

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Растеряев Ю.К., Каспаров А.А. Уточненный метод расчета равновесной конфигурации профиля пневматической шины// Геотехническая механика. –Днепропетровск: Поліграфіст, 1999. -Вып. 11. –С. 143-156.
2. Бидерман В.Л., Гуслицер Р.Л. и др. Автомобильные шины. –М.: Госхимиздат, 1963. -386 с.
3. Растеряев Ю.К., Каспаров А.А. Чисельний метод вирішення інтегрального рівняння, яке описує геометричну форму рівноважного профілю пневматичної шини// Хімічна промисловість України. –1995. -№ 6. -С. 29-31.
4. Бахвалов Н.С. Численные методы. –М.: Наука, 1973. -632 с.
5. Крылов В.И. Приближенное вычисление интегралов. -М.: Наука, 1967. -С. 123-129.
6. Гончаров В.Л. Теория интерполирования и приближения функций. -М.: ГИТТЛ, 1954. -327 с.
7. Растеряев Ю.К., Каспаров А.А. Теория деформирования составных анизотропных резинокордных материалов, используемых в каркасах пневматических шин// Геотехническая механика. –Днепропетровск: Поліграфіст, 1999. -Вып. 11. –С. 84-100.
8. Патент №2086422 Российская Федерация (RU), МКИ В 60 С 15/00. Пневматическая шина и колесо движителя с этой шиной / Растеряев Ю.К., Скорняков Э.С., Каспаров А.А. Опубл. 10.08.97. БИ, №22.
9. Патент №32558 Российская Федерация (RU) МКИ В 60 С 15/00. Рисунок протектора / Растеряев Ю.К. Опубл. 21.06.93, БИ, № (Приоритет промышленного образца от 20.02.1990).

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РАЗРАБОТКА РЕЗИНОВЫХ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ ДЛЯ ДРОБИЛОК КИД-900 И КИД-1200

**Лисица Н.И., Заболотная Е.Ю., Твердохлеб Т.Е., Моисеев Е.П.,  
Лисица Н.Н., Черкасский В.А., Шуляков О.Д., ИГТМ НАНУ,  
АО «Механобртехника»**

Строительная индустрия стран СНГ испытывает острую потребность в высококачественном щебне. При строительстве дорог и производстве железобетонных изделий требуется щебень с частицами кубовидной формы, так как такая форма обеспечивает максимальную «упаковку», а, следовательно, плотность дорожного полотна или бетонных изделий. Частица считается игловатой или лещадной, если соотношение ее длины к ширине больше трех. Щебень в зависимости от содержания частиц лещадной формы делится на следующие четыре группы: I группа – до 15%; II – 15-25%; III – 25-35%; IV – 35-50%. Известно, что использование щебня I группы для изготовления асфальтобетонных смесей увеличивает качественные показатели дорожных покрытий в 2,5-3,0 раза по сравнению с использованием щебня IV группы. При этом, чем выше уровень кубовидности, тем меньше расход вяжущих материалов – цемента или бетона.

В мировой практике наибольшее распространение для дробления щебня получили конусные дробилки с эксцентриковым приводом. Появившиеся в последнее десятилетие эксцентриковые дробилки новых конструкций отличаются улучшенными эксплуатационными показателями – могут работать с полностью заполненной материалом дробящей полостью (режим «под завалом»). Именно такой режим позволяет осуществлять внутрислойное дробление кусков друг о друга, когда создается всестороннее давление и частицы слоя материала стремятся приобретать кубовидную форму. Однако щебень в таких дробилках почти никогда не достигает качества I группы, что объясняется несколькими причинами:

- 11) низкой частотой качаний внутреннего конуса из-за невозможности приемлемого динамического уравнивания дробилки;
- 12) малой толщины слоя дробимого материала из-за резкого возрастания крупности получаемого продукта при его извлечении;

13) отсутствия возможности управления дробящей силой в зависимости от свойств перерабатываемого материала и требований к конечному продукту.

К этим особенностям следует добавить и ряд эксплуатационных недостатков эксцентриковых конусных дробилок – их включение и остановка осуществляется только при свободной от материала дробящей полости; «плавание» по вертикали внутреннего конуса при изменении сопротивления слоя материала и, как следствие, закрупление щебня и повышение выхода лещадных частиц; заклинивание дробящих концов при попадании недробимых тел, что требует разборки машины и ее многочасовой остановки.

Если в эксцентриковых конусных дробилках имеет место жесткая кинематическая связь между конусами, что является причиной всех упомянутых выше недостатков, то в конусных инерционных дробилках (КИД<sup>1</sup>), созданных институтом «Механобр», между конусами существует динамическая связь, так как в них вместо эксцентрика используется в качестве привода регулируемый дебалансный вибровозбудитель. Это позволяет:

- 1) увеличить частоту воздействия на слой материала при существенном его утолщении;
- 2) регулировать силу воздействия на дробимый материал;
- 3) осуществлять пуск и остановку дробилки под нагрузкой;
- 4) исключить возможность поломки дробилки при попадании в нее недробимых тел.

Благодаря этим преимуществам появляется возможность снизить лещадность до 8-12%, что гарантирует получение щебня I группы на любых материалах. Кроме того, при управляемом вибрационном способе воздействие на слой материала его разрушение происходит по дефектам структуры, что приводит к повышению прочности частиц и, соответственно, качеству щебня.

Требуемое качество дробления и надежность работы таких дробилок могут быть в полной мере реализованы только при использовании в их конструкциях качественных и надежных упругих звеньев. Последние должны обеспечивать не только требуемые параметры вибрации, но и эффективную виброизоляцию, что позволяет отказаться от пассивных бетонных фундаментов. Ранее для параметрического ряда дробилок КИД ИГТМ НАН Украины были разработаны, испытаны и сданы в эксплуатацию резиновые и резинометаллические виброизоляторы. Для дробилок КИД-300, КИД-450, КИД-600 – резиновые осесимметричные пустотелые виброизоляторы со сложной формой свободной поверхности; для дробилок КИД-900, КИД-1200, КИД-1750, КИД-2200 – составные резинометаллические виброизоляторы.

Опыт эксплуатации дробилок с резиновыми виброизоляторами показал, что параметры вибрации находятся в пределах заданных значений; значительно, в 3-5 раз, снизились передаваемые на поддерживающие конструкции динамические нагрузки; в 3 раза уменьшились амплитуды колебания корпуса дробилки при переходе через резонанс; на 10% увеличился выход мелких фракций. Эксплуатация резинометаллических виброизоляторов на дробилках КИД-2200 показала их достаточную эффективность – при массе подвижных частей 150 т частота собственных колебаний в горизонтальной плоскости составляет 0,7 Гц, в вертикальной – 2,5 Гц; срок службы виброизоляторов около 7000 часов, что более чем в 4 раза превышает срок службы ранее

<sup>1</sup> Название «КИД» является торговой маркой «Механобра»

применявшихся пневматических. Однако срок службы резинометаллических виброизоляторов существенно зависит от качества крепления резины к металлу из-за чего наработка некоторых комплектов составляла всего 400-500 часов. Эти обстоятельства требуют разработки резиновых виброизоляторов для дробилок КИД-900 и КИД-1200 (масса подвижных частей соответственно 12,4 т и 19,5 т).

**1. Расчет жесткостных характеристик виброизолирующих систем дробилок.** Для обеспечения устойчивого режима колебаний виброизолирующая система должна обеспечить работу машины в зарезонансном режиме с отстройкой  $q = \omega / \lambda_{i\max} \geq 3$ , где  $\lambda_{i\max}$  – максимальная из собственных частот дробилки.

Значения собственных частот  $\lambda_{i\max}$ ,  $i = \{1, 2, 3\}$  для дробилок определяются следующими выражениями

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{C_V}{M}}, \quad \lambda_{2,3} = \sqrt{\frac{C_h}{2M}(1 + N \mp K)}, \quad (1)$$

при

$$N = \frac{\frac{1}{2}\mu a^2 + (b - Z_c)^2}{I/M - Z_c^2}, \quad \mu = \frac{C_V}{C_h}, \quad K = \sqrt{(1 + N)^2 - \frac{2\mu a^2}{I/M - Z_c^2}},$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – соответственно собственные частоты вертикальных, связанных поворотных и горизонтальных колебаний;  $C_V$  и  $C_h$  – соответственно вертикальная и горизонтальная жесткость виброизолирующей системы;  $I$  – момент инерции дробилки относительно оси ОХ;  $a$  – радиус окружности, на которой расположены центры виброизолирующих опор;  $b$  – расстояние от центра сферической опоры конуса до плоскости крепления виброизоляторов;  $Z_c$  – расстояние от центра тяжести дробилки до центра сферической опоры конуса;  $M$  – масса подвижных частей дробилки;  $\omega$  – частота вынужденных колебаний дробилки.

Для нахождения  $\lambda_{i\max}$  необходимо сравнить значения частот  $\lambda_1$  и  $\lambda_3$  при том значении  $\mu$ , которое соответствует характеристикам виброизоляторов (частота  $\lambda_3 > \lambda_2$  при всех значениях  $\mu$ ). Преобразуем выражение (1) к виду

$$\lambda_i = \lambda_1 D_i, \quad i = \{1, 2, 3\}; \quad D_1 \equiv 1, \quad D_{2,3} = \sqrt{\frac{1 + N \mp K}{2\mu}}. \quad (2)$$

Величина коэффициента  $D_3$  определяет искомое соотношение частот –  $D_3 = \lambda_3 / \lambda_1$ .

Таким образом, условием для определения максимальной жесткости  $C_{V\max}$  виброизолирующих систем дробилок является

$$C_{V\max} = \frac{\omega_2 M}{9D_i^2}, \quad i = \{1, 2, 3\}.$$

Из предположительной формы виброизоляторов – полый резиновый цилиндр с диаметром, примерно равным высоте  $\mu \approx 5$ .

Выполняя вычисления по формулам (2) находим, что в качестве максимальной следует выбрать  $C_{V\max}$ , рассчитанную по частоте  $\lambda_3$ .

Окончательно находим, что  $C_{V\max}$  для дробилок КИД-900 и КИД-1200 соответственно равны 5,37 МН/м и 7,04 МН/м.

**2. Обоснование параметров и расчет виброизоляторов.** Зная величины  $C_{V\max}$  находим минимальную необходимую статическую осадку  $\Delta_{\min}$  корпуса дробилки на виброизоляторах

$$\Delta_{\min} = Mg/C_{V\max}, \quad (3)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения.

Значение  $\Delta_{\min} = 22,5$  мм для КИД-900 и  $\Delta_{\min} = 27,2$  мм для КИД-1200.

Принимая по конструктивным соображениям высоту виброизолятора  $H = 240$  мм, найдем, что относительные деформации сжатия  $\varepsilon_{\min}$  составляют 9,4% и 11,3% соответственно для дробилок КИД-900 и КИД-1200. Эти значения вполне допустимы для обеспечения надежной и долговечной работы виброизоляторов (при этом имеется в виду, что динамические деформации не превышают 3% и существенного влияния на напряженно-деформированное состояние виброизоляторов не оказывают).

В дальнейшем решим следующую задачу: найти виброизолятор с такими характеристиками, который за счет изменения их количества подходил бы для той и другой дробилки. Для этого найдем максимальные жесткости  $C_{V\max}^1$  виброизолятора исходя из того, что у каждой дробилки должно быть четыре опоры, а в каждой опоре может быть  $n = 1 \div 4$  виброизолятора. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Величина жесткости одного виброизолятора

Тип дробилки	КИД-900			КИД-1200		
Число виброизоляторов	4	8	12	8	12	16
Жесткость одного виброизолятора, МН/м	1,34	0,67	0,45	0,83	0,59	0,44

Исходя из дополнительного требования о минимальности числа виброизоляторов, выберем как оптимальное значение  $C_{V\max}^1 = 0,59$  МН/м.

Геометрические параметры виброизоляторов – наружный диаметр  $D_n$  и внутренний  $d$  определим из соотношения

$$C_V^1 = \beta E \frac{\pi(D_n^2 - d^2)}{4H}, \quad (4)$$

где  $E$  – модуль упругости резины;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий ужесточение элемента из-за крепления резины к металлу.

Для принятого типа виброизоляторов – полый резиновый виброизолятор при  $D_n \approx H$ , коэффициент  $\beta \approx 1$ . Исходя из двух заданных величин  $C_V^1$  и  $H$ , необходимо найти оптимальные значения двух других  $D_n$  и  $d$ . Преобразуем выражение (4) к виду

$$d = \sqrt{D_n^2 - \frac{4HC_V^1}{\pi E}}. \quad (5)$$

Подставляя в выражение (5) значения  $C_V^1 = 0,59$  МН/м,  $E = 4$  МПа,  $H = 0,24$  м получим допустимые значения  $D_n$  и  $d$ , которые представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Допустимые значения диаметров виброизоляторов

$D_n$ , м	0,24	0,26	0,28	0,30
$d$ , м	0,11	0,15	0,18	0,21

Анализируя значения диаметров виброизоляторов, приведенных в табл. 2, окончательно принимаем -  $D_n = 0,26$  м;  $d = 0,15$  м.

Разработанные резиновые виброизоляторы в настоящее время проходят промышленные испытания на двух дробилках КИД-900 (Медвежегорский щебеночный завод «Башкиравтодор») и одной дробилке КИД-1200 («Карелияруд»).

## ВЫБОР ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГОРЯЧЕЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛЕНТ ПРИ ИХ СТЫКОВКЕ И РЕМОНТЕ

**Гринбаум Ю.В., Лисица Н.И., Шолин М.К.,  
ИГТМ НАНУ, НПП «Техсервис»**

При стыковке и ремонте конвейерных лент на горнорудных и угольных предприятиях рекомендуемый температурный режим вулканизационных прес-сов [1] состоит из фаз нагрева, выдержки при постоянной температуре и охлаждения плит прессы до температуры 60-70°C. При этом длительность фазы выдержки, как правило, завышена и приводит к перевулканизации сырой резины и снижению прочности стыков, что объясняется неучетом степени влияния тепловой обработки в фазах нагрева и охлаждения.

В работе [2] степень вулканизации предлагается оценивать по эквивалентному времени вулканизации  $S_{t_3}$ , то-есть времени, за которое в поле переменных во времени  $\tau$  температур  $t(\tau)$  достигается такой же эффект вулканизации, что и при постоянной регламентной (эквивалентной) температуре вулканизации  $t_3$ ,

$$S_{t_3} = \left( \int_{\tau_1}^{\tau_2} K^{0,t(\tau)} \right) / K^{0,t_3}, \quad (1)$$

где  $K$  – температурный коэффициент вулканизации (для резины близок к 2), равный отношению продолжительности вулканизации при температуре  $t$  и таковой при температуре  $t + 10^\circ\text{C}$  при условии достижения одинаковых физико-механических характеристик резины.

В работе [2] сделан вывод о том, что эквивалентное время в фазах нагрева  $S_{t_3}^H$  и охлаждения  $S_{t_3}^O$  составляет существенную долю всего времени вулканизации. В этой связи нами предлагается получить необходимый эффект вулканизации при работе плит прессы только в поле переменных во времени температур, составив температурный режим вулканизации из двух фаз – нагрева и охлаждения (рис. 1 – сплошная линия). В фазе нагрева ( $0 \leq \tau \leq \tau_n$ ) температура плит возрастает от начального значения  $t_o$  до максимального  $t_m$  со скоростью  $k_n = (t_m - t_o) / \tau_n$ . В момент  $\tau = \tau_n$  плиты прессы отключают от источника энергии