

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-12-115-123

¹Чумиков Ю.А., ^{1,2}Родионов Ю.В., ^{1,*}Скоморохова А.И., ¹Соколов М.В., ¹Гливенкова О.А.,
¹Сухова О.А.¹Тамбовский государственный технический университет²Мичуринский государственный аграрный университет

*E-mail: nasta373@mail.ru

ВЫБОР ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА ДЛЯ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ С ВАКУУМНЫМ ОТВОДОМ

Аннотация. Использование порошков представляет интерес во многих отраслях промышленности. При этом степень измельчения материалов зависит от целевого назначения, в частности при производстве красок необходимо обеспечить определенную тонкость помола пигмента. Чем мельче частицы, тем выше его укрывистость. Однако, чрезмерно высокая тонкость помола может снизить кроющую способность пигмента. Предлагается производить измельчение пигмента в двухсекционной цилиндрикоконической шаровой мельнице с вакуумным отводом частиц заданной степени помола. В статье описана конструкция мельницы и приведена схема линии вакуумного транспортирования измельчаемого пигмента. Цель работы заключается в определении основных параметров вакуумной линии пневмотранспорта при измельчении твердых органических материалов с помощью шаровой мельницы с вакуумным отводом. Приведена методика расчета геометрических, кинематических и динамических параметров разработанной мельницы и линии пневмотранспорта. Значительное сокращение затрат энергии на лишний помол осуществляется за счет своевременного вакуумного отвода измельченных частиц. Вакуум в системе создается и поддерживается жидкостнокольцевым вакуумным насосом. Описаны различные варианты работы разработанной установки: непосредственное измельчение; дополнительное измельчение и рециркуляция дополнительной жидкости, образующейся в процессе работы жидкостнокольцевого вакуумного насоса, что способствует дополнительному сокращению энергетических затрат при измельчении.

Ключевые слова: измельчение, пигмент, двухсекционная шаровая мельница, пневмотранспорт, жидкостнокольцевой вакуумный насос.

Введение. Вопрос организации процессов измельчения является одним из наиболее важных в химической, нефтяной, пищевой, фармацевтической и других отраслях промышленности. Измельчение твердых тел до частиц малых размеров осуществляется с целью повышения эффективности различных процессов, в том числе и гетерогенных. Часто использование твердых материалов без предварительного измельчения вообще невозможно [1].

Рассмотрим измельчение сухих органических материалов в порошки, необходимые для применения в химической промышленности, в частности для лакокрасочной отрасли. Здесь степень помола органических материалов (пигментов) является ключевым звеном при создании нового, качественного продукта. Пигменты представляют собой натуральные красящие вещества, обычно порошкообразные и обычно нерастворимые в воде и некоторых других органических растворителях. Эти натуральные материалы являются важным компонентом при производстве красок и покрытий. Сегодня промышленная значимость пигмента расширяет его применение в качестве основного красящего материала не только в производстве красок и чернил, но и в других областях, включая пластмассовую, рези-

новую, косметическую, бумажную и фармацевтическую промышленность, благодаря его выдающимся физико-химическим свойствам [2].

Значимой характеристикой измельченных пигментов является тонкость помола. Чем меньше частицы порошка, тем выше укрывистость пигмента, однако слишком высокая тонкость помола становится причиной снижения красящей способности пигмента [3]. Порошки изготавливают из предварительно высушенных органических материалов, а во время измельчения производят их подсушку.

Для получения порошка тонкого помола интерес представляют шаровые барабанные мельницы [4], в которых измельчение происходит за счет удара, раздавливания и истирания. Несмотря на перспективность использования таких мельниц в различных отраслях промышленности, их энергоемкость достаточно высока, что обуславливает необходимость решения задачи снижения затрат энергии на процесс измельчения в шаровых барабанных мельницах [5].

На энергопотребление влияют не только технология измельчения и свойства перерабатываемого материала, в частности его механическое поведение, но и режим загрузки и скорость подачи энергии. Измельчающее устройство контро-

лирует способ подачи энергии к материалу и механизмы ее рассеивания, участвующие в этом процессе, такие как, например, трение. Чем меньше становятся частицы измельчаемого материала, тем больше энергии требуется на осуществление их помола [6], что осложняет задачу повышения энергоэффективности процесса.

В данной работе предлагается возможное решение проблемы энергозатратности измельчения. Частицы, достигшие определенных размеров целесообразно отводить из зоны измельчения, чтобы они не мешали помолу остальной массы пигмента. Для этого разработана конструкция двухсекционной цилиндрикоконической шаровой мельницы (ДШМ) с вакуумным отводом частиц заданной степени помола. Помимо своевременного отвода частиц определенных размеров, данная установка обеспечивает подсушку сырья и его перемешивание [7].

Целью статьи является определение основных параметров вакуумной линии пневмотранспорта при измельчении твердых органических материалов (пигментов) с помощью шаровой мельницы с вакуумным отводом.

Методика. За основу разрабатываемой методики расчета двухсекционной мельницы взяты положения теории измельчения [1, 8–10]. Разрабатываемая методика расчета вакуумного транспортирования основана на законах течения газов, теории вакуумирования и рекомендациях по проектированию вакуумных насосов [11–13].

Экспериментальные исследования двухсекционной цилиндрикоконической шаровой мель-

ницы с вакуумным отводом проведены в лаборатории НОЦ ТГТУ-МичГАУ «Экотехнологии им. Ю.Г. Скрипникова» на экспериментальной установке, конструкция и принцип работы которой изложены в патенте [14]. Разработанная ДШМ с вакуумным отводом частиц снижает энергозатраты на процесс получения порошков, в частности, пигментов, заданной степени помола за счет исключения из процесса лишнего измельчения.

Основная часть. Для организации работы предлагаемой установки одним из основных направлений является рассмотрение работы вакуумной линии на базе жидкостнокольцевого вакуумного насоса (ЖВН). ЖВН здесь организует вакуумный транспорт измельченных до заданной степени помола частиц из ДШМ в емкость сбора органического порошка (пигмента). Кроме того, в линии предусмотрен возврат частиц обратно в мельницу с целью дополнительного помола.

Для наглядного изображения разделим вакуумно-транспортную линию разработанной установки на участки А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, И, как показано на рисунке 1.

Измельчаемый материал загружается в ДШМ 2 (рис. 1), слева от которой установлен жиклер 1. Разрежением, создаваемым жидкостнокольцевым вакуумным насосом (ЖВН) 4 [15], измельченный до заданной степени помола пигмент поступает в циклон-накопитель 3. Клапан 12 служит для дозирования материала при транспортировке в циклон-накопитель 3. Величина вакуума регулируется клапаном 8.

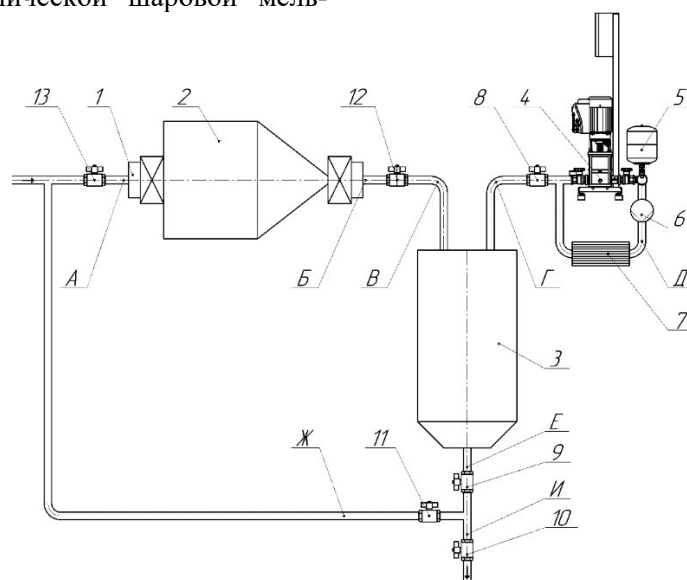


Рис. 1. Линия вакуумного транспортирования измельчаемого пигмента: 1 – торцевое уплотнение; 2 – двухсекционная шаровая цилиндрикоконическая мельница; 3 – циклон-накопитель; 4 – жидкостнокольцевой вакуумный насос; 5 – резервуар; 6 – клапан регулировочный; 7 – радиатор; 8 – клапан регулировочный (отвечает за регулировку вакуума); 9 – клапан регулировочный (отвечает за накопление материала в бункере); 10 – клапан регулировочный (отвечает за выгрузку материала); 11 – клапан регулировочный (отвечает за возврат материала на повторное измельчение); 12 – клапан регулировочный (отвечает за силу вытягивания); 13 – клапан регулировочный (отвечает за подачу материала)

На первом этапе происходит удаление воздуха при закрытых клапанах 12 и 9 и открытом клапане 8. Создается разрежение с давлением p_1 таким образом, чтобы при открытии клапана 12 происходило выравнивание давлений до давления p_n , которое соответствует давлению уноса 50 % частиц от начальной величины.

При этом вакуумно-транспортная система имеет несколько линий: основная и вспомогательные линии. Основная разделена на четыре участка [16]: А, Б, В, Г. Вспомогательные линии включаются по необходимости и состоят из участков: Д – линия рециркуляции дополнительной жидкости ЖВН; Е, Ж – линия транспортирования на дополнительное измельчение; И – линия отгрузки измельченного материала.

Участок А характеризует всасывание воздушной массы А. Участок Б отвечает за установившееся течение смеси частиц заданного помола с воздухом. Участок В показывает путь торможения. Последний участок основной линии Г отвечает за удаление воздушной смеси.

В случае невозможности своевременного отвода частиц заданной степени помола действует дополнительная линия, в которой измельченный до промежуточной степени помола материал (пигмент) возвращается обратно в ДШМ. Для этого включается дополнительная линия, состоящая из участков Е, Ж, И. При открытом клапане 9 материал может подаваться через участок Е либо на дополнительное измельчение по участку Ж (при открытом клапане 11), либо на отгрузку и

вывод из линии по участку И (при открытом клапане 10).

Линия Д отвечает за использование дополнительной жидкости вакуумного насоса. Она состоит из резервуара 5 для сбора жидкости, образующейся в процессе работы ЖВН, радиатора 7, охлаждающего жидкость, и клапана 6, который включает циркуляцию жидкости. Данная линия включается в работу для рециркуляции и охлаждения дополнительной жидкости, что исключает необходимость в постоянном подводе жидкости для обеспечения работы ЖВН.

В различных случаях работы транспортных систем необходимо правильно организовать пуск вакуумно-транспортной системы. Для этого проводится расчет и выбор входящего в состав линии оборудования (трубопроводы, циклон-накопитель, ЖВН), выбор клапанов, организация порядка работы и автоматизированного управления.

Корректная работа предлагаемой ДШМ возможна при правильно организованном отводе частиц. Алгоритм расчета (выбора) элементов вакуумной транспортной системы вместе с ЖВН необходимо выполнять в следующей последовательности.

На первом этапе определяем геометрические размеры ДШМ (рис. 2). В расчетах принимаем количество загружаемого материала в мельницу, как общее количество материала, деленное на количество загрузок n равное 2.

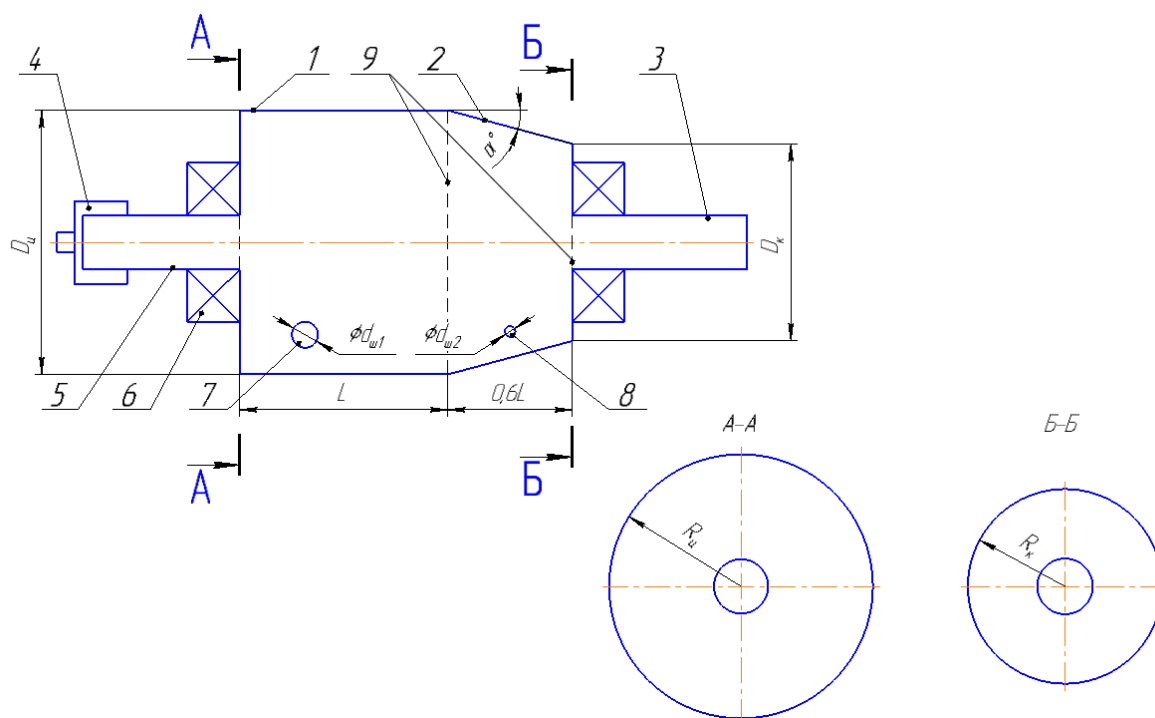


Рис. 2. Цилиндроконическая шаровая мельница: 1 – цилиндрическая секция; 2 – коническая секция; 3 – выпускной патрубков; 4 – жиклер; 5 – впускной патрубков; 6 – подшипники качения; 7 – шар большого диаметра; 8 – шар малого диаметра; 9 – решетка перфорированная

Наиболее эффективным для измельчения режимом работы мельницы считается режим, при котором мелющие тела движутся по траекто-

риям, изображенным на рисунке 3. При таком режиме работы материал измельчается за счет интенсивных ударов, раздавливания и истирания мелющими телами.

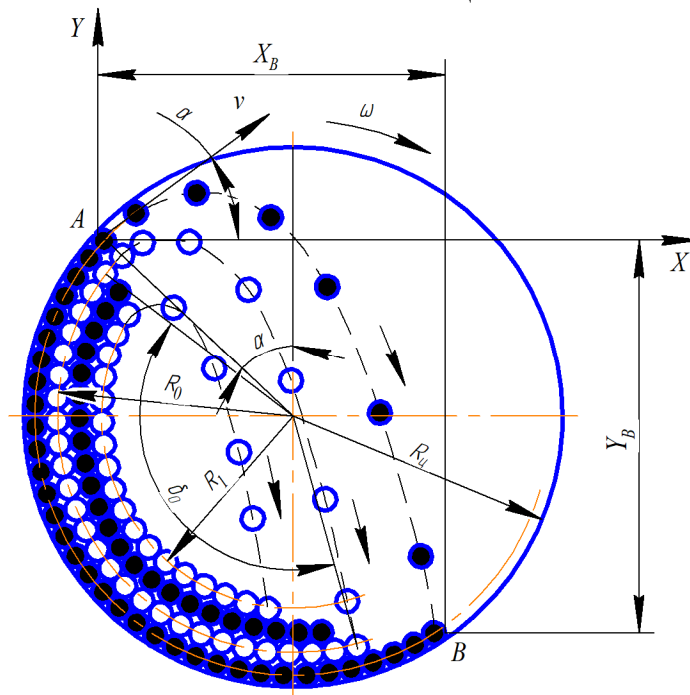


Рис. 3. Схема движения шаров во вращающемся барабане [17]

Порядок расчета покажем на примере цилиндрической секции.

Коэффициент заполнения цилиндрической секции определяется отношением объема загрузки к полному объему секции. Обычно принимается: $\varphi_3 = 0,26 \dots 0,32$.

При значении загрузки:

$$\varphi_3 = \frac{V_3}{V_{\text{ц}}} = 0,3, \quad (1)$$

где V_3 – объем загрузки, м^3 ; $V_{\text{ц}}$ – полный объем цилиндрической секции, м^3 .

Радиусы (рис. 3) принимают следующие значения

$$R_1 = 0,7R_{\text{ц}}, \quad (2)$$

где R_1 – внутренний радиус расположения центров мелющих шаров при работе мельницы, м; $R_{\text{ц}}$ – внутренний радиус цилиндрической секции, м.

Внутренний диаметр цилиндрической секции:

$$D_{\text{ц}} = 2R_{\text{ц}}. \quad (3)$$

Большое влияние на интенсивность измельчения оказывают: скорость вращения барабана мельницы, количество и размер мелющих тел, среда измельчения, в которой осуществляется процесс измельчения. При работе мельницы с увеличением ее скорости вращения увеличивается центробежная сила и угол подъема измельчаемых и мелющих тел, вследствие чего тела па-

дают вниз с большей высоты (рис. 3), и производится главным образом дробящее действие. Дальнейшее увеличение скорости вращения мельницы приводит к росту центробежной силы так, что в некоторый момент времени измельчаемые и мелющие тела будут вращаться вместе с барабаном и материал практически не будет измельчаться. Это становится причиной остановки процесса измельчения.

Скорость, при которой наблюдается подобный режим работы мельницы, называют критической скоростью вращения:

$$n_{\text{кр}} = \frac{29,91}{\sqrt{R_{\text{ц}}}}. \quad (4)$$

Длину цилиндрической секции принимаем:

$$L = 2R_{\text{ц}}. \quad (5)$$

Коническая секция барабана рассчитывается по аналогичным формулам для двух сечений: среднего и наименьшего.

Диаметр шаров каждой секции ДШМ определяем по формулам:

-первая (цилиндрическая) секция:

$$d_{\text{ш max 2-1}} = 6,00\sqrt[3]{d_{\text{max 2-1}}}, \quad (6)$$

где $d_{\text{max 2-1}}$ – максимальный размер куса измельченного материала в первой секции, м.

-вторая (коническая) секция:

$$d_{\text{ш max 2-2}} = 6,00\sqrt[3]{d_{\text{max 2-2}}}, \quad (7)$$

где $d_{\max 2-2}$ – максимальный размер куска измельченного материала во второй секции, м.

Масса загрузки мельницы складывается из массы мелющих тел и массы измельчаемого материала, которую обычно принимают равной 14 % от массы мелющих тел.

Следовательно:

$$m_3 = 1,14m_m = 1,14\pi R_{\text{ш}}^2 L \rho \mu, \quad (8)$$

где m_m – масса мелющих тел, кг; L – длина барабана, м; ρ – плотность материала мелющих тел, т/м³; μ – коэффициент неплотности загрузки (для шаров $\mu = 0,57$).

Находим воздушный объем ДШМ:

$$V_{\text{возд, ДШМ}} = V_{\text{ш}} + V_{\text{к}} - V_{\text{п}} - V_{\text{ш2-1}} - V_{\text{ш2-2}} - V_{\text{пш}}, \quad (9)$$

где $V_{\text{ш}}$ – объем конической секции шаровой мельницы, м³; $V_{\text{п}}$ – объем пигмента, м³; $V_{\text{ш2-1}}$ – объем шаров цилиндрической секции ДШМ, м³; $V_{\text{ш2-2}}$ – объем шаров конической секции ДШМ, м³; $V_{\text{пш}}$ – объем перфорированной перегородки, м³.

Объем измельчаемого пигмента можно определить формулой:

$$V_{\text{п}} = \frac{m_{\text{п}} \cdot \varepsilon}{\rho_{\text{п}}}, \quad (10)$$

где $m_{\text{п}}$ – масса пигмента, кг; ε – коэффициент порозности; $\rho_{\text{п}}$ – плотность пигмента, кг/м³.

Производительность установки находим, согласно формуле [7]:

$$Q_{\text{в}} = \frac{G_{\text{м}} \cdot v_{\text{ср}}^2}{2p} \leq S_{\text{ф}}(p), \quad (10)$$

где $G_{\text{м}}$ – производительность установки по растительному сыпучему материалу, кг/с; $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость материала, м/с; p – начальное давление воздуха на входе в транспортный трубопровод, кПа; $S_{\text{ф}}(p)$ – фактическая быстрота действия (производительность) при полученном давлении всасывания, м³/с.

Давление всасывания ЖВН находим по формуле:

$$p_{\text{вс}} = p_{\text{кр}} + \Delta p, \quad (11)$$

где $p_{\text{кр}}$ – критическое давление поднятия частиц, кПа; Δp – общие потери давления в установке, кПа;

Частицы измельчаемого материала транспортируем вакуумным воздушным потоком при создании скорости потока выше критической, которую, считаем, как [18]:

$$v_{\text{кр}} = B \cdot \sqrt{\frac{g \cdot D_{\text{ш}}}{v_{\text{вит}}^2}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\text{см}} - \rho_{\text{в}}}{\rho}} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{тв}}}{\rho_{\text{в}}}\right)^2 \cdot K, \quad (12)$$

где B – коэффициент транспортирования, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; $\rho_{\text{см}}$ – значение плотности транспортируемой аэросмеси, кг/м³; $\rho_{\text{в}}$ – значение плотности воздуха, кг/м³; $\rho_{\text{тв}}$ – значение плотности твердых частиц, кг/м³; $v_{\text{вит}}$ – скорость витания частиц, м/с; K – дополнительный безразмерный коэффициент, учитывающий физико-химические свойства измельчаемых материалов.

При этом находим скорость витания по формуле:

$$v_{\text{вит}} = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g}{C_X \cdot A_M \cdot \rho_{\text{в}}}}, \quad (13)$$

где m – масса частицы, кг; C_X – безразмерный коэффициент сопротивления при обтекании частицы воздушным потоком; A_M – площадь миделева сечения частицы, м².

Выбираем действительную быстроту действия и соответственно типоразмер ЖВН по расходу воздуха при разряжении $p=0$ кПа.

$$Q_{\text{а}} = S_{\text{д}}, \quad (14)$$

где $S_{\text{д}}$ – действительная быстрота действия (производительность) ЖВН, м³/с.

Находим необходимую концентрацию $m_{\text{к}}$ пигмента в вакуумном режиме:

$$m_{\text{к}} = \frac{G_{\text{м}}}{S_{\text{д}}}. \quad (15)$$

Определяем диаметр вакуумно-транспортных трубопроводов установки:

$$d_{\text{тт}} = d_{\text{вт}} \cdot \sqrt{1 + m_{\text{к}}^2 \cdot \left(\frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{п}}}\right)^2}, \quad (16)$$

где $d_{\text{вт}}$ – диаметр всасывающего трубопровода, м.

Общие потери давления вычисляем по формуле:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тех}} + \Delta p_{\text{тт}} + \Delta p_{\text{вт}}, \quad (17)$$

где $\Delta p_{\text{тех}}$ – потери давления в технологическом оборудовании, кПа; $\Delta p_{\text{тт}}$ – потери в транспортном трубопроводе, кПа; $\Delta p_{\text{вт}}$ – потери давления в воздушном трубопроводе, кПа.

Составляющие потерь давления определяем по формулам, приведенным в работе [7].

Каждому давлению разряжения соответствует размер частицы, подлежащий уносу. Производительность пневмотранспортирования определяется быстротой действия ЖВН. Алгоритм работы, следующий (рис. 2):

- закрываем заслонки (поз. 12, 9);
- открываем заслонку (поз. 8);
- создаем разряжение в трубопроводах и циклоне накопителе до давления p_1 ;

- давление в ДШМ равно $p_2=101,3$ кПа=1 атм.;

- открываем задвижку (поз. 12);
- закрываем задвижку (поз. 8);
- задвижки (поз. 13, 9) держим закрытым.

Запишем формулу выравнивания давлений для сообщающихся сосудов:

$$p_1V_1 + p_1V_2 + p_2V_{\text{возд.ДШМ}} = p_n(V_1 + V_2 + V_{\text{возд.ДШМ}}), \quad (18)$$

где V_1 – объем циклона-накопителя, м³; V_2 – объем трубопроводов системы, м³; p_n – давления подъема частиц пигмента, кПа.

Тогда

$$p_n = \frac{p_1V_1 + p_1V_2 + p_2V_{\text{возд.ДШМ}}}{V_1 + V_2 + V_{\text{возд.ДШМ}}}. \quad (19)$$

При условии, что p_n соответствует давлению подъема частицы ($p_n=0,5m_n$), определяем V_1 и V_2 .

Далее определяем общее давление начала измельчения при открытии заслонки (поз. 12), то есть начало вакуумного пневмотранспортирования. Причём давление не должно удалять частицы по размеру в два раза меньшего начальному. После этого идет дальнейшая откачка и пневмотранспортирование частиц до достижения ими определенной степени помола.

Последний этап расчета – выбор ЖВН по предельному давлению разрежения и подбор клапанов для системы пневмотранспорта.

Если невозможно подобрать ЖВН с нужным предельным давлением разрежения, осуществляется выбор ближайшего по величине вакуума и проводится расчет дополнительной линии транспортирования – возврата частиц определенного размера в ДШМ на дополнительный помол с последующим их транспортированием по участкам основной линии.

С целью повышения экономии энергии при измельчении пигментов будут разработаны новые конструкции ЖВН, в частности ЖВН с вращающимся корпусом и регулируемым нагнетательным окном, то есть вакуумный насос комбинированного типа (ЖВН КМ), разработанного на кафедре «МИГ ФГБОУ ВО «ТГТУ». Кроме того, важным вопросом, подлежащим изучению, является автоматизация работы линии вакуумного транспортирования.

Выводы.

1. Представлена конструкция разработанной двухсекционной цилиндрикоконической шаровой мельницы с вакуумным отводом частиц для измельчения пигмента. Частицы заданной степени помола транспортируются за счет вакуума, создаваемого жидкостнокольцевым вакуумным насосом.

2. Предложена методика расчета линии пневмотранспорта для организации вакуумного

отвода частиц определенной степени помола при работе шаровой мельницы.

3. Приведен расчет основных геометрических параметров шаровой мельницы и представлена организация линий пневмотранспортирования: основной и дополнительной.

4. Предложена линия рециркуляции дополнительной жидкости, образующейся в работе жидкостнокольцевого вакуумного насоса, позволяющая сократить энергию, затрачиваемую на подвод жидкости.

5. Представлены основные формулы для выбора ЖВН по скорости действия и давлению разрежения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ходаков Г.С. Физика измельчения: монография. М.: «Наука», 1972. 306 с.
2. Agbo C., Jakpa W., Sarkodie B., Boakye A., Fu S. A review on the mechanism of pigment dispersion // Journal of Dispersion Science and Technology. 2018. Vol. 39. № 6. Pp. 874–889. DOI: 10.1080/01932691.2017.1406367
3. Фрейтаг В., Стойе Д. Краски, покрытия и растворители: пер. с англ. под ред. Э.Ф. Ицко. СПб: Профессия, 2012. 528 с.
4. Богданов В.С., Анциферов С.И., Богданов Д.В., Сычёв 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
5. Иванов С.Д., Кудряшов А.Н., Ощепков В.В. Модель оптимизации параметров размола шаровой барабанной мельницы ШК-32 // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. Т. 20. № 10(117). С. 128–134. DOI: 10.21285/1814-3520-2016-10-128-134
6. Blanc N., Mayer-Laigle, C., Frank, X., Radjai, F., Delenne, J.-Y. Evolution of grinding energy and particle size during dry ball-milling of silica sand // Powder Technology. 2020. Vol. 376. Pp. 661–667. DOI: 10.1016/j.powtec.2020.08.048
7. Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Данилин С.И., Чумиков Ю.А., Скоморохова А.И., Родионов Ю.Ю. Теоретический расчет двухступенчатого измельчителя сухих растительных материалов заданной степени помола с применением вакуума // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 14. № 3(70). С. 32–41. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2021_3_32
8. BadJena S.K., Mishra B.K. Optimization of variables in grinding brass particles for paint and pigment industry // Powder Technology. 2011. Vol. 214. № 3. Pp. 349–355. DOI:10.1016/j.powtec.2011.08.030

9. Осипов Д.А. Совместное измельчение и классификация разнородных компонентов для выделения целевого продукта: дисс. ... кандидата техн. наук. Иваново, 2019. 139 с.

10. Шувалов С.И. Михеев П.Г. Распределение мелющих шаров и размалываемого материала в поперечном сечении вращающегося барабана мельницы // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2009. № 2. С. 26–32.

11. Райзман И.А. Жидкостнокольцевые вакуумные насосы и компрессоры. Казань: Казанский гос. техн. ун-т, 1995. 258 с.

12. Rodionov Y.V., Selivanov Y.T., Nikitin D.V., Sychev M.V., Kombarova P.V. Novel construction of liquid ring vacuum pumps // Chemical and Petroleum Engineering. 2019. Vol. 55. № 5-6. Pp. 473–479. DOI: 10.1007/s10556-019-00648-z

13. Родионов Ю.В. Совершенствование теоретических методов расчета и обоснование параметров и режимов жидкостнокольцевых вакуумных насосов с учетом особенностей технологических процессов в АПК : дис. ... д-ра техн. наук. Тамбов, 2013. 434 с.

14. Пат. 2805071, Российская Федерация, МПК В02С 17/00. Шаровая мельница / Ю.Ю. Родионов, А.И. Скоморохова, Ю.В. Родионов, Д.В.

Никитин, Ю.А. Чумиков, С.Н. Аникин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТГТУ». № 2022131691; заявл. 05.12.2022; опубл. 11.10.2023. Бюл. № 29. 7 с.

15. Пат. 2784993, Российская Федерация, МПК F04С 7/00, F04С 19/00. Жидкостно-кольцевая машина / Д.В. Никитин, Ю.В. Родионов, А.С. Зорин; заявитель и патентообладатель ООО «ТЕХЛАЙН». № 2021128067; заявл. 23.09.2021; опубл. 01.12.2022. Бюл. № 34. 18 с.

16. Родионов Ю.В., Капустин В.П., Кобелев А.В., Никитин Д.В., Платицин П.С. Повышение эффективности механизации транспортирования сухих сыпучих растительных материалов // Инновационная техника и технология. 2017. № 1 (10). С. 9–15.

17. Гусев Ю.И., Карасев И.Н. Конструирование и расчет машин химических производств. М.: Машиностроение, 1985. 408 с.

18. Шиманова А.А. Теоретическое обоснование работы всасывающего заборного устройства пневмотранспортной установки // Фундаментальные исследования. 2012. № 11-2. С. 466–471.

Информация об авторах

Чумиков Юрий Анатольевич, аспирант кафедры механики и инженерной графики. E-mail: chumikovi@mail.ru. Тамбовский государственный технический университет. Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д.106/5, помещение 2.

Родионов Юрий Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры механики и инженерной графики. E-mail: rodionow.u.w@gambler.ru. Тамбовский государственный технический университет. Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, помещение 2. Мичуринский государственный аграрный университет. Россия, 393760, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101.

Скоморохова Анастасия Игоревна, аспирант кафедры компьютерно-интегрированных систем в машиностроении. E-mail: nastas373@mail.ru. Тамбовский государственный технический университет. Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, помещение 2.

Соколов Михаил Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры компьютерно-интегрированных систем в машиностроении. E-mail: msok68@mail.ru. Тамбовский государственный технический университет. Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, помещение 2.

Гливленкова Ольга Анатольевна, кандидат филологических наук, доцент кафедры иностранных языков. E-mail: olga-glivenkova@gambler.ru. Тамбовский государственный технический университет. Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, помещение 2.

Сухова Анна Олеговна, кандидат технических наук, доцент кафедры природопользование и защита окружающей среды. E-mail: eso@mail.tstu.ru. Тамбовский государственный технический университет. Россия, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, помещение 2.

Поступила 02.11.2023 г.

© Чумиков Ю.А., Родионов Ю.В., Скоморохова А.И., Соколов М.В., Гливленкова О.А., Сухова О.А., 2023

¹Chumikov Yu.A., ^{1,2}Rodionov Yu.V., ^{1,*}Skomorokhova A.I., ¹Sokolov M.V., ¹Glivenkova O.A.,
¹Sukhova O.A.

¹Tambov State Technical University

²Michurinsk State Agrarian University

*E-mail: nasta373@mail.ru

SELECTION OF LIQUID RING VACUUM PUMP FOR BALL MILL WITH VACUUM OUTLET

Abstract. The use of powders is of interest in many industries. At the same time, the degree of grinding of materials depends on the intended purpose; in particular, in the production of paints, it is necessary to ensure a certain fineness of grinding of the pigment. The smaller the particles, the higher its hiding power. However, excessively high grinding fineness may reduce the hiding power of the pigment. It is proposed to grind the pigment in a two-section cylindrical-conical ball mill with vacuum removal of particles of a given degree of grinding. The article describes the design of the mill and shows a diagram of the line for vacuum transportation of the crushed pigment. The purpose of the work is to determine the main parameters of the vacuum line of pneumatic transport when grinding solid organic materials using a ball mill with a vacuum outlet. A method for calculating the geometric, kinematic and dynamic parameters of the developed mill and pneumatic transport line is presented. A significant reduction in energy costs for excess grinding is achieved through timely vacuum removal of crushed particles. The vacuum in the system is created and maintained by a liquid ring vacuum pump. Various options for the operation of the developed installation are described: direct grinding; additional grinding and recirculation of additional liquid generated during the operation of the liquid ring vacuum pump, which further reduces energy costs during grinding.

Keywords: grinding, pigment, two-section ball mill, pneumatic transport, liquid ring vacuum pump.

REFERENCES

1. Khodakov G.S. Physics of grinding: monograph [Fizika izmel'chenija: monografija]. M.: Nauka. 1972, 306 p. (rus)
2. Agbo C. Jakpa W., Sarkodie B., Boakye A., Fu S. A review on the mechanism of pigment dispersion. Journal of Dispersion Science and Technology. 2018. Vol. 39. № 6. Pp. 874–889. DOI: 10.1080/01932691.2017.1406367
3. Freytag V., Stojce D. Paints, coatings and solvents: trans. from English edited by E.F. Itsko [Kraski, pokrytija i rastvoriteli: per. s angl. pod red. Je.F. Icko]. St. Petersburg: Profession, 2012. 528 p. (rus)
4. Bogdanov V.S., Anciferov S.I., Bogdanov D.V., Sychjov E.A. State and directions of development of grinding equipment and technology [Sostojanie i napravlenija razvitija tehniki i tehnologii izmel'chenija]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 7. Pp. 110–116. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-7-110-116 (rus)
5. Ivanov S.D., Kudryashov A.N., Oshchepkov V.V. Model for optimizing the grinding parameters of the ShK-32 ball drum mill [Model' optimizacii parametrov razmola sharovoj barabannoj mel'nicy ShK-32]. Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2016. Vol. 20. No. 10 (117). Pp. 128–134. DOI: 10.21285/1814-3520-2016-10-128-134 (rus)
6. Blanc N., Mayer-Laigle, C., Frank, X., Radjai, F., Delenne, J.-Y. Evolution of grinding energy and particle size during dry ball-milling of silica sand. Powder Technology. 2020. Vol. 376. Pp. 661–667. DOI: 10.1016/j.powtec.2020.08.048
7. Rodionov Yu.V., Nikitin D.V., Danilin S.I., Chumikov Yu.A., Skomorokhova A.I., Rodionov Yu.Yu. Theoretical calculation of a two-stage grinder of dry plant materials of a given degree of grinding using vacuum [Teoreticheskij raschet dvuhstupenchatogo izmel'chitelja suhikh rastitel'nyh materialov zadannoj stepeni pomola s primeneniem vakuuma]. Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2021. Vol. 14. No. 3(70). Pp. 32–41. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2021_3_32 (rus)
8. BadJena S.K., Mishra B.K. Optimization of variables in grinding brass particles for paint and pigment industry. Powder Technology. 2011. Vol. 214. № 3. Pp. 349–355. DOI:10.1016/j.powtec.2011.08.030
9. Osipov D.A. Joint grinding and classification of dissimilar components for isolating the target product [Sovmestnoe izmel'chenie i klassifikacija raznorodnykh komponentov dlja vydelenija celevogo produkta]: diss. ... candidate of technical sciences. Ivanovo, 2019. 139 p. (rus)
10. Shuvalov S.I., Mikheev P.G. Distribution of grinding balls and grinded material in the cross section of the rotating drum of the mill [Raspredelenie mel'jushhiih sharov i razmalyvaemogo materiala v poperechnom sechenii vrashhajushhegosja barabana mel'nicy]. Vestnik IGEU. 2009. No. 2. Pp. 26–32. (rus)
11. Raizman I.A. Liquid ring vacuum pumps and compressors [Zhidkostnokol'cevye vakuumnoye

nasosy i kompressory]. Kazan: Kazan State. tech. Univ., 1995. 258 p. (rus)

12. Rodionov Y.V., Selivanov Y.T., Nikitin D.V., Sychev M.V., Kombarova P.V. Novel construction of liquid ring vacuum pumps. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2019. Vol. 55. No. 5–6. Pp. 473–479. DOI: 10.1007/s10556-019-00648-z

13. Rodionov Yu.V. Improvement of theoretical calculation methods and justification of parameters and modes of liquid ring vacuum pumps taking into account the features of technological processes in the agro-industrial complex [Sovershenstvovanie teoreticheskikh metodov rascheta i obosnovanie parametrov i rezhimov zhidkostnokol'cevyyh vakuumnykh nasosov s uchetom osobennostej tehnologicheskikh processov v APK]: dis. ... Dr. Tech. Sciences. Tambov, 2013. 434 p. (rus)

14. Rodionov Yu.Yu., Skomorokhova A.I., Rodionov Yu.V., Nikitin D.V., Chumikov Yu.A., Anikin S.N. Ball mill. Patent RF, no. 2022131691, 2022.

15. Nikitin D.V., Rodionov Yu.V., Zorin A.S. Liquid ring machine. Patent RF, no. 2021128067. 2021.

16. Rodionov Yu.V., Kapustin V.P., Kobelev A.V., Nikitin D.V., Platitsin P.S. Increasing the efficiency of mechanization of transportation of dry bulk plant materials [Povyshenie jeffektivnosti mehanizacii transportirovaniya suhikh sypuchih rastitel'nyh materialov]. *Innovative Machinery and Technology*. 2017. No. 1 (10). Pp. 9–15. (rus)

17. Gusev Yu.I., Karasev I.N. Design and calculation of chemical production machines [Konstruirovaniye i raschet mashin himicheskikh proizvodstv]. M.: Mechanical Engineering, 1985. 408 p. (rus)

18. Shimanova A.A. Theoretical substantiation of the operation of the suction intake device of a pneumatic transport installation [Teoreticheskoe obosnovaniye raboty vsasyvajushhego zabornogo ustrojstva pnevmotransportnoj ustanovki]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2012. No. 11–2. Pp. 466–471. (rus)

Information about the authors

Chumikov, Yuri A. Postgraduate student. E-mail: chumikovi@mail.ru. Tambov State Technical University. Russia, 392000, Tambov, st. Sovetskaya, 106/5, room 2.

Rodionov, Yuri V. DSc, Professor. E-mail: rodionow.u.w@rambler.ru. Tambov State Technical University. Russia, 392000, Tambov, st. Sovetskaya, 106/5, room 2. Michurinsk State Agrarian University. Russia, 393760, Tambov region, Michurinsk, st. International, 101.

Skomorokhova, Anastasia I. Postgraduate student. E-mail: nasta373@mail.ru. Tambov State Technical University. Russia, 392000, Tambov, st. Sovetskaya, 106/5, room 2.

Sokolov, Mikhail V. DSc, Professor. E-mail: msok68@mail.ru. Tambov State Technical University. Russia, 392000, Tambov, st. Sovetskaya, 106/5, room 2.

Glivenkova, Olga A. PhD. E-mail: olga-glivenkova@rambler.ru. Tambov State Technical University. Russia, 392000, Tambov, st. Sovetskaya, 106/5, room 2.

Sukhova, Anna O. PhD. E-mail: eco@mail.tstu.ru. Tambov State Technical University. Russia, 392000, Tambov, st. Sovetskaya, 106/5, room 2.

Received 02.11.2023

Для цитирования:

Чумиков Ю.А., Родионов Ю.В., Скоморохова А.И., Соколов М.В., Гливенкова О.А., Сухова О.А. Выбор жидкостнокольцевого вакуумного насоса для шаровой мельницы с вакуумным отводом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. №12. С. 115–123. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-12-115-123

For citation:

Chumikov Yu.A., Rodionov Yu.V., Skomorokhova A.I., Sokolov M.V., Glivenkova O.A., Sukhova O.A. Selection of liquid ring vacuum pump for ball mill with vacuum outlet. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2023. No. 12. Pp. 115–123. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-12-115-123