

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГИИ ИМПУЛЬСНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ РЕЖИМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО  
НАГРУЖЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ  
ВИБРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Розглянуті питання оцінки впливу взаємного позиціонування у часі елементів комбінованого режиму динамічного навантаження на ефективність вібраційних технологій при переробці мінеральної сировини.

**THE EVALUATION OF INFLUENCE OF IMPULS ENERGY OF  
DYNAMIC LOADING PARAMETERS TO THE VIBRATION  
TECHNOLOGIES OF MINERAL RESOURCES PROCESSING  
REALIZATION EFFECTIVITY**

The problem of influence of mutual temporary allocation of dynamic loading parameters to the vibration technologies of mineral resources processing are discussed

Вибрационные технологии широко распространены в различных отраслях промышленности, при этом наиболее полный список вибрационных переделов, представленный в работе [1], насчитывает более пятидесяти наименований. Все эти технологии объединяет единый принцип, положенный в их основу – направленное изменение физико-механических характеристик обрабатываемых материалов и сред, при их периодическом динамическом нагружении, для достижения, требуемого технологического результата. Несмотря на широкое распространение вибрационных технологий, более 75% их объема приходится на горную, металлургическую и строительную промышленности. При этом более половины всего эксплуатируемого вибрационного оборудования относится к вибрационным площадкам для формовки и уплотнения железобетонных изделий, бункерным вибрационным обрушителям и питателям. Однако в последнее время наметилась тенденция на снижение объемов его использования, связанная в первую очередь с его относительной сложностью и недостаточной надежностью и долговечностью. Эти недостатки особенно ощутимы в тех отраслях, где вибрационные технологии играют определяющую роль, обеспечивая требуемую эффективность и экономичность получения конечного технологического результата.

Анализ литературных источников в данной области показал, что проблеме повышения эффективности вибрационных технологий, в частности в процессах добычи и переработки минерального сырья, посвящено большое количество работ. При этом отмечается, что повышение эффективности связано, как правило, с выбором и обоснованием необходимого критерия эффективности для конкретного технологического процесса и реализацией нормируемых динамических параметров при помощи технологического вибрационного оборудования.

В качестве критериев эффективности в вибрационных технологиях добычи и переработки минерального сырья, в настоящее время, обычно используют соотношение вида

$$H = A^l W^q, \quad (1)$$

где  $W$  и  $A$  - частота и амплитуда реализуемых колебаний,  $q$  и  $l$  – показатели степени, величины которых зависят от физической основы рассматриваемого критерия.

В работе [2] отмечается, что эффективность вибрационного транспортирования при изменении амплитуды и частоты реализуемых колебаний рабочего органа однозначно определяется критерием при  $l=1$ ,  $q=1-2$ . Эта зависимость была получена экспериментально и довольно точно описывает эффективность технологического процесса при транспортировании сыпучего материала.

В работах Блехмана И.И. [3,4] для определения необходимых условий транспортирования используется критерий вида (1) с показателями степени  $l=1$ ,  $q=2$ . Такой же критерий при оценке эффективности процессов вибрационного выпуска горной массы предлагает использовать Афанасьев А.А.[5], при формовке и уплотнении бетона Баркан Д.Д.[6], Гусев Б.В.[7] и Зазимко В.Г.[8].

Данные соотношения определяют силовые параметры реализуемые в обрабатываемых технологических средах. Однако в ряде работ [9,10] отмечается, что определяющую роль в реализации вибрационных эффектов играют сдвиговые напряжения, реализуемые в обрабатываемых технологических средах. В связи с этим в работе [11] предложено использовать в качестве критерия эффективности вибрационных технологий соотношение вида (1) при  $l=1$ ,  $q=3$ .

В работе Овчинникова П.Ф.[12] в качестве критерия эффективности для вибрационных технологий связанных с измельчением геоматериалов, предложено принимать следующие значения показателей степени  $q=2$ ,  $l=2$ , определяя таким образом прерогативу энергетических параметров реализуемого нагружения.

Использовать в качестве критерия эффективности реализуемую вибромощность предлагается в работах Савинова О.А.[13] и Шмигальского В.Н.[14], т.е. показатели степени принимаются равными  $l=2$ ,  $q=3$ .

Однако в рассмотренных работах не дается четкого физического обоснования предлагаемых критериев, выбор которых, как правило, основывается, в первую очередь на возможности измерения или варьирования данного параметра и экспериментальной привязки его к технологическим результатам.

В связи с этим был рассмотрен вопрос о выборе и обосновании универсального, физически обоснованного критерия эффективности вибрационных технологий [15]. Как уже отмечалось, вибрационные технологии в области переработки минерального сырья основаны, как правило, на изменении физико-механических характеристик технологических сред, с целью достижения технологического результата. При этом целесообразно рассматривать три типа эффектов, реализуемых в обрабатываемых материалах при периодическом дина-

мическом их нагружении. Первый- это физические эффекты, основанные непосредственно на изменении физико-механических характеристик обрабатываемого материала. Как правило, в этом аспекте рассматривается изменение сил сухого или вязкого трения при реализации сдвиговых напряжений. Для этих процессов, как отмечается в большинстве работ [16,17], определяющим фактором является величина реализуемого ускорения, или его производная по времени- резкость. Данный подход имеет ясное физическое обоснование, связанное с рассмотрением разрушений, или ослаблений, связей между отдельными структурными элементами обрабатываемой технологической среды при изменении вида напряженного состояния. В подавляющем большинстве случаев здесь можно говорить о необходимости реализации сдвиговых напряжений, определяющих эти физические величины. Вторым видом эффектов, реализация которых определяет эффективность вибрационных технологий, являются механические эффекты, связанные, как правило, с абсолютными или относительными перемещениями обрабатываемой среды или ее структурных элементов. Перемещение, при любом уровне и виде реализуемых сопротивлений, связано с необходимостью выполнения определенной работы, т.е. требует затрат энергии.

Таким образом, для оптимизации протекания третьего вида эффектов – технологических, определяющих непосредственно получение полезного результата, необходимо добиться оптимизации двух первых, зависящих от силовых и энергетических параметров реализуемого динамического нагружения, т.е. можно считать, что для вибрационных технологий, связанных с добычей и переработкой минерального сырья следует использовать универсальный комбинированный критерий эффективности, основанный на нормировании силовых и энергетических параметров реализуемого динамического нагружения. В этом случае, универсальный критерий эффективности вибрационных технологий может быть представлен в виде [15].

$$H = f(A^2 \omega^3; A \omega^2);$$

Выполнение этого условия для моно гармонического режима нагружения не представляется возможным, следовательно, одним из основных требований, которое должно предъявляться к вибрационному оборудованию, обеспечивающему оптимизацию технологических процессов, является возможность реализации воздействия с независимым регулированием энергетических и силовых параметров нагружения. Вибрационные системы с комбинированным режимом динамического нагружения должны обеспечивать возможность параллельной реализации нескольких видов воздействия на технологические среды, допускающие независимую регулировку силовых и энергетических параметров нагружения.

Следует отметить, что реализация комбинированных режимов динамического нагружения подразумевает оптимизацию, не только абсолютных значений реализуемых силовых и энергетических параметров, но и их распределения между каждым из реализуемых видов воздействия. В связи с этим представля-

ет интерес влияние энергии импульсной составляющей, при комбинированном режиме динамического нагружения, на эффективность реализации вибрационных технологий в процессах переработки минерального сырья.

Экспериментальные исследования были проведены на стенде (рис.1), который состоит из емкости с нелинейным виброприводом 1, в которой размещается бетонная смесь заданной жесткости с помещенным в ней металлическим шариком 2. К шарикю прикреплена гибкая связь 3 с инерционным пригрузом 4.

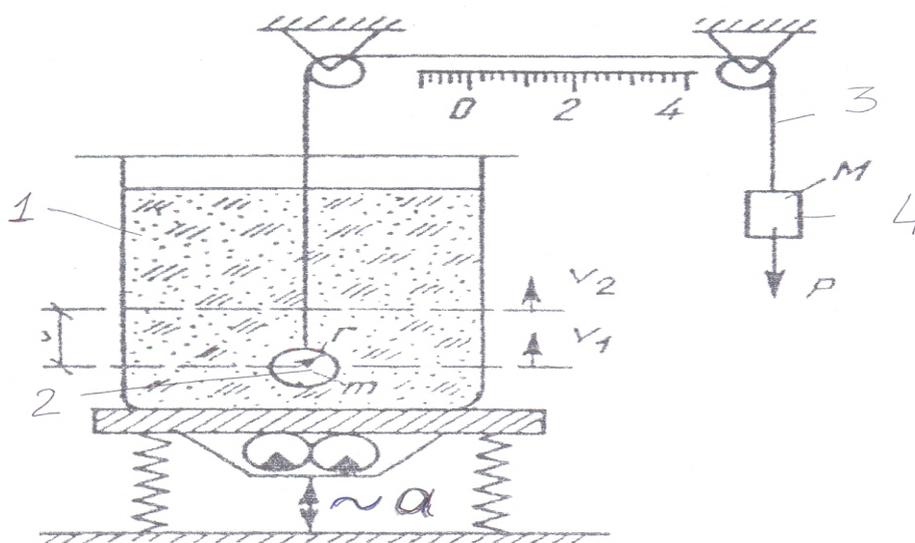


Рис.1- Стенд для проведения экспериментальных исследований

На шарик действуют сила всплытия  $P$ , архимедова  $A$ , собственного веса  $G$ , сила трения  $F$ , выраженная по формуле Стокса через среднюю скорость на рассматриваемом участке столба бетонной смеси, и коэффициент динамической вязкости.

При этом эффективность реализуемого воздействия оценивалась по величине динамической вязкости, определяемой по формуле

$$\nu = \frac{2}{6\pi} \frac{[Mq + 4/3\pi r q(\rho_1 - \rho_2) - m/2l(v_2^2 - v_1^2)]}{r(v_1 + v_2)}$$

где  $\nu$ -коэффициент динамической вязкости;  $m$ - масса шарика;  $\rho_1$  и  $\rho_2$ - плотность шарика и бетонной смеси;  $r$  - радиус шарика;  $q$  -ускорение свободного падения;  $M$  -масса дополнительного груза,  $v_1$  и  $v_2$  - скорость движения шарика.

Экспериментальные исследования были выполнены на бетонных смесях жесткостью 15 с, суммарная энергия нагружения равнялась 5,7 Дж, амплитуда реализуемого ускорения-  $24q$ , энергия импульсного воздействия варьировалась в диапазоне 0,22- 0,6 Дж. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Зависимость динамической вязкости от энергии импульса при комбинированном режиме нагружения

Энергия импульса, Дж	0,22	0,42	0,6
Динамическая вязкость, Па/с	6450	6590	6910

Как видно из представленных результатов уровень энергии импульсного воздействия, в диапазоне исследованных параметров, не оказывает существенного влияния на эффективность реализуемого процесса. Увеличение энергии импульса в три раза, при постоянной величине реализуемого ускорения, приводит к росту эффективности всего на 7%. Таким образом энергосберегающий эффект от применения комбинированных режимов динамического нагружения достигается за счет снижения энергозатрат на формирование требуемого уровня реализуемых ускорений. Как показывает практика промышленной реализации вибрационных систем с комбинированным режимом динамического нагружения в процессах переработки минерального сырья энергоёмкость технологических процессов, при этом снижается в 2-3 раза.

Исследуемые режимы воздействия обеспечивают эффективную формовку и уплотнение бетонных смесей различной жесткости, виброобрушение материалов в технологических емкостях, вибропрессование геоматериалов и т.д. При этом увеличение жесткости обрабатываемых сред, для сохранения требуемой эффективности воздействия, должно сопровождаться возрастанием ускорений и снижением энергии реализуемых импульсов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чебурахин И.М. Перспективы применения электромеханических вибраторов в строительной индустрии. -Ярославль.- «Красный Маяк»- 1998-37с.
2. Гончаревич И.Ф. Динамика вибрационного транспортирования.- М.: Наука.1972- 245 с.
3. Блехман И.И. Действие вибрации на механические системы// Вибротехника. Вып.3(20).- Вильнюс: Минтис,1973.-с.12-18
4. Блехман И.И., Хайнман В.Я. О теории вибрационного разделения сыпучих смесей// Изв. АН СССР. Механика.-1965.-№5,-с.45-49.
5. Афанасьев А.А. Теория и практика импульсного уплотнения бетонных смесей: Автореф.диссертации д-ра техн. наук: 05.23.08 / МИСИ.-М.,1981.-49с.
6. Баркан Д.Д. Устройство оснований и фундаментов с применением вибрирования.-М.: Госстройиздат,1949.- 124 с.
7. Гусев Б.В. Основные направления развития вибрационного способа уплотнения бетонных смесей // Тр. ДИИТа –1975.-Вып.175.-с.3-27
8. Зазимко В.Г. Технология уплотнения бетонных смесей управляемой вибрацией: Автореф. диссертации д-ра техн.наук:05.23.05 / МИСИ.-М.,1984.-46с.
9. Десов А.Е. Вибрированный бетон.- М.: Госстройиздат, 1966.-229 с.
10. Плисс Д.А. К теории вибрационной сепарации// Инж. журн.МТТ.-1967.-№4
11. Руденко И.Ф. Теория вибрационного формирования железобетона и его применение на практике Автореф.диссертации д-ра техн. наук: 05.23.05/ МИСИ .-М.,- 48с.
12. Овчинников П.Ф., Круглицкий Н.Н., Михайлов Н.В. Реология тиксотропных систем.-К: Наукова Думка,1972.-119с.
13. Савинов О.А., Лавринович Е.В. Вибрационная технология уплотнения и формовки бетонных смесей. – Л.: Стройиздат, 1986.-279 с.
14. Шмигальский В.Н. Проблемы интенсификации и повышения эффективности виброуплотнения бетонных смесей : Автореф. диссертации д-ра техн. наук: 05.23.05 /Новосибирск.-1988.-31с.
15. Потураев В.Н., Ленда В.А. Обобщенный энергетически-силовой критерий оптимизации параметров вибрационных технологий // Приложение к журналу «Вибрации в технике и технологиях».-1998.-с.54-58.

16. Разрушение: В 7-ми т./М.: Мир.-1986.-Т.7 Разрушение неметаллических и композитных материалов.- 634с.

17. Исследование влияния динамических воздействий на руды ВДГМК при скважинной гидродобыче (СГД) Отчет о НИР (заключительный), часть 1/ Институт геотехнической механики- х/т 216; № ГР 01850035079.-Днепропетровск, 1988.-63с.

**УДК 532.5.536.2**

Канд. ф.-м. наук В.И. Елисеев,  
канд. техн. наук В.И. Луценко,  
д-р техн. наук В.П. Надутый,  
аспир. И.П. Хмеленко  
(ИГТМ НАН Украины)

### **РАВНОВЕСНЫЕ СЛОИ ЖИДКОСТИ В КАПИЛЛЯРНОЙ СИТОВОЙ ЯЧЕЙКЕ**

Розглянуті задачі розрахунку форми поверхні та стійкості об'єму важкої рідини у круглій капілярній ситовій чарунці.

### **EQUILIBRIUM LAYERS OF THE LIQUID IN THE CAPILLARY CELL OF THE SIEVE**

Problems of calculation of the form of a surface and stability of volume of a heavy liquid in a round capillary cell of a sieve was considered.

Разнообразные технологии переработки полезных ископаемых предусматривают классификацию по крупности горной массы в виде пульпы и последующее обезвоживание продуктов классификации на просеивающих поверхностях в виде сеток. Для этой цели созданы (и продолжают совершенствоваться) как неподвижные устройства, так и целый ряд модификаций вибрационных грохотов. При этом одной из важнейших инженерных задач является повышение эффективности классификации на сеющих поверхностях. Острота технической проблемы появляется при классификации мелких и тонких классов крупности (в интервале от 1,0 до 40 микрон). Она связана с тем, что образующаяся в ячейках сита пленка жидкости препятствует свободному истечению частиц через него, что значительно снижает эффективность классификации при грохочении и процессе обезвоживания надрешетного продукта. Практикой эксплуатации различных просеивающих поверхностей при классификации пульп отмечается необходимость интенсивного динамического возбуждения просеивающей поверхности, однако режимы такого воздействия зависят от различных факторов: крупности разделения, соотношения твердого и жидкого в пульпе, характера смачиваемости сеющей поверхности и классифицируемых частиц горной массы, амплитудно-частотного режима механического воздействия на процесс, геометрических параметров рабочего органа машины и т.д.

Поэтому актуальной научной задачей является моделирование процессов свободного истечения жидкости через ячейку сита и при прохождении через нее твердых частиц в потоке жидкости. Учитывая недостаточную научную раз-