



УДК 622.6

**УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНОГО ВИБРОВЫПУСКА МАТЕРИАЛОВ  
В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ГЕОМАТЕРИАЛОВ**

**С.Я. Левенсон, Л.И. Гендлина, Е.Г. Куликова**

*Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,  
E-mail: shevchyk@ngs.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Представлен анализ вибрационных питателей, используемых на горных работах для разгрузки накопительных емкостей. Особое внимание уделено вибропитателям с рабочим органом малой изгибной жесткости, разработанным в ИГД СО РАН. Приведены результаты лабораторных и численных экспериментальных исследований вибрационного выпуска связных горных пород из бункера.

*Вибропитатель, рабочий орган, изгибная жесткость, опорные элементы, связный материал, эффективность выпуска*

**CONDITIONS OF EFFICIENT VIBRODISCHARGE OF MATERIALS  
IN MODERN TECHNOLOGIES OF MINERAL MINING AND PROCESSING**

**S.Ya. Levenson, L.I. Gendlina, E.G. Kulikova**

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
E-mail: shevchyk@ngs.ru, Krasny prospect, 54, 630091, Novosibirsk, Russia*

The paper reviews vibration feeders used to discharge storage reservoirs in mineral mining. In spotlight is the vibrofeeders equipped with the active member of low flexural rigidity developed at the Chinakal Institute of Mining. The authors present the results of the physical and numerical studies into vibratory discharge of cohesive rocks from a bunker.

*Vibratory feeder, active member, flexural rigidity, supporting element, cohesive material, discharge efficiency*

Развитие горнодобывающей промышленности связано с внедрением прогрессивных технологий освоения недр, которое, в свою очередь, невозможно без применения принципиально нового оборудования для разработки и транспортирования различных геоматериалов.

В число задач, решаемых при организации горных работ, входит создание благоприятных условий для бесперебойного выпуска различных сыпучих материалов из накопительных емкостей, например, бункеров, обеспечивающих непрерывную работу всего механизированного комплекса горного предприятия. Эффективность перемещения сыпучих материалов во многом зависит от их физико-механических свойств. Так связные дисперсные среды характеризуются существенными по величине силами сцепления между частицами, которые наряду с силой внутреннего трения оказывают сопротивление перемещению материала. Выпуск таких материалов из бункеров связан с проблемой трубообразования и частого зависания, и в настоящее время остается актуальной задачей.

Вибрационные питатели способны работать в тяжелых условиях горного производства, отличаются высокой производительностью, позволяют обеспечить хорошие санитарно-гигиенические условия и безопасность труда горнорабочих, а также автоматизацию выпуска сыпучего материала из накопительной емкости [1]. В настоящее время известно свыше пятидесяти

сяти типов вибрационных транспортирующих машин, большинство из которых разработаны для конкретных условий промышленных предприятий.

Конструкция практически всех вибропитателей включает в себя жесткий рабочий орган, систему упругих элементов, связывающих его с основанием, и вибровозбудитель. Чаще всего используется одномассная схема.

Примером таких машин является электровибрационный питатель типа ПЭ (рис. 1а), поставляемый на российский рынок предприятием «Механобр-техника» (Россия) [2]. Рабочий орган питателя закрепляется на стенках бункера при помощи системы упругих элементов и приводится в действие одним электрическим вибровозбудителем. Эти и подобные машины эффективно используются на горнодобывающих и обогатительных предприятиях для дозированной подачи из накопительных емкостей различных, не склонных к слипанию и слеживанию, сыпучих и кусковых материалов с малым содержанием влаги. Однако они не предназначены для работы со связными материалами, отличающимися значительным по величине сцеплением.



Рис. 1. Вибрационные питатели, выполненные по одномассной схеме: электровибрационный питатель ПЭ (а); вибрационный питатель GZD (б)

Питатель GZD китайской компании Break-Day (рис. 1б) [3] разработан для использования в рудоспуске и относится к тяжелым вибрационным машинам, выполненным по одномассной схеме. Он удобен в обслуживании, эффективно выпускает сыпучие материалы, но не предназначен для выпуска связных и липких материалов.

Мощный питатель, предлагаемый компанией General Kinematics (США) (рис. 2) [4], выполнен по двухмассной схеме.

Его конструкция позволяет регулировать собственную частоту рабочего органа, автоматически подстраиваться к изменению давления со стороны выпускаемого материала без снижения скорости подачи и повышения потребляемой мощности.

Эта машина может воспринимать большие нагрузки на транспортирующую поверхность и эффективно используется для выпуска сыпучей горной массы с малым содержанием влаги из накопительной емкости в средства доставки.



Рис. 2. Двухмассный питатель General Kinematics

К общим недостаткам вибропитателей с жестким рабочим органом можно отнести высокую трудоемкость подготовительных и монтажных работ, необходимость использования мощных фундаментов, т.к. вследствие динамической неуравновешенности несущие конструкции этих машин

испытывают значительные нагрузки, и ограниченную область применения, связанную с тем, что эти машины не могут использоваться для выпуска связных и липких материалов.

В ИГД СО РАН была создана большая группа вибрационных питателей с упругим рабочим органом [5, 6].

Рабочий орган таких машин выполнен из стального листа малой изгибной жесткости, как правило, свободно укладывается на основание и при работе совершает изгибные колебания. В качестве источника вибрации используется электрический инерционный или пневматический вибровозбудитель. Принцип действия этих машин дает большие возможности для реализации различных режимов транспортирования, чем питатели, выполненные по традиционной схеме. Они отличаются простотой конструкции, компактностью и малой массой, небольшими затратами на монтаж и демонтаж.

Одними из первых таких вибрационных машин были питатели ВЛР-1, ВЛР-2, ВЛР-3, предназначенные для выпуска руды из рудоспусков и погрузки ее в транспортные средства. Недостатком является малая зона вибровоздействия на сыпучий материал. Это связано со значительным затуханием вибрации при передаче ее от источника колебаний вдоль рабочего органа, что не позволяет эффективно выпускать связные труднотранспортируемые материалы. Кроме того, при их монтаже необходимо дополнительно подготовить основание или раму для укладки рабочего органа.

В отличие от питателей типа ВЛР виброустройства «Волна» изготавливаются с опорной рамой пенального типа, что значительно упрощает монтажные работы. При использовании питателя в качестве разгрузочного средства он закрепляется на стенках бункера с помощью упругих элементов. Вибропитатели «Волна – 1.5П», «Волна – 2П», «Волна – 3П», «Волна – 4П» выполнены по одной конструктивной схеме, отличаются только габаритными размерами и производительностью и предназначены для выпуска различных сыпучих материалов с малым содержанием влаги. Упругий рабочий орган этих машин имеет криволинейную форму для улучшения условий выпуска за счет создания искусственной поверхности скольжения сыпучего материала, близкой по форме к естественным поверхностям скольжения, которые реализуются в материале при выпуске. В качестве источника колебаний используются пневматические вибровозбудители, разработанные в ИГД СО РАН. Они просты в конструктивном исполнении и обладают достаточно высокой надежностью. На рис. 3 показана схема установки вибропитателя «Волна – 4П» на выпуске руды из блока.

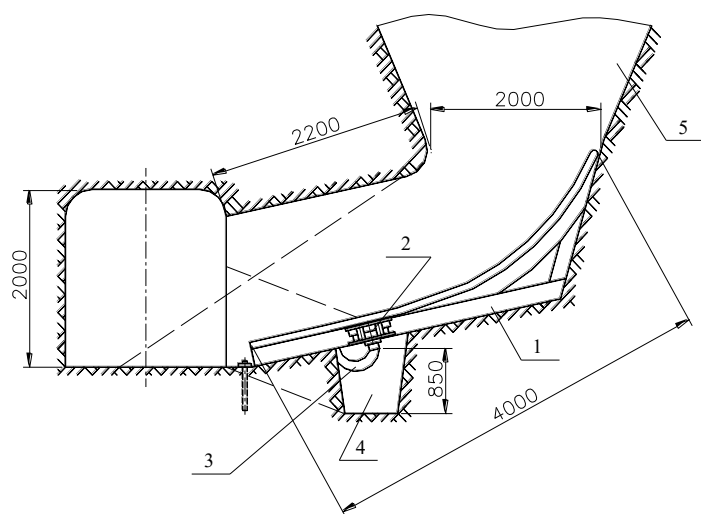


Рис. 3. Схема установки вибропитателя «Волна-4П» на выпуске руды из блока: 1 – вибропитатель; 2 – вибровозбудитель; 3 – воздухоподводящий шланг; 4 – приямок под шланг; 5 – выработка

Проведенный анализ вибрационной техники показал, что эффективность эксплуатации существующих вибропитателей резко снижается с увеличением связности сыпучих сред. Эти вибромашины предназначены для подачи кусковых материалов, не склонных к налипанию.

В ИГД СО РАН ведутся исследования вибрационного выпуска связных геоматериалов и поиск технических решений для его осуществления.

В частности, использование дополнительного вибропривода позволяет существенно увеличить колебания загрузочного участка упругого рабочего органа и уменьшить влияние затухания его изгибных колебаний на выпуск сыпучих материалов, в том числе связных. Однако в этом случае требуется обеспечить синхронную работу вибровозбудителей, что не всегда просто осуществить.

В качестве другого технического решения была предложена принципиально новая конструктивная схема, согласно которой рабочий орган малой изгибной жесткости закрепляется в подвешенном состоянии на упругих опорных элементах [7], связывающих его с опорной рамой. В отличие от вибромашин с упругим рабочим органом, где из-за трения между рабочим органом и основанием продольная составляющая колебаний пренебрежимо мала, а выпуск осуществляется за счет изгибных колебаний, в предлагаемом виброустройстве отсутствует контакт рабочего органа с основанием. Это позволяет уменьшить затухание колебаний вдоль транспортирующей поверхности и увеличить амплитуду вибрации на загрузочном участке.

Исследования динамики такого вибрационного питателя выполнены методами физического и численного моделирования.

Физические эксперименты проводились на стенде, включающем в себя вибропитатель и аккумулирующую емкость. В качестве связного материала использовалась супесь с размерами частиц 0.005...0.1 мм и содержанием глинистой составляющей около 10%. Сцепление изменяли за счет влажности в интервале от 10 до 18%. С помощью измерительно-вычислительного комплекса определялись параметры вибрации. Кроме того фиксировалось время выпуска мерного объема связного материала.

Численное моделирование выполнялось методом конечных элементов с помощью программного комплекса ANSYS. Решение полной системы уравнений динамики (Full Transient Analysis) проводилось с использованием неявной схемы прямого интегрирования по времени, базирующейся на методе Ньюмарка [8].

Эксперимент показал, что за счет незатухающей продольной составляющей существенно увеличиваются колебания загрузочного участка рабочего органа (рис. 4), в процессе выпуска их амплитуда практически не изменяется.

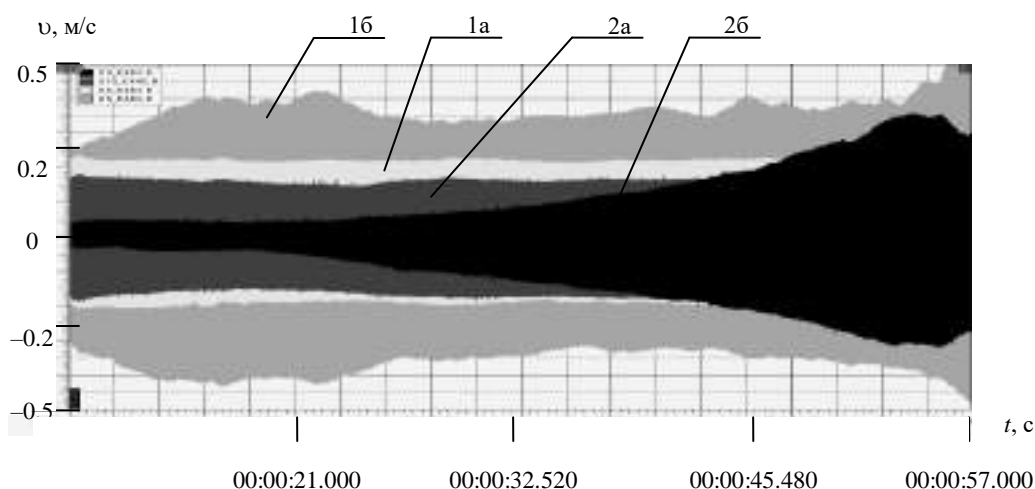


Рис. 4. Оциллограммы продольной (а) и поперечной (б) составляющих виброскорости,  $v$ : 1 – на участке приложения вынуждающей силы, 2 – на загрузочном участке

Установлено, что для реализации эффективного выпуска связного материала и выполнения условия допустимого провисания рабочего органа под нагрузкой отношение  $\frac{l_{on}^3}{EI}$  не должно превышать 0.025–0.030 ( $l_{on}$ , м,  $EI$ , Нм<sup>2</sup> – длина и жесткость опоры соответственно).

На основе результатов проведенных исследований был разработан и изготовлен экспериментальный образец вибропитателя для выпуска из бункеров сыпучих материалов, в том числе связных (рис. 5). Криволинейный рабочий орган малой изгибной жесткости 1 располагается внутри рамы пенального типа 8. Его загрузочный и разгрузочный участки жестко связаны с упругими опорными элементами, закрепленными на раме. Один из вариантов конструктивного исполнения опорного элемента показан на рис. 5б. Он состоит из упругих металлических пластин 2 и 3, резиноканевых пластин 4 и 5 и элементов крепления пластин к рабочему органу и раме (6 и 7 соответственно).

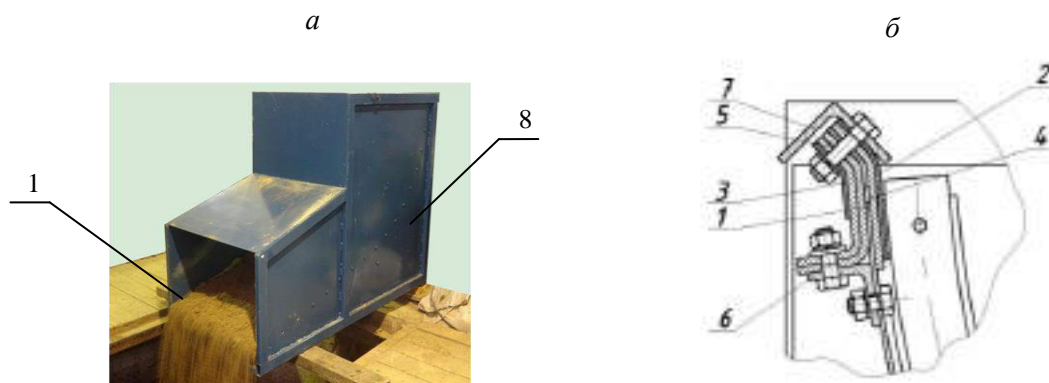


Рис. 5. Экспериментальный образец вибропитателя для выпуска сыпучих материалов, в том числе связных: общий вид (а); схема опорного элемента загрузочного участка (б); 1– рабочий орган; 2, 3 – упругие металлические пластины; 4, 5 – упругие резиноканевые пластины; 6, 7 – элементы крепления; 8 – рама

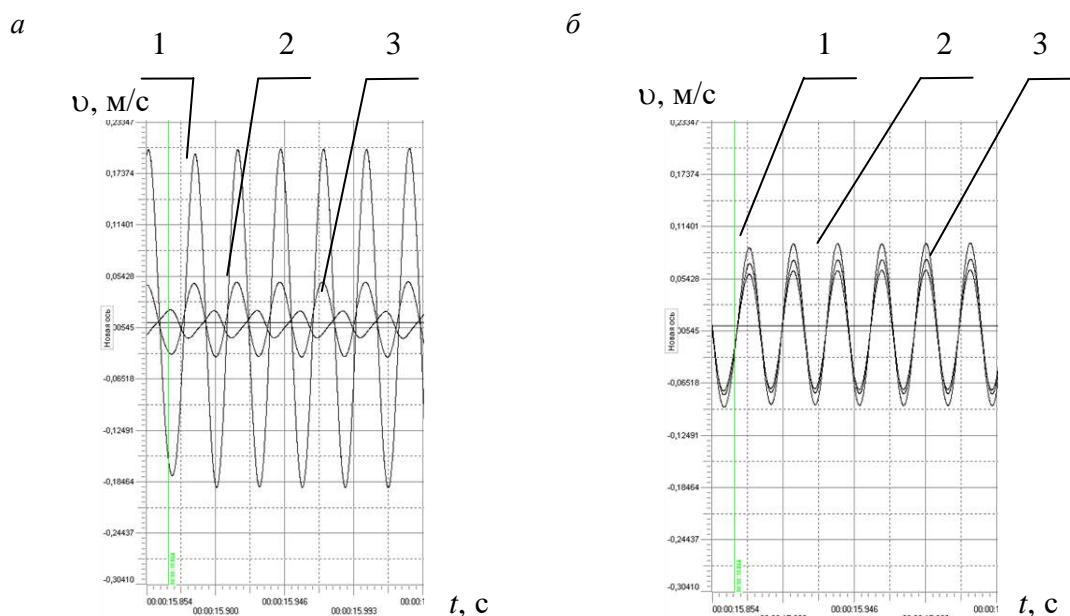


Рис. 6. Виброскорость  $v$  поперечных (а) и продольных (б) колебаний рабочего органа: 1 – в точке приложения вынуждающей силы; 2 – в середине рабочего органа; 3 – на загрузочном участке

Испытания питателя в лабораторных условиях показали его хорошую работоспособность. Процесс выпуска из бункера супеси с содержанием глинистой составляющей более 10%, влажностью 13% осуществлялся равномерно, без зависания. Налипания и уплотнения материала на загрузочном

участке рабочего органа не наблюдалось, наличие вибрации на этом участке подтверждается оциллограммами колебаний рабочего органа (рис. 6), записанными в процессе выпуска.

При указанных в таблице параметрах вынуждающей силы производительность выпуска составила 55–60 т/ч.

ТАБЛИЦА. Техническая характеристика питателя

Габаритные размеры, мм:	
– длина	1500
– ширина	664
– высота	1050
Площадь выпускного окна, м <sup>2</sup>	0.27
Масса, кг	160
Частота колебаний, Гц	35
Вынуждающая сила, Н	2400
Мощность вибровозбудителя, Вт	950

## ВЫВОДЫ

Использование в конструкции питателя упругих опорных элементов позволяет повысить интенсивность колебаний загрузочного участка рабочего органа малой изгибной жесткости, тем самым создавая условия для эффективного выпуска не только сыпучих, но и связных материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Molotilov S.G., Vasilev Ye.I., Kortelev O.B. et al.** Intensification of Loading and Transport Operations in Open Pit Mines, Novosibirsk: SO RAN, 2000. (in Russian) [**Молотиллов С.Г., Васильев Е.И., Кортелев О.Б. и др.** Интенсификация погрузочно-транспортных работ на карьерах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000.]
2. Electric Vibrating Feeders (Vibrating Feeders). Available at: [http://www.mtspb.com//production\\_current.php?id=4&id\\_group=22](http://www.mtspb.com//production_current.php?id=4&id_group=22).
3. Vibrating Feeder, Available at: [http://www.break-day.com/ru/vibrating\\_feeder.htm](http://www.break-day.com/ru/vibrating_feeder.htm).
4. Vibratory Rock Screens/Feeders. Available at: <http://www.generalkinematics.com/mining/proddesc.cfm/productid/94>.
5. **Tishkov A.Ya., Gendlina L.I., Levenson S.Ya.** Vibratory Equipment with Flexible Active Member for Mining Operations, Izv Vuzov, Gorny Zh, 1992, No. 10. [**Тишков А. Я., Гендлина Л.И., Левенсон С.Я.** Вибрационные машины с упругим рабочим органом для горного производства // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1992. – № 10.]
6. **Levenson S.Ya., Gendlina L.I., Eremenko Yu.I., Kulikova E.G., Morozov A.V.** Vibratory Equipment for Underground and Open Cast Mining, Proc VI Int Sci Conf Technical Equipment for Mineral Mining and Oil and Gas Industry, Ekaterinburg, 2008.(in Russian) [**Левенсон С.Я., Гендлина Л.И., Еременко Ю.И., Куликова Е.Г., Морозов А.В.** Вибромашины для подземных и открытых горных работ // Сб. тр. VI международной научно-технической конференции «Техническое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности». – Екатеринбург, 2008.]
7. **Gendlina L.I., Levenson S.Ya., Alesik M.Yu., Kulikova E.G.** Effect of Vibratory Equipment Parameters on Cohesive Material Discharge from Reservoirs, Gorn Oborud Elektromekh, 2013, No. 1. [**Гендлина Л.И., Левенсон С.Я., Алесик М.Ю., Куликова Е.Г.** О влиянии параметров вибрационного устройства на процесс выпуска связных материалов из емкости // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 1.]
8. **Lukashevich A.A.** Modern Numerical Methods in Structural Mechanics, Khabarovsk: KhGTU, 2003. (in Russian) [**Лукашевич А.А.** Современные численные методы строительной механики. – Хабаровск: Из-во Хабар. гос. техн. Ун-та, 2003.]