

УДК 621.926.5

## ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ СУХИХ ПИГМЕНТОВ ДЛЯ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В ЦИЛИНДРОКОНУСНОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

**Юрий Анатольевич Чумиков<sup>1</sup>**

аспирант

chumikovi@mail.ru

**Анастасия Игоревна Скоморохова<sup>1</sup>**

аспирант

nasta373@mail.ru

**Родионов Юрий Викторович<sup>1,2</sup>**

доктор технических наук, профессор

rodionow.u.w@rambler.ru

<sup>1</sup>Тамбовский государственный технический университет

г. Тамбов, Россия

<sup>2</sup>Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос измельчения пигментов для резиновой промышленности. Предложена конструкция двухсекционной цилиндроконусной шаровой мельницы с вакуумным отводом частиц заданной степени помола. Приводится методика расчета параметров разрабатываемой конструкции.

**Ключевые слова:** пигмент, измельчение, шаровая мельница, вакуумный отвод, резиновая промышленность.

В резиновой промышленности окраска изделий используется не только для придания изделиям красивого внешнего вида, но и для улучшения их эксплуатационных характеристик. Наиболее важное влияние краски заключается в замедлении процесса старения резинотехнических изделий. Она выполняет защитную функцию от воздействия различных агрессивных сред и прямого света, которые могут приводить к ухудшению свойств резины и ее растрескиванию.

Окрашивание резины – сложный процесс. В качестве красителей используют лаковые и пигментные красители. К первым относятся нерастворимые соли кислотных и основных красителей, к последним – нерастворимые кубовые красители и азокрасители.

Одним из важнейших параметров, влияющих на качество лакокрасочного покрытия, является степень измельчения пигмента. Краски, приготовленные из недостаточно измельченного пигмента, при хранении расслаиваются и быстро портятся (образуются сгустки, требующие дополнительного перетирания краски перед употреблением) [1].

Повышения качества измельчения можно добиться путем использования цилиндрикоконусной шаровой мельницы с вакуумным отводом частиц требуемой степени помола. Для проектирования конструкции мельницы разрабатывается методика, основанная на положениях теории измельчения и теории течения газов [2-3]. При проектировании опытной установки и выборе конструкции жидкостнокольцевого насоса используются подходы, описанные в работах [4-5].

Предлагаемая конструкция цилиндрикоконусной шаровой мельницы для измельчения пигмента представлена на рис.1.

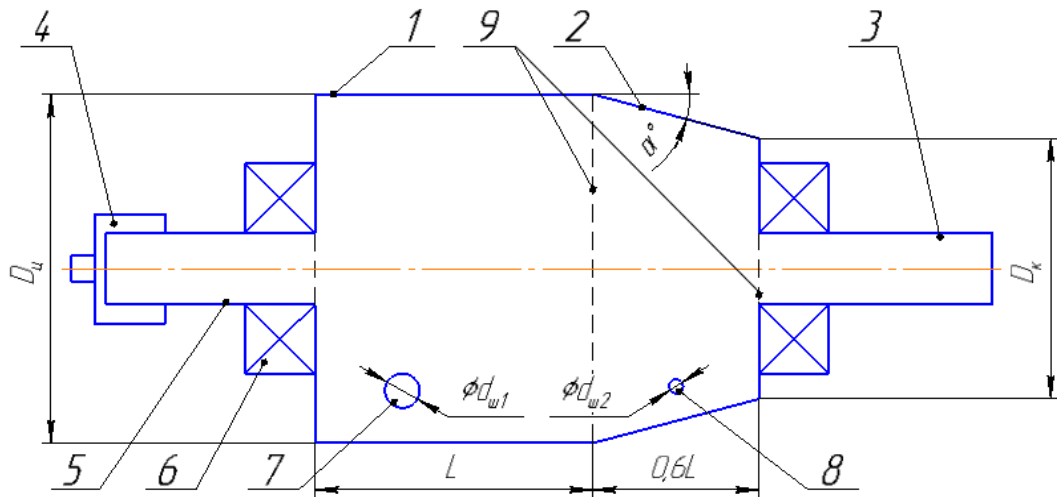


Рисунок 1 – Цилиндроконусная шаровая мельница: 1 – цилиндрическая секция; 2 – конусная секция; 3 – выпускной патрубок; 4 – жиклер; 5 – впускной патрубок; 6 - подшипники качения; 7 – шар большого диаметра; 8 - шар малого диаметра; 9 – решетка перфорированная основное влияние на интенсивность и механизм измельчения оказывают скорость вращения барабана мельницы, число и размер размольных тел.

На основании экспериментального расчета и многократных испытаний получена частота вращения при условии двух ранее выбранных диаметров по формуле:

$$n = \frac{35}{\sqrt{D_{\text{вн}}}}, \quad (1)$$

где  $D_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр барабана, мм;  $n$  – частота вращения барабана, мин<sup>-1</sup>.

Барабан разделен перегородкой из перфорированной решетки на две секции в соотношении длин 1:0,6. В первом отсеке располагаются шары крупного размера, их объём заполнения составляет 24%. Во втором отсеке находятся мелкие шары, объём заполнения которых составляет 12%. Расчет основных параметров ведется на основе методики, изложенной в работе [6].

С возрастанием скорости вращения мельницы центробежная сила и угол подъема шаров тоже возрастает, шары падают вниз с большей высоты, производя главным образом измельчающее действие. При дальнейшем увеличении скорости вращения мельницы центробежная сила может настолько возрасти, что шары будут вращаться вместе с барабаном, а материал практически

не будет измельчаться. Скорость, при которой наблюдается подобный режим работы мельницы, называют критической скоростью вращения. Она определяется как:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R}}, \quad (2)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $R$  – радиус секции (для цилиндрической секции берется внутренний радиус цилиндра, для конусной секции – средний внутренний радиус конуса),  $\text{м}$ .

На процесс измельчения материала главное влияние оказывает процент заполнения барабана сухим материалом и размольными материалами (шары). Оптимальный коэффициент заполнения барабана мельницы размольными телами составляет 30%. Когда увеличивается это значение, уменьшается пространство в мельнице, необходимое для свободного падения или перекачивания размольных тел. Если материала будет больше объема пустот между размольными телами, то часть материала, не помещающаяся в зазоры, будет мешать процессу измельчения и произойдет снижение интенсивности помола.

В связи с увеличением времени работы шаровой мельницы, измельчаемый материал доходит до такого состояния, что процесс измельчения останавливается. Всё это происходит из-за того, что измельченный материал не выводится из шаровой мельницы. Таким образом, чтобы измельчение не останавливалось нужно выводить измельченный материал из шаровой мельницы.

Давление вакуумного отвода (всасывания) частиц материала рассчитываем по формуле [7]:

$$P_{вс} = P_{кр} + \Delta p, \quad (3)$$

где  $p_{кр}$  – критическое давление, необходимое для поднятия частиц,  $\text{кПа}$ ;  $\Delta p$  – потери давления при работе всей установки,  $\text{кПа}$ .

Таким образом, предложена конструкция цилиндроконусной шаровой мельницы с вакуумным отводом измельчаемых частиц. Приведена формула

определения рациональной частоты вращения барабана. Отмечены основные факторы, влияющие на энергоемкость процесса и качество получаемого порошка пигмента. Дальнейшие исследования будут направлены на получение экспериментальных данных, характеризующих процесс измельчения сухих пигментов, с целью улучшения конструкции и снижения затрат на помол.

### **Список литературы:**

1. Ali M., Lin L. Optimisation and analysis of bead milling process for preparation of highly viscous, binder-free dispersions of carbon black pigment // Progress in Organic Coatings. 2018. Т. 119. С. 1-7.

2. Сиденко, П.М. Измельчение в химической промышленности /– 2-е изд., перераб. М.: Химия, 1977. 368 с.

3. Математическая модель шаровой барабанной мельницы для анализа работы сепаратора пыли / С. И. Шувалов, П. Г. Михеев, А. А. Веренин, Н. С. Асташов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2009. № 4. С. 3-7.

4. 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 : 05.20.01 / Родионов Юрий Викторович. Тамбов. 2013. 434 с.

5. Никитин Д.В. Совершенствование конструкций и обеспечение заданных эксплуатационных характеристик жидкостнокольцевых вакуум-насосов : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Никитин Дмитрий Вячеславович. Тамбов. 2010. 158 с.

6. 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.

7. Особенности расчета технологии вакуумного транспортирования сухих сыпучих растительных материалов в режиме сплошного слоя / П.С. Платинин,

Ю.В. Родионов, В.П. Капустин, Д.В. Никитин // Наука в центральной России.  
2016. № 6 (24). С. 54-65.

**UDC 621.926.5**

**GRINDING OF DRY PIGMENTS FOR RUBBER PRODUCTS IN A  
CYLINDRICAL-CONE BALL MILL**

**Yuri A. Chumikov<sup>1</sup>**

graduate student

chumikovi@mail.ru

**Anastasia I. Skomorokhova<sup>1</sup>**

graduate student

nasta373@mail.ru

**Yuri V. Rodionov<sup>1,2</sup>**

doctor of technical sciences, professor

rodionow.u.w@rambler.ru

<sup>1</sup>Tambov State Technical University

Tambov, Russia

<sup>2</sup>Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Abstract.** The article deals with the issue of grinding pigments for the rubber industry. The design of a two-section cylinder-cone ball mill with vacuum removal of particles of a given degree of grinding is proposed. A method for calculating the parameters of the design being developed is given.

**Keywords:** pigment, grinding, ball mill, vacuum outlet, rubber industry.

Статья поступила в редакцию 27.04.2023; одобрена после рецензирования 05.06.2022; принята к публикации 30.06.2023.

The article was submitted 27.04.2023; approved after reviewing 05.06.2022; accepted for publication 30.06.2023.