet moshchnosti potrebliaemoi barabannymi melnitsami]. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2015. No. 4. Pp. 56–59. (rus)
5. Duda V. Cement. [Cement]. Moscow: Stroyizdat, 1981. 464 p. (rus)
6. Jung O. Raising the Output of Vertical Roller Mills as an Alternative to New Capital Investment. Cement International. 2004. No. 2. Pp. 52–57.
7. Harder J. Modern grinding technology in the cement industry. ZKG International. 2003. No.3. Pp. 31–42.
8. Jorgensen S.W. Cement grinding – a Comparison between Vertical Roller Mill and Ball Mill. Cement International. 2005. No. 2. Pp. 55–63.
9. Chizhik E.F., Sokolov V.I. The concept of grinding ores in ball drum mills [Kontseptsii izmelcheniia rud v sharovykh barabannykh melnitsa]. Mining information and analytical bulletin. 2005. No. Pp. 326–330. (rus)
10. Yastrebov K.L., Druzhinina T.Ya., Ershov V.A. Parameters of the mechanical and technological mode of operation of mills, methods and instrumentation of research. [Parametry mekhanicheskogo i tekhnologicheskogo rezhima raboty melnits metody i apparaturnoe oformlenie issledovaniy]. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2015. No. 2. Pp. 56–64. (rus)
11. Shutov V.V. Optimization of drum mill parameters [Optimizatsiia parametrov barabannykh melnits]. Notes of the Mining Institute. 2004. No. 1. Pp. 86–89. (rus)
12. Nakajma Y. What are the limits when building large Rohrmulden. ZKG. 1971. No 9. Pp. 420–424.
13. Bogdanov V.S., Fadin Yu.M. Tube mill with in-mill classifying device. Patent RF, no 2246355, 2005.
14. Bogdanov V.S., Tikhovidov B.D., Bogdanov N.S. Ball mill. Automated date USSR, no 733727, 1980.
15. Sapozhnikov A.I., Repin S.V., Ivanov P.S. Innovative technologies for grinding building materials [Innovatsionnye tekhnologii izmelcheniia stroitelnykh materialov]. Bulletin of Tuva State University. 2014. No. 3. Pp. 22–28. (rus)

Information about the authors

Bogdanov, Vasily S. Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com. Belgorod State Technological University V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova street, 46.

Antsiferov, Sergey I. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: antsiferov.sergey@gmail.com. Belgorod State Technological University V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova street, 46.

Bogdanov, Denis V. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: bogdanov.denis.v@gmail.com. Belgorod State Technological University V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova street, 46.

Sychev, Evgeniy A. Post-graduate student. E-mail: evgeniy.sychov.015@gmail.com. Belgorod State Technological University V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova street, 46.

Received 11.03.2022

Для цитирования:

Богданов В.С., Анциферов С.И., Богданов Д.В., Сычев Е.А. Состояние и направления развития техники и технологии измельчения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 7. С. 110–116. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-7-110-116

For citation:

Bogdanov V.S., Antsiferov S.I., Bogdanov D.V., Sychev E.A. State and directions of development of grinding technic and technology. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 7. Pp. 110–116. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-7-110-116