

Оптимизация помола с использованием модульной вертикальной валковой мельницы

РЕФЕРАТ. Модульные вертикальные валковые мельницы (ВВМ) для помола сырьевых материалов, цементного клинкера и минеральных добавок с установленной мощностью привода до 12 000 кВт разработаны для того, чтобы обеспечить высокую производительность помольных систем, повысить их энергоэффективность и оптимизировать техническое обслуживание оборудования. Модульная конструкция позволяет использовать только одну мельницу для помола сырья или цемента. Инновационный дизайн приводной системы, состоящей из четырех или шести идентичных узлов с установленной мощностью каждого до 2000 кВт, обеспечивает работу мельницы во время ремонта или технического обслуживания не только одного из четырех или шести валков, но и одного из приводных модулей и, как следствие, высокую надежность и повышенную эксплуатационную готовность. В статье приведены показатели работы сырьевых модульных ВВМ на предприятиях в Северной Америке, Алжире и Индии, а также результаты использования таких мельниц для помола цемента и гранулированного доменного шлака. Благодаря особому вниманию, которое уделялось снижению уровня колебаний конструкции модульной ВВМ при ее проектировании, она близка к тому, чтобы получить признание как самая бесшумная мельница в мире.

Ключевые слова: вертикальная валковая мельница, помол сырья, помол клинкера, энергоэффективность, техническое обслуживание.

Keywords: vertical roller mill, raw materials grinding, clinker grinding, energy efficiency, maintenance.

Введение

Вертикальные валковые мельницы (ВВМ) на протяжении десятков лет применяются в цементной промышленности для помола сырьевых материалов и угля. С 1980-х годов их также стали использовать для совместного или отдельного помола клинкера и минеральных добавок. За последние 20 лет во всем мире значительно выросло число ВВМ, используемых для помола цемента и доменного шлака. По сей день ВВМ успешно применяются для помола с одновременной сушкой сырьевых материалов, угля, шлака и клинкера с добавками. В связи с общемировой тенденцией роста мощностей отдельных производ-

ственных линий остро встают вопросы повышения эксплуатационной готовности технологического оборудования и оптимизации процедур его технического обслуживания. Этим критериям в полной мере удовлетворяет концепция модульных ВВМ [1–3].

Особенности конструкции

Производственная мощность отдельных печных агрегатов в цементной промышленности сегодня достигает 12 тыс. т клинкера в сутки. Для бесперебойного питания такой печи требуется производительность сырьевого отделения до 1000 т сырьевой муки в час. Наименее затратный способ реализации по-

добных проектов соответствует концепции «одна мельница на линию», но данный подход предъявляет также жесткие требования к операционной надежности и повышению коэффициента использования оборудования, упрощению процедур технического обслуживания.

Всем этим критериям удовлетворяет конструкция модульной ВВМ в сочетании с запатентованной модульной приводной системой. «Горячее» резервирование основных элементов мельницы позволяет достичь высочайшей эксплуатационной готовности производственной линии.

Модульная вертикальная валковая мельница имеет четыре или шесть помольных модулей и размольный стол с плоской бронифутеровкой. Каждый модуль включает в себя цилиндрический валок, вращающийся на валу и прижимаемый к столу гидравлической системой. Взаимно перпендикулярное расположение валка и помольного стола при плоской геометрической конфигурации последнего позволяют сохранить неизменным во времени зазор между роликом и столом, что снижает вибрации конструкции при работе мельницы и ее энергопотребление.

Пары смежных роликов установлены на единой опоре. Это облегчает доступ для обслуживающего персонала, упрощает компоновку газоходов сушильного агента, транспортных устройств возврата материала на домол и вспомогательного оборудования мельницы. Валки могут извлекаться из мельницы для осмотра и обслуживания при помощи той же гидравлической системы, которая обеспечивает их прижим в рабочем состоянии.

Все элементы, влияющие на движение сыпучего материала и газов внутри мельницы, такие как течки, газоходы сушильного агента, сопловое кольцо, высокоэффективный классификатор 3-го поколения, спроектированы с учетом аэродинамических расчетов; эффективность их конструкции доказана на практике на предыдущем поколении вертикальных мельниц.

Помольный стол приводится в движение через редуктор, от венцовой шестерни, момент на которую передают до шести идентичных приводных модулей мощностью до 2000 кВт каждый, состоящих из электродвигателя, муфты и прямозубой конической передачи, смонтированных на опорной раме с боковыми направляющими салазками. Рабочая нагрузка на стол воспринимается специальным поддерживающим механизмом привода. Механическое усилие, возникающее в ходе работы мельницы, передается на фундамент через классическую схему с подшипником скольжения, тем самым исключается дополнительная нагрузка на элементы зубчатой передачи.

Известно, что работа ВВМ при использовании привода с планетарной передачей возможна, если выдвинуты или подняты два противоположных вала, при этом производительность мельницы снижается до 60 % номинальной. Наличие модульного привода позволяет продолжать работу и после подъема только одного вала. Таким образом, благодаря «горячему» резервированию, реализованному в концепции модульной мельницы с модульным приводом, она может обеспечивать до 85 % номинальной производительности даже в то время, когда один из валков или одна приводная станция находятся на обслуживании.

Кроме того, благодаря особенностям конструкции, снижающим уровень вибраций при работе, модульная ВВМ близка к тому, чтобы считаться «самой тихой мельницей в мире».

Пример из практики

На одном из заводов в Северной Америке было принято решение повысить производственную мощность с 1,25 млн до 2,20 млн т цемента в год. Для этого необходимо было дополнить существующее оборудование обжиги и парк мельниц. Одну из печных линий заменили на новую, с пятиступенчатым теплообменником и декарбонизатором, а к имеющимся сырьевым шаровым мельницам добавили вертикальную четырехвалковую мельницу модульной конструкции. К цементным мельницам прибавилась ВВМ производительностью 245 т/ч.

Производительность модульной ВВМ определялась по результатам испытаний, проведенных на тестовом стенде производителя, в распоряжении которого имеются несколько опытно-промышленных установок с ВВМ традиционной и модульной конструкций. На установках определяются характеристики сырьевых материалов и иные показатели, относящиеся к проекту, такие как удельное энергопотребление, необходимый объемный расход сушильного агента, удельная скорость износа и др. С использованием данных тестирования была спроектирована сырьевая мельница производительностью по сырьевой муке 340 т/ч при остатке не более 10 % на сите с размером ячеек 90 мкм (что эквивалентно остатку не более 0,8 % на сите с размером ячеек 200 мкм). Размолоспособность предоставленных для испытаний сырьевых материалов была определена как «средняя».

Техническая информация о выбранной мельнице приведена в табл. 1.

Все сухие и влажные компоненты, такие как известняк, кварцевый песок, сланец, железосодержащая добавка, поступают к мельнице по ленточным конвейерам и подаются в нее через герметичный ротационный затвор (рис. 1). Последний обогревается горячим газом во избежание закупорки материалом при одновременной подаче сухих и влажных сырьевых компонентов.

Модульная ВВМ была спроектирована с учетом внешнего расположения транспортирующих устройств контура возврата материала и оборудована системой впрыска воды. Готовая сырьевая мука осаждается в системе циклонов, эффективность осаждения достигает 90 %. Оставшаяся часть муки улавливается в установленном далее по тракту рукавном фильтре. Готовый продукт при помощи

Таблица 1
Технические характеристики ВВМ для завода в Северной Америке

Характеристика	Показатель
Число валков, шт.	4
Масса изнашиваемой части валка, т	9
Материал изнашиваемой части ролика	Высокохромистый чугун
Установленная мощность двигателя мельницы (привод с планетарной передачей), кВт	3300
Установленная мощность двигателя сепаратора, кВт	200
Установленная мощность двигателя вентилятора, кВт	4300

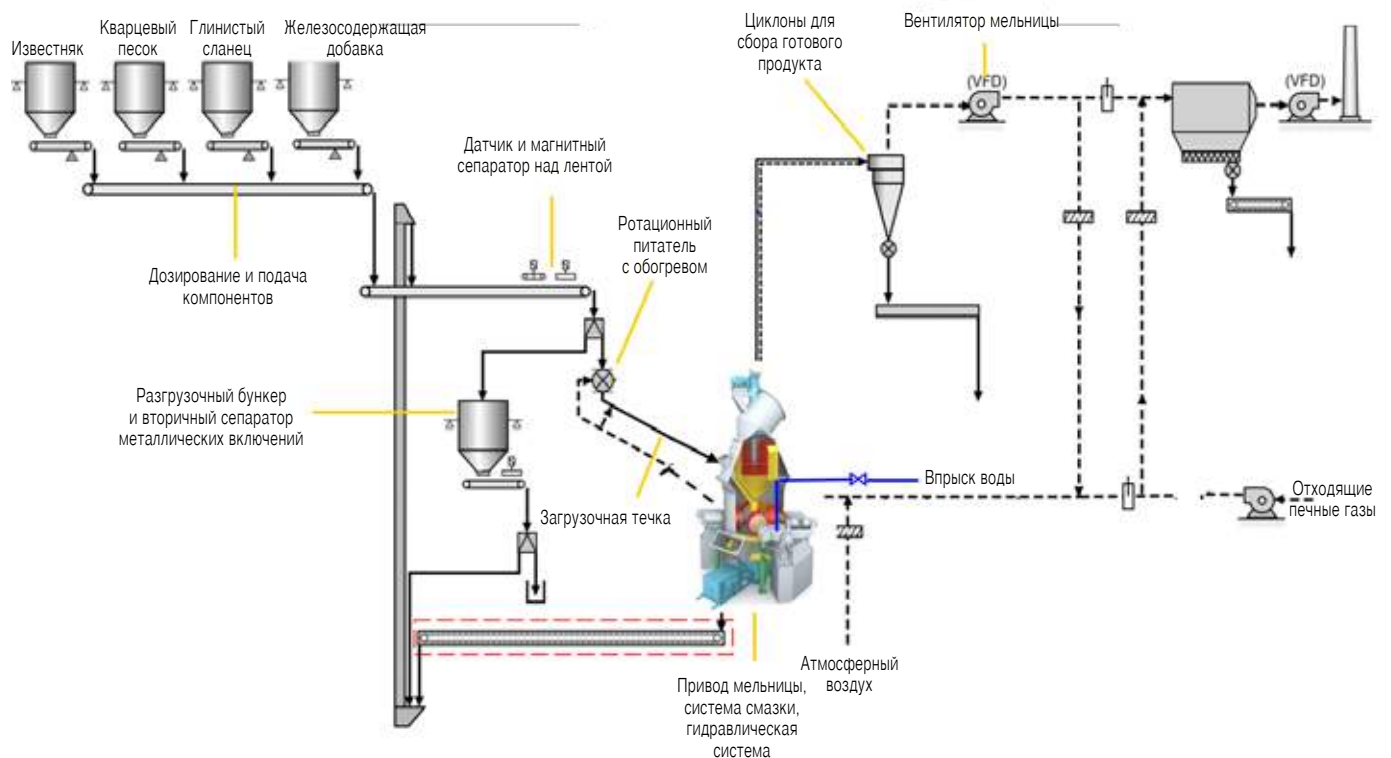


Рис. 1. Схема работы участка помола сырья с использованием модульной ВВМ



Рис. 2. Общий вид сырьевой модульной ВВМ, установленной на заводе в Северной Америке



Рис. 3. Общий вид установок с модульными сырьевыми вертикальными валковыми мельницами

Таблица 2
Гарантированные и достигнутые результаты

Показатель	Гарантированное значение	Фактическое значение
Влажность питания мельницы, %	Не более 4	4,1
Остаточная влажность сырья, %	Менее 1	0,1
Производительность, т/ч	340	350
Остаток на сите 90 мкм, %	10,0	8,3
Удельный расход энергии, кВт · ч/т	8,3	7,8

аэрожелобов и ковшового элеватора доставляется в силос сырьевой муки.

Новая мельница в короткие сроки вышла на требуемую производительность, были достигнуты все целевые показатели тонины помола. В табл. 2 указаны гарантированные показатели и показатели, достигнутые по результатам производственных испытаний.

На рис. 2 показан общий вид новой сырьевой модульной ВВМ на заводе в Северной Америке.

Опыт эксплуатации модульных ВВМ

За последние годы по всему миру было введено в эксплуатацию множество ВВМ модульного типа (рис. 3). В табл. 3 приведены типовые показатели шестивалковой сырьевой мельницы на примере двух мельниц, работающих на заводах в Алжире и Индии.

Сегодня модульные ВВМ находят широкое применение для помола цементов и доменных шлаков, а их первая промышленная апробация в этой роли состоялась в 2008 году. Например, на предприятии в Австралии одна из таких мельниц используется для помола гранулированного доменного шлака и цемента. Мельница имеет производительность до

1,1 млн т в год, она оснащена шестью валками и тремя приводными модулями мощностью 1840 кВт каждый. Первый пуск мельницы состоялся в 2014 году.

Современные мельницы хорошо справляются с задачами помола бездобавочного цемента и цемента с добавками. Одна из мельниц, работающая в Северной Африке с 2016 года, выпускает два типа бездобавочного цемента, различающихся дисперсностью: при выпуске цемента с тонинной по Блейну 3880 см²/г производительность агрегата достигает 345 т/ч при удельном энергопотреблении 18,7 кВт · ч/т, а для цемента с тонинной по Блейну 4800–5000 см²/г — 236 т/ч при энергозатратах на помол 25,3 кВт · ч/т.

Один из крупнейших производителей цемента на Индийском субконтиненте в 2011 году расширил свои мощности, введя в строй новый завод с печной линией мощностью 10 тыс. т клинкера/сут (около 3,6 млн т в год). Для помола клинкера на заводе была установлена четырехвалковая ВВМ с четырьмя приводными модулями мощностью 1650 кВт каждый. Работа мельницы в режиме горячего резервирования обеспечивает сохранение производительности агрегата на уровне не менее 70 % номинальной при техническом обслуживании одного из валков или приводов. Данная мельница прошла испытания в режиме работы с поднятым валком. Производительность снизилась на

17,5 % (с 291 до 240 т/ч) при скорости вращения помольного стола около 88 % номинальной и тонине помола по Блейну около 3000 см²/г. Колебания скорости вращения ротора приводного электродвигателя при этом составили ±1,8 %, что сопоставимо с аналогичным показателем при работе мельницы с асинхронным двигателем. В целом работа мельницы с одним поднятым валком была стабильной, эксплуатационные показатели не испытывали значительных колебаний.

Дегидратация гипсового камня

Поскольку энергоэффективность ВВМ значительно выше, чем у шаровой мельницы, в ходе помола материала выделяется меньше тепла. Благодаря этому при помолке клинкера с сульфатной добавкой, в качестве которой зачастую применяется природный двухводный гипс, последний не подвергается существенному нагреву и обезвоживанию; кроме того, отпадает необходимость в охладителе цемента. Меньшая температура продукта, поступающего в силос, предотвращает дегидратацию гипса при хранении цемента, снижает слеживаемость и комкование материала. Уменьшенная степень дегидратации означает и то, что доля полуводного гипса в цементах также снизится, однако это снижение можно компенсировать, увеличив общее количество гипса (так, чтобы не превысить установленные пределы содержания SO₃), его реакци-

Таблица 3
Типовые эксплуатационные показатели шестивалковой сырьевой модульной ВВМ

Показатель	Алжир		Индия	
	Гарантированное значение	Достигнутое (фактическое) значение	Гарантированное значение	Достигнутое (фактическое) значение
Влажность питания мельницы, %	6,5	1,7	Не более 5,0	1,15
Остаточная влажность, %	Не более 0,7	0,5	-	0,5
Производительность, т/ч	680	692	500	545
Остаток на сите 90 мкм, %	12,0	11,8	15,0	17,0
Удельный расход энергии, кВт · ч/т	8,5	8,0	12,1	10,8

онную способность или повысить температуру готового продукта.

Увеличить содержание полугидрата можно путем установки дополнительной молотковой сушилки-дробилки в сочетании с ВВМ с целью частично дегидратировать гипс. В табл. 4 указано содержание полуводного гипса на выходе из ВВМ при различных режимах помола, а также при наличии сушилки-дробилки и ее отсутствии в схеме помола. Температура клинкера, подаваемого на помол, равна 30 °С.

Сравнительные исследования цементов, получаемых на промышленных ВВМ, позволили установить следующее: при температуре материала на выходе из ВВМ около 95 °С содержание полугидрата составляло около 30 % в пересчете на общее содержание SO₃ в сульфатной добавке. При дополнительной установке сушилки-дробилки с температурой на выходе 160 °С и температуре на выходе ВВМ около 75 °С содержание полугидрата возрастало до 80 %.

Чтобы частичная дегидратация происходила в ВВМ, температура на выходе ее должна составлять 120 °С, однако цемент с такой высокой температурой будет комковаться при хранении из-за продолжающейся дегидратации гипса. Таким образом, при помоле цемента в ВВМ достичь требуемого содержания полугидрата при сохранении температуры материала на безопасно низком уровне невозможно без использования дополнительной

Примеры затрат тепла на дегидратацию гипсового камня в схеме «ВВМ + сушилка-дробилка»

Параметр	Номер варианта				
	1	2	3	4	5
Состояние генератора горячих газов ВВМ	Отключен	В работе	Отключен	Отключен	Отключен
Температура материала на выходе сушилки-дробилки, °С	—	—	120	140	160
Температура материала на выходе ВВМ, °С	70	120	70	70	70
Подвод внешнего тепла, ГДж/ч	0,0	21,4	7,4	11,2	12,7
Массовая доля полугидрата в гипсе, %	0	20	20	68	93

сушилки-дробилки. Управляя температурой на выходе из нее, можно варьировать содержание полуводного гипса в широких пределах для получения цемента с заданными характеристиками.

Заключение

Взяв курс на устойчивое развитие своего бизнеса, производители цемента должны постоянно ориентироваться на переменчивые факторы рынка; особое внимание следует уделить вопросам энергосбережения и эксплуатационной готовности производственных мощностей. Новая технология модульных ВВМ, выведенных на рынок около 10 лет назад, способна удовлетворить строгие запросы промышленности в части надежности и эксплуатационной готовности оборудования, простоты технического обслуживания, низ-

кого удельного потребления электрической и тепловой энергии. С учетом того, что внедрение данной технологии оказывается наименее затратным при использовании только одной мельницы для помола сырьевых компонентов или цемента, неудивительно, что сегодня множество производителей по всему миру отдают предпочтение модульным ВВМ, сочетающим указанные выше преимущества с высокой производительностью единичного агрегата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hoffmann D., Hoster T., Jung O., Lessmeister H., Schuette K.H. Roller grinding mill. European Patent EP 2 252 403, Mar. 20, 2008.
2. Hoffmann D., Jung O., Schuette K.H. Safety system for roller mill. European Patent EP 2 086 685, Oct. 25, 2006.
3. Bachmann J., Anbari R. Pfeiffer MVR — Exshaw experience // Gebr. Pfeiffer Technical Panel. Dec. 2016, Ft. Lauderdale, Florida, USA.

Таблица 4