© С.В. Казаков, 2006

УДК 622.23.05.51

С.В. Казаков

САМОСИНХРОНИЗИРУЮЩИЕСЯ ДВУХМАССНЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Семинар № 20

Явление синхронизации состоит в том, что несколько искусственно созданных или природных объектов, совершающих при отсутствии взаимодействия колебательные или вращательные движения с различными частотами (угловыми скоростями), при наложении подчас весьма слабых связей начинают двигаться с одинаковыми, кратными или находящимися в рациональных отношениях частотами (угловыми скоростями), причем устанавливаются определенные фазовые соотношения между колебаниями и вращениями [1].

Синхронизация динамических объектов осуществляется посредством имеющихся между ними связей (в широком смысле этого слова). При этом в некоторых случаях синхронизация и фазировка имеют место в силу уже присутствующих в системе естественных связей. Так, например, при решении задачи о синхронизации генераторов механических колебаний (дебалансных вибраторов) синхронизация осуществляется за счет свойств самой системы генератор - нагрузка. Такой тип синхронизации называют *самосинхронизацией*.

При выборе способа синхронизации очевидными преимуществами, по сравнению с принудительной кинематической или электрической синхронизацией, обладает *самосинхронизация*, так как она не требует вспомогательных устройств, усложняющих конструкцию и вообще не всегда применимых.

Впервые исследование вибрационных двухмассных систем с самосинхронизирующимися вибраторами было выполнено Лавровым Б.П. [3].

Результаты этих исследований были использованы при создании не имеющей аналогов в мире машине – вибрационной конусной дробилки рис. 1, рис. 2.

Подробно расчет кинематики и динамики при различных вариантах расположений привода виброконусной

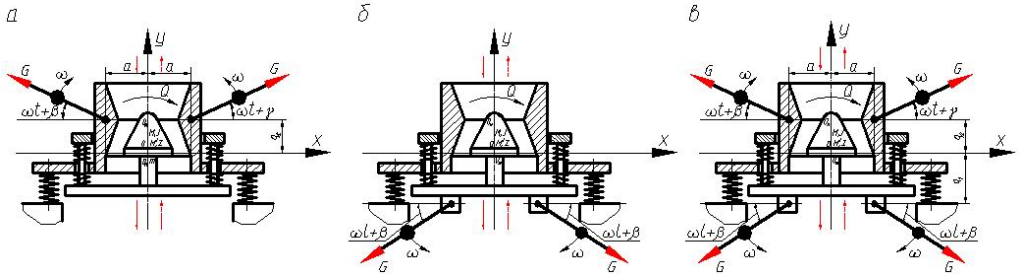

Рис. 1. Динамическая схема вибрационной конусной дробилки: а – схема дробилки с вибраторами на корпусе; б - схема дробилки с вибраторами на конусе; в - схема дробилки с вибраторами на корпусе и конусе

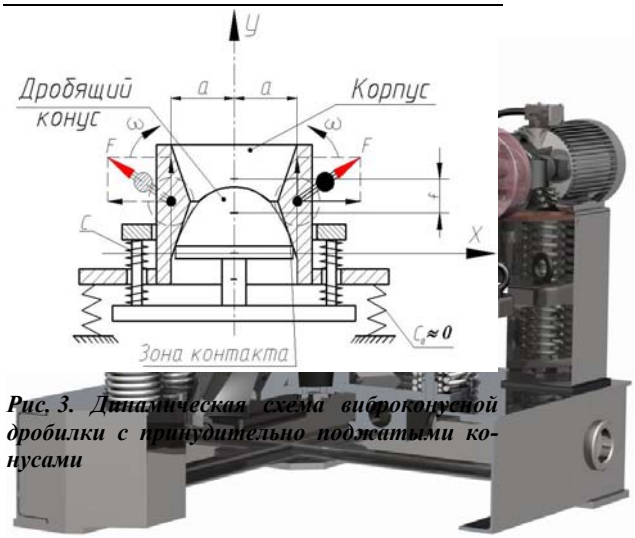

Рис. 3. Динамическая схема виброконусной дробилки с принудительно поджатыми конусами

Рис. 2. Виброконусная дробилка ВКД300

дробилки был рассмотрен в литературе раньше [2].

Принцип действия машины: дробилка приводится в движение от двух асинхронных электродвигателей мощностью по 5,5 кВт каждый, через лепестковые муфты. Двигатели сообщают вращение самосинхронизирующимся вибраторам. Возмущающее усилие, развиваемое вибраторами, вызывает встречные перемещения корпуса и конуса с частотой равной частоте вращения электродвигателей. Материал поступает в приемный бункер чаши, из которого направляется в камеру дробления. При сближении конусов происходит дробление продукта, а при их отходе – разгрузка. В результате вертикальных колебаний из камеры дробления интенсивно выводятся мелкие классы, что исключает переизмельчение продукта [5, 6].

Благодаря использованию фундаментальных основ вибрационной механики заложенных в конструкцию дробилки, машина приобрела исключительные качества, такие как: разрушение прочных материалов сколом при ударно-вибрационном приложении нагрузки с одновременным интенсивным выводом готового продукта из камеры дробления; не переизмельчение дробимого материала; высокой степени дробления (до 16 и выше); динамической уравновешенности, то есть не требует для своей установки тяжелого фундамента; может работать при дозированном питании и под завалом; недробимые тела не вызывают поломок машины.

В случае, когда нужно получать, наоборот, продукт мелкого класса, то, приведенная выше динамическая схема позволяет добиться и такого, казалось бы, противоположного результата. Для этого необходимо принудительно прижать конуса друг к другу. Конструкция дробилки позволяет это сделать, но динамика машины меняется коренным образом рис. 3.

Дифференциальные уравнения движения системы с принудительно поджатыми конусами:

$$\left(M+m\right)\ddot{y}+\beta\dot{y}+C_O y=2F\sin\left(\omega t\right), \quad (1)$$

если N f 0

$$\left.\begin{aligned} M\ddot{y}+\beta\dot{y}+C(y-y_1)&=2F\sin\omega t \\ m\ddot{y}+\beta\dot{y}+C(y_1-y)&=0 \end{aligned}\right\} \text{если } N \text{ p } 0 \quad (2)$$

$$N=Cf-m\ddot{y} \quad (3)$$

Рассмотрим принцип работы виброконусной дробилке с принудительно поджатыми конусами, а также виброударное устройство для разрушения льда рис. 4, так как динамические схемы обоих машин идентичные.

Рабочий режим с ударами по материалу (льду) проанализируем на ряде после-

довательных положений устройства за время одного оборота дебаланса рис. 5.

При повороте дебаланса на некоторый угол от горизонтали (положение «а») вертикальная составляющая центробежной силы - *F*, развиваемой дебалансным вибратором, еще недостаточна, чтобы преодолеть силу упругости сжатых пружин - *C*. Сжатие пружин вызвано предварительным поджатием - *f*. Поэтому «дробящий конус» находиться в прижатом состоянии к корпусу. В этом случае, дробилка (виброударное устройство) ведет себя как одномассная система на пружинах, с коэффициентом жесткости – C_O. Закон движения машины, в этом случае, описывается дифференциальным уравнением (1).

При повороте дебаланса на больший угол (положение «б») вертикальная составляющая уже преодолевает сопротивление упругой системы - *C*, и «корпус» отрывается от «дробящего конуса», деформируя пружины. Тогда выполняется условие, заданное уравнением (3) и закон движения машины описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений (2).

Горизонтальные составляющие центробежной силы, развиваемые дебалансами, направлены в противоположные стороны и взаимно уравновешиваются, поэтому не вызывают боковых колебаний устройства.

В положении «в» «дробящий конус» отходит на максимальную величину, на эту же величину сжимаются пружины,

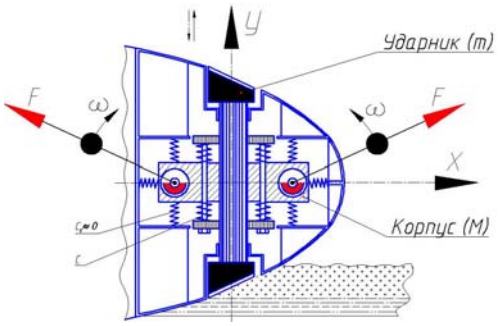

Рис. 4. Динамическая схема виброударного устройства для разрушения льда

накапливая определенный запас потенциальной энергии.

При дальнейшем повороте дебаланса под действием усилия, развиваемого вибратором, начинается обратное движение. «Дробящий конус» (ударник) при сближении с «корпусом» (материалом) разгоняется не только за счет усилия, развиваемого дебалансами, но также и за счет сил упругости сжатых пружин, потенциальная энергия которых переходит в кинетическую энергию движения ударника (положение «г»). Кинетическая энергия устройства при ударе реализуется через работу, идущую на разрушение материала (льда), образование трещин и сколов. Таким образом, вся работа дебаланса за один оборот в конечном итоге идет на разрушение материала и создания условий для эффективного движения судна.

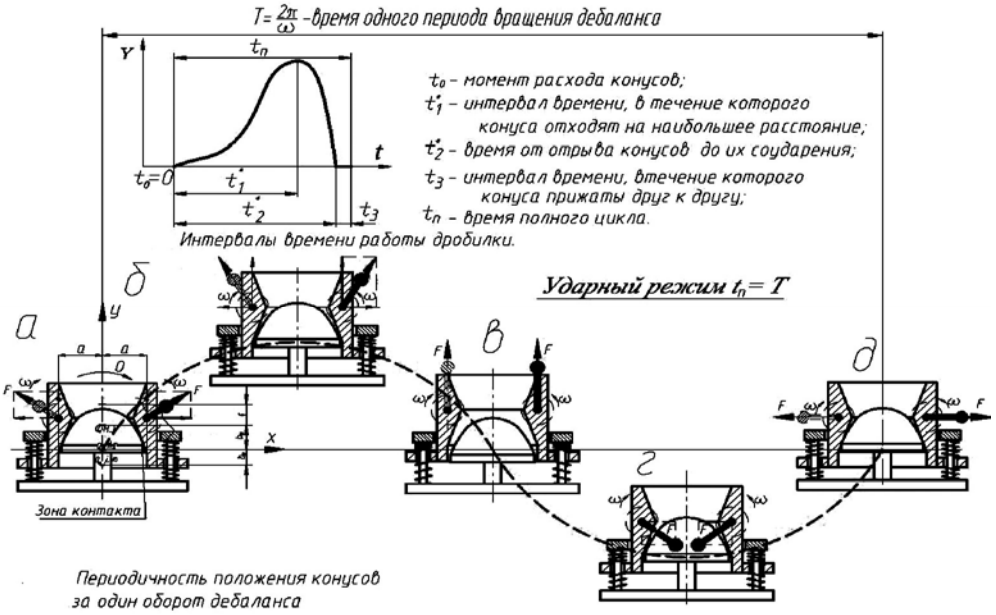

Рис. 5. Кинематика машин с принудительно поджатым ударником

В положении «д» устройство и сжатые пружины «дробящего конуса» приближаются к начальному положению, что соответствует закону движения описанным дифференциальным уравнением (1). При дальнейшем обороте дебалансов картина повто-ряется.

Учитывая, что устройство является динамически уравновешенным – при работе вибрационные и ударные нагрузки замыкаются внутри механизма – всю установку можно монтировать на легком основании (в капсуле, в носовой части судна).

Еще одной разновидностью виброконусной дробилки является машина выполненная по двухмассной динамической схеме со скрещивающимися осями вибровозбудителей колебаний машины (рис. 6) [4].

Дифференциальные уравнения движения несущего тела (корпуса) с упруго присоединенной массой (конусом) в продольном направлении запишутся в форме:

$$M\ddot{w} = m_O e\omega^2 \sin\beta \times$$
$$\times\left[\sin\left(\omega t + \alpha_j^{(1)}\right) - \sin\left(\omega t + \alpha_j^{(2)}\right)\right] -$$
$$-c\left(y - y_1\right),$$
$$m\ddot{w} = c\left(y - y_1\right).$$

где y_1 – абсолютное смещение конуса (массы m) вдоль оси Z, m_O – масса грузов вибратора, e – эксцентриситет грузов вибратора, f - относительное смещение корпуса и конуса.

Принцип работы: при встречном вращении вибраторов создается знакопеременная вертикальная сила и крутящий момент, заставляющие «корпус» через пружину C воздействовать на «дробящий конус», который будет совершать противофазные продольно крутильные (винтовые) колебания. В момент сближения конусов и их отно-

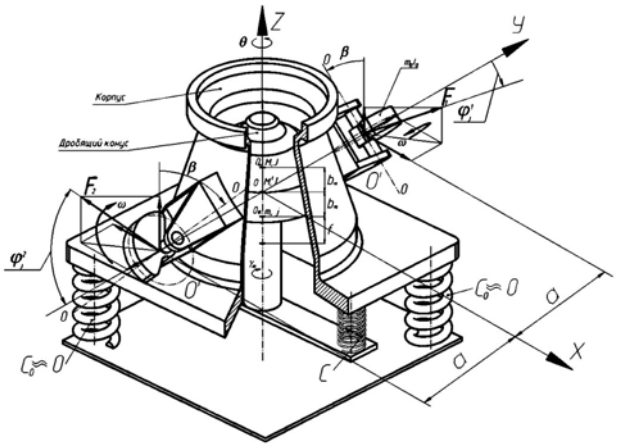

Рис. 6. Динамическая схема ВКД со скрещивающимися осями вибраторов

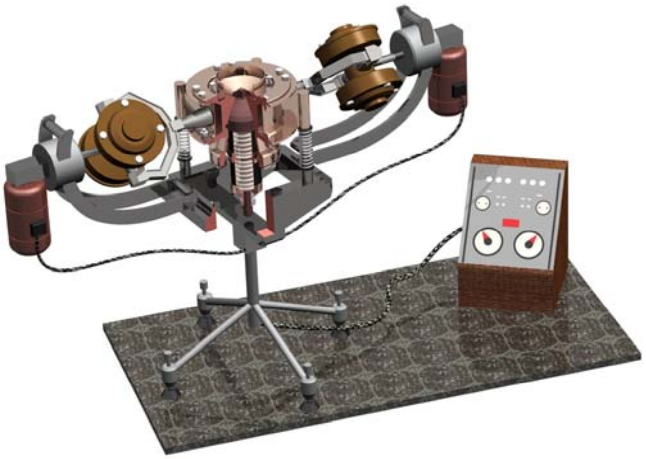

Рис. 7. Вибрационный модуль 157А.УС

сительного поворота происходит разрушение материала. При обратном ходе раздробленный материал увлекается по спирали в сторону разгрузки.

Причем, за счет изменения номинального угла наклона β и реверса электродвигателей, создается возможность регулирования скорости и направления прохождения материала через дробящее пространство, образованное наружным и внутренним конусами, а также величину сдвига, что повлечет за собой увеличение производительности и достижения технологически необходимой степени дроб-ления от 4 до 30.

Представленные выше различные динамические схемы, с целью проверки правильности расчета, реализованы в дробящем модуле рис. 8, смонтированном на вибрационном стенде 157А.УС рис. 7.

При небольшом усовершенствовании двухмассной динамической схемы вибрационной конусной дробилки получится виброударное устройство для разрушения аэродромного покрытия (железобетонных плит) (рис. 9).

Принцип действия устройства: при вращении дебалансных вибраторов возникает усилие, сообщающее корпусу колебания по вертикали. Через упругую систему колебания передаются стержню. Упругая система рассчитана на ре-

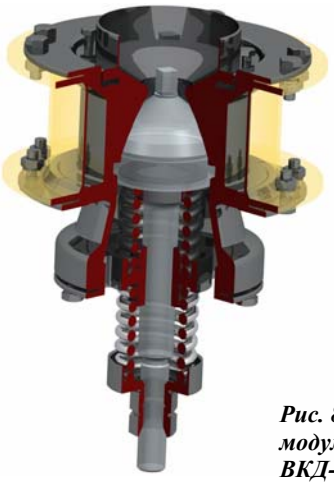

Рис. 8. Дробящий модуль ВКД-100

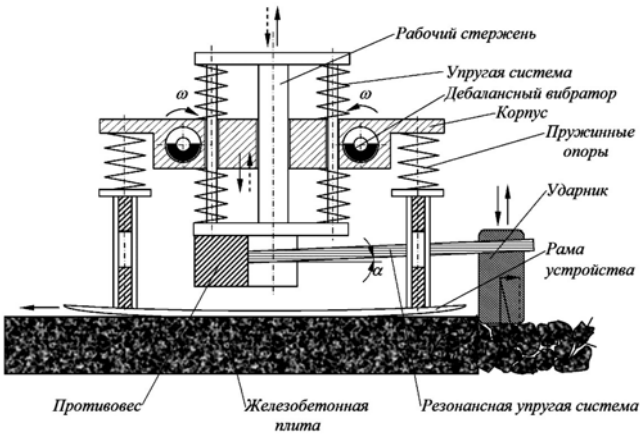

Рис. 9. Виброударное устройство для разрушения железобетонных плит.

жим работы, при котором обеспечиваются противофазные колебания корпуса и стержня, а, следовательно, динамическая уравновешенность устройства. Нижний конец стержня, совершая высокочастотные колебания, вызывает через пакет наклонных рессор резонансные колебания ударника. При резонансе амплитуда колебаний ударника в несколько раз превысит перемещения стержня. Воздействуя на аэродромное покрытие (железобетонную плиту) с высокой частотой и амплитудой ударник развивает ускорения до 10g и выше.

Ударное воздействие устройства с таким уровнем ускорений приведет к местному разрушению плиты под ударником. При косом ударе по бетонной плите возникает реактивная сила, перемещающая устройство по поверхности плиты, обеспечивая последовательное ее разрушение. Вибрационная машина в процессе работы разрушает полотно (плиту) и автоматически перемещается по его поверхности.

Таким образом, использование эффекта самосинхронизации позволило не только усовершенствовать привод существующих вибрационных устройств, но и создать принципиально новые машины и установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Блехман И.И.* Синхронизация динамических систем. – М.: Наука, 1971.

2. *Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Туркин В.Я.* Вибрационные дробилки. Основы расчета, проектирования и технологического применения. – С.-Пб.: ВСЕГЕИ, 2004.

3. *Лавров Б.П., Гольдин Л.А.* Динамика двухмассных вибрационных грохотов с двумя самосинхронизирующимися вибраторами // Обогащение руд. – 1973. - № 6. – С. 39-43.

4. *Казаков С.В., Тягушев М.Ю.* Современные направления в исследованиях дробилок вибрационного типа // Обогащение руд. 2005, №2.- с.37-41.

5. *Патент* № RU 2254929 C1 B 02 C 19/16. Вибрационная дробилка/ Вайсберг Л.А., Туркин В.Я., Нагаев Р.Ф., Шишкин Е.В., Казаков С.В..(С.-Петербургский гос. горный институт им. Плеханова). - № 2004116110/03; Заявл. 26.05.2004// Изобретения (Заявки и патенты). – 2005.- №18.

6. *Патент* № RU 2257266 C1 B 02 C 19/16. Конусная вибрационная дробилка/ Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Туркин В.Я., Казаков С.В. (ОАО «Механобр-техника»).- №2004104763/03;Заявл.17.02.2004// Изобретения (Заявки и патенты). – 2005.- №21.

Коротко об авторах

Казаков С.В. – старший инженер-конструктор, ОАО«НПК«Механобр-техника».