



УДК 622.646

**ОБОСНОВАНИЕ НОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ ВИБРАЦИОННЫХ ПИТАТЕЛЕЙ  
ДЛЯ ВЫПУСКА ГЕОМАТЕРИАЛОВ ИЗ НАКОПИТЕЛЬНЫХ ЕМКостей**

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

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

Приведены разработанные в ИГД СО РАН конструктивные схемы, позволяющие расширить возможности использования вибрационного питателя с рабочим органом малой изгибной жесткости для выпуска различных труднотранспортируемых материалов, в том числе вязных, липких и горячих. Обосновано использование опорных элементов для размещения рабочего органа на раме и оснащение его дополнительными элементами в виде цепей, упругих уплотнений и самоповоротного затвора.

*Вибрационный питатель, эффективность выпуска, труднотранспортируемые материалы*

**JUSTIFICATION OF NEW STRUCTURAL SCHEMES OF VIBRATING FEEDERS  
FOR LOOSE MATERIAL DISCHARGING FROM HOPPERS**

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

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
E-mail: shevchyk@ngs.ru, Krasnyi pr. 54, Novosibirsk, 63009, Russia*

The structural schemes developed at the Chinakal Institute of Mining, SB RAS, to expand capacities of vibrating feeders with low bending stiffness for discharging various difficult-to-transport materials, including cohesive, sticky and hot, are reported. The use of support elements for fixing the vibrating body on the frame and its equipment with auxiliary elements (chains, elastic seals and self-closing gate) are justified.

*Vibrating feeder, discharging efficiency, difficult flowing materials*

Вибрационные питатели, созданные в лаборатории вибротехники ИГД СО РАН, предназначены для выпуска сыпучих материалов из различных накопительных емкостей. Рабочий орган этих машин свободно укладывается на опорную раму под углом 10 – 15° к горизонту и представляет собой тонкий металлический лист, совершающий изгибные колебания под действием вынуждающей силы. Для создания наилучших условий перемещения сыпучего материала он может иметь криволинейную форму [1]. В качестве источника вибрации используется электрический или пневматический вибровозбудитель. Возможные просыпи материала предотвращаются с помощью гибких резинотканевых уплотнений.

Такие вибропитатели отличаются от машин с жестким рабочим органом [2–4] простотой конструкции, удобством монтажа и обслуживания и широкими возможностями реализации различных режимов вибротранспортирования [5].

Однако при работе питателя под завалом колебания распространяются от места приложения вынуждающей силы до загрузочного участка рабочего органа со значительным затуханием. На эффективность выпуска материалов с малым сцеплением это не влияет, но ухудшает условия транспортирования связных и липких, так как при их перемещении возникают большие по величине силы сопротивления внутри самого материала, а также на границе взаимодействия сыпучей массы с рабочим органом. Это приводит к налипанию выпускаемой массы на вибрирующую поверхность и создает предпосылки для сводо- и трубообразования. Кроме того, использование резиноканевых уплотнений от просыпей ограничивает возможность использования питателей для выпуска горячих сыпучих материалов [6].

В настоящее время предложен ряд технических решений, позволяющих без значительных изменений конструкции вибрационных машин с рабочим органом малой изгибной жесткости использовать их для выпуска не только сыпучих, но и связных, липких и горячих материалов.

Интенсивность колебаний загрузочного участка рабочего органа питателя может быть увеличена за счет исключения трения грузонесущего органа об опорную поверхность. С этой целью предлагается установить рабочий орган в подвешенном состоянии с помощью опорных элементов, которые одним концом закреплены на нем, а другим — на опорной раме.

В качестве опор могут быть использованы жесткие элементы (например, стержни [7]), установленные в состоянии неустойчивого равновесия и упруго закрепленные. В этом случае вынуждающая сила вибровозбудителя создает изгибные колебания рабочего органа, которые, достигая области контакта с опорными элементами, периодически отклоняют их от начального положения. За счет упругости закрепления опорные элементы каждый раз возвращаются в положение равновесия. Использование таких опор обеспечивает возвратно-поступательное перемещение рабочего органа относительно опорной рамы, изменяющее форму и интенсивность колебаний как разгрузочного, так и загрузочного участков рабочего органа. Величина колебаний на загрузочном участке становится соизмерима с изгибными колебаниями на разгрузочном участке в районе крепления вибровозбудителя, что позволяет создать дополнительную сдвигающую силу, преодолеть силы сопротивления перемещению материала по поверхности рабочего органа и добиться равномерного движения выпускаемого материала вдоль всей транспортирующей поверхности.

На рис. 1 показаны две конструктивные схемы питателя с такими опорными элементами. Для возвращения в исходное положение стержни могут быть шарнирно закреплены на раме и подпружинены (рис. 1а) или свободно установлены в закрепленной на раме упругой обойме (рис. 1б).

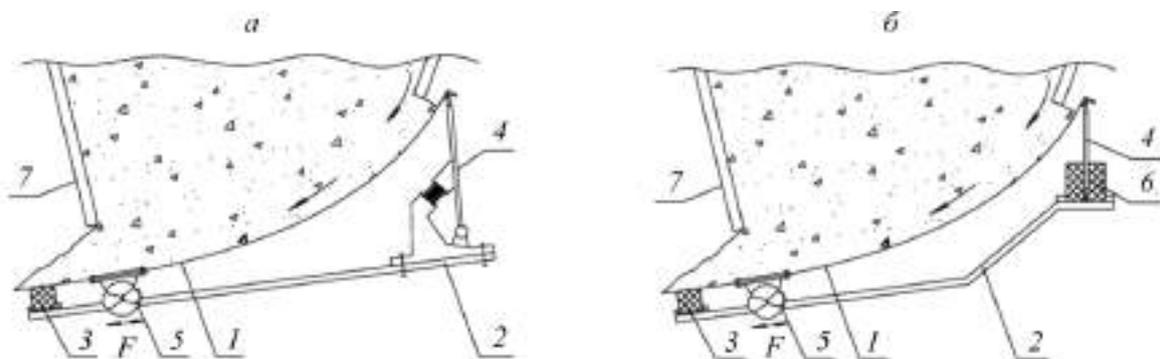


Рис. 1. Конструктивная схема вибрационного питателя с рабочим органом малой изгибной жесткости, связанным с основанием посредством опорных элементов: а, б — варианты исполнения опорного элемента загрузочного участка: 1 — рабочий орган; 2 — опорная рама; 3 — упругий опорный элемент разгрузочного участка; 4 — жесткий опорный элемент загрузочного участка в состоянии неустойчивого равновесия; 5 — вибровозбудитель; 6 — упругая обойма; 7 — бункер

Опоры могут быть и упругими (например, в виде плоских пружин), и работать на изгиб. В подвешенном состоянии под действием нагрузки со стороны выпускаемого материала рабочий орган провисает. Сила натяжения, возникающая в нем, передается на опорные элементы, изгибая их. За счет силы упругости опоры удерживают рабочий орган в натянутом состоянии [8–10]. Благодаря отсутствию трения грузонесущего органа о раму обеспечивается повышение интенсивности колебаний загрузочного участка рабочего органа и, соответственно, перемещение связного материала с одинаковой скоростью по всей длине транспортирующей поверхности.

Экспериментально было исследовано влияние жесткости опорных элементов на эффективность вибрационного выпуска связного материала из накопительной емкости.

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 %. С помощью измерительно-вычислительного комплекса определялись параметры вибрации. Фиксировалось время выпуска мерного объема связного материала.

Численное моделирование динамики рабочего органа малой изгибной жесткости выполнялось методом конечных элементов с помощью программного комплекса ANSYS.

В результате проведенных исследований установлено, что амплитуда поперечных колебаний загрузочного участка практически не зависит от жесткости опорных элементов. Интенсивность же продольных колебаний повышается с уменьшением этого параметра. В соответствии с расчетными данными наиболее заметное увеличение наблюдается при суммарной жесткости опор загрузочного и разгрузочного участков  $EI_{\Sigma}$  менее 40 кН·м<sup>2</sup>. Однако, как показали результаты физического эксперимента, при такой жесткости значительно растет провисание рабочего органа, уменьшается угол наклона его разгрузочного участка и, как следствие, производительность выпуска связного материала снижается в 1.3–1.6 раза [11]. Таким образом, параметры опорных элементов ограничиваются условием допустимого провисания рабочего органа. Наблюдения за выпуском связного материала показали, что использование упругих опорных элементов в конструкции вибрационного питателя обеспечивает равномерное снижение уровня материала по всему объему накопительной емкости.

Для предотвращения налипания выпускаемой массы на поверхность рабочего органа предлагается оснастить рабочий орган по всей длине гибкими подвижными элементами, например цепями или канатами, свободно уложенными на его поверхности и закрепленными на загрузочном участке (рис. 2) [12].

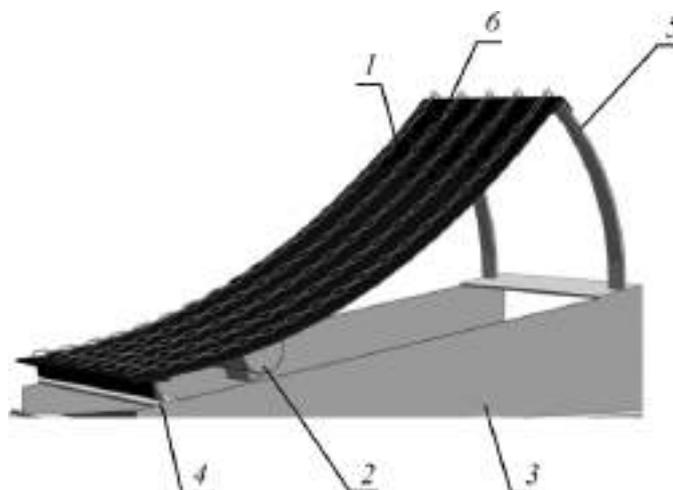


Рис. 2. Вибрационный питатель: 1 — рабочий орган; 2 — вибровозбудитель; 3 — опорная рама; 4, 5 — упругие опорные элементы разгрузочного и загрузочного участков рабочего органа соответственно; 6 — гибкие подвижные элементы

При включении виброисточника перемещаемый вдоль рабочего органа липкий материал натягивает гибкие элементы *б* в направлении разгрузки, одновременно прижимая их к транспортирующей поверхности. Благодаря изгибным колебаниям рабочего органа контакт между ним и элементами *б* периодически нарушается и восстанавливается. При этом происходит перемешивание слоя материала, находящегося непосредственно на вибрирующей поверхности, и разрушение налипшего слоя, что повышает эффективность работы вибропитателя с липкими материалами.

В случае выпуска горячих материалов возможно применение уплотнений, выполненных из жаропрочных упругих (например, металлических) пластин (рис. 3) [13]. Каждая пластина имеет малую длину. Они расположены в два слоя. Пластины каждого слоя жестко закреплены на раме стык в стык друг к другу и изогнуты в направлении рабочего органа *1*. При этом пластины нижнего слоя *5* свободно опираются на транспортирующую поверхность питателя, а пластины верхнего слоя *4* закрывают стыки между пластинами нижнего слоя.

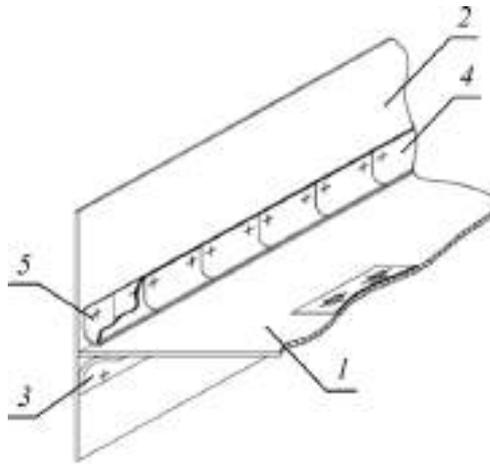


Рис. 3. Конструктивная схема питателя с жаропрочными уплотнениями: *1* — рабочий орган; *2* — бортовая рама; *3* — упругие опорные элементы; *4, 5* — упругие пластины уплотнений от просыпей

Так как отдельные элементы уплотнений имеют малую длину и не связаны между собой жестко, то даже небольшого усилия достаточно для их упругого деформирования. При включении вибровозбудителя изгибные колебания рабочего органа заставляют их изгибаться и их контакт с транспортирующей поверхностью питателя не нарушается. Расположение пластин в два слоя надежно предотвращает просыпи материала, а благодаря тому, что они жаропрочные, появляется возможность использовать питатель для перемещения горячих материалов. Причем установка рабочего органа в подвешенном состоянии на раме позволяет осуществлять подачу холодного воздуха к вибровозбудителю для его охлаждения.

Предотвращение самопроизвольного истечения материала из накопительной емкости при отсутствии вибрации может быть осуществлено с помощью самоповоротного затвора (рис. 4) [14]. При этом разгрузочный участок упругого рабочего органа должен быть изогнут по дуге вниз. Затвор, состоящий из створки и противовеса, шарнирно закрепляется на раме на уровне разгрузочной кромки упругого рабочего органа.

В нерабочем положении вибрационного устройства (при выключенном вибровозбудителе) противовес затвора *3.2* направлен вертикально вниз (положение *а*) так, что момент силы, создаваемый его весом относительно шарнира закрепления, превышает момент силы, создаваемый весом створки. Створка *3.1* полностью перекрывает выпускное окно бункера *4*, предотвращая самопроизвольное истечение сыпучего материала, расположенного на рабочем органе *1* под углом естественного откоса. При включении вибровозбудителя *5* сыпучая масса начинает двигаться вдоль рабочего органа *1* и создает давление на створку самоповоротного затвора, увеличивая момент сил относительно шарнира закрепления. Затвор поворачивается в сторону

выпуска так, что створка переходит из положения *a* в положение *б* и становится продолжением разгрузочного участка рабочего органа. При выключении вибровозбудителя принудительный выпуск сыпучего материала прекращается. Так как разгрузочный участок рабочего органа изогнут дугою вниз, то угол его наклона к горизонту в зоне разгрузочной кромки больше угла естественного откоса сыпучего материала. Поэтому, перемещаясь под действием собственного веса, сыпучий материал полностью освобождает этот участок рабочего органа. Момент силы, создаваемый весом противовеса относительно шарнира закрепления, становится больше момента силы, создаваемого створкой, и возвращает самоповоротный затвор с исходное положение. Выпускное окно накопительной емкости закрывается.

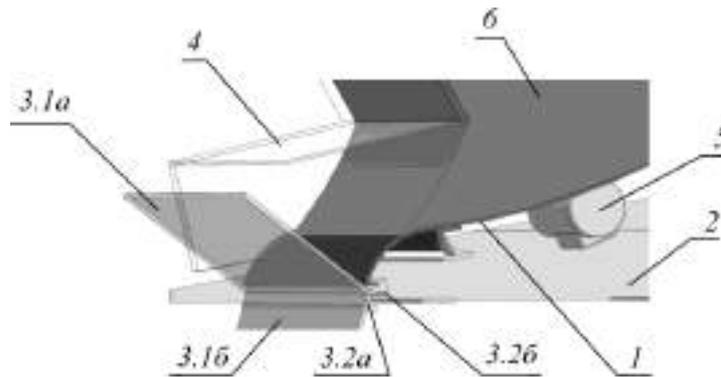


Рис. 4. Конструктивная схема питателя с самоповоротным затвором (в разрезе): 1 — рабочий орган; 2 — рама; 3.1, 3.2 — створка и противовес затвора соответственно (*a*, *б* — положения затвора в закрытом и в открытом состоянии соответственно); 4 — бункер; 5 — вибровозбудитель; 6 — сыпучий материал

Использование самоповоротного затвора позволяет предотвращать просыпи сыпучего материала. Кроме того, управление его поворотом происходит автоматически и без дополнительных энергозатрат.

#### ВЫВОДЫ

Использование опорных элементов, связывающих рабочий орган с рамой, а также дополнительных продольных подвижных гибких элементов, упругих металлических уплотнений и самоповоротного затвора дает возможность выпускать не только сыпучие, но и различные труднотранспортируемые материалы, в том числе вязные, липкие и горячие.

Предлагаемые схемы могут быть конструктивно объединены в любой необходимой комбинации, что позволит значительно расширить возможности использования питателей с рабочим органом малой изгибной жесткости в различных технологиях при выпуске геоматериалов из аккумулирующих емкостей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Zimonin L. V.** Increasing the efficiency of ore release using vibrofeeder with the elastic active member, Scientific foundations of mechanization of open and underground mining: Sbornik trudov, Novosibirsk, 1983, pp. 17–21. (in Russian) [**Зимонин Л. В.** Повышение эффективности выпуска руды с использованием виброролента // Научные основы механизации открытых и подземных горных работ: сб. трудов. — Новосибирск, 1983. — С. 17–21.]
2. **Batrakov D. V.** Application of vibrating feeders for mineral release in conditions of iron-ore mines of the Krivoy Rog basejn, J. Bulletin of the Krivoy Rog National University, no. 34, pp. 104–108. (in Ukraine) [**Батраков Д. В.** Применение вибрационных питателей для выпуска руды в условиях железорудных шахт Криворожского бассейна // Вестник Криворожского Национального Университета. — 2013. — № 34 — С. 104–108.]

3. **Lyashenko V. I., Dyatchin V. Z., Franchuk V. P.** The creation and implementation of the vibratory feed unit – screens for the mining industry, *J. Ferrous Metallurgy*, no. 5, pp. 72–80. (in Russian) [**Ляшенко В. И., Дятчин В. З., Франчук В. П.** Создание и внедрение вибрационных питателей-грохотов для горной промышленности // *Черная металлургия*. — 2014. — № 5 — С. 72–80.]
4. **Uchitel` A. D., Gushin V. V.** *Vibration Release of rock materials*. Moscow, Nedra, 1981. (in Russian) [**Учитель А. Д., Гушин В. В.** Вибрационный выпуск горной массы. — М.: Недра, 1981. — 232 с.]
5. **Levenson S. Ya., Gendlina L. I., Kulikova E. G.** The application of vibrofeedersto rock materials production and processing modern technologys, *J. Fundament Appl Min Sci*, 2017, vol. 4, pp. 28–33. (in Russian) [**Левенсон С. Я., Гендлина Л. И., Куликова Е. Г.** Условия реализации эффективного вибровыпуска материалов в современных технологиях добычи и переработки полезных ископаемых // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. — 2017. — Т. 4. — С. 28–33.]
6. **Kuz`min A. V., Maron F. L.** *Handbook on the designs of mechanisms of hoisting-and-transport machines*, Minsk, 1983. (in Russian) [**Кузьмин А. В., Марон Ф. Л.** Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. — Минск, 1983. — 350 с.]
7. **Useful model 77258 RF**, Vibrating equipment to discharge of loose, coherent and caking materials, L. I. Gendlina, Yu. I. Eremenko, S. Ya. Levenson, E. G. Kulikova, 2008, no. 29 [**ПМ 77258 РФ**. Вибрационное устройство для выпуска сыпучих, связных и слеживающихся материалов / Л. И. Гендлина, Ю. И. Еременко, С. Я. Левенсон, Е. Г. Куликова; заявитель и патентообладатель ИГД СО РАН, № 2008121582/22; заявл. 28.05.2008 // *Опубл. в БИ*. — 2008. — № 29.]
8. **Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W.** *Vibration problems in engineering*, Moscow, Mashinostroenie, 1985. (in Russian) [**Тимошенко С. П., Янг Д. Х., Уивер У.** Колебания в инженерном деле. — М.: Машиностроение, 1985. — 472 с.]
9. **Belyaev N. M.** *The study of strength of materials*, Moscow, Nauka, 1976. (in Russian) [**Беляев Н. М.** Сопротивление материалов. — М.: Наука, 1976. — 608 с.]
10. **Svetlitsky V. A.** *Mechanics of flexible rods and threads*, Moscow, Mashinostroenie, 1978. (in Russian) [**Светлицкий В. А.** Механика гибких стержней и нитей. — М.: Машиностроение, 1978. — 222 с.]
11. **Gendlina L. I., Kulikova E. G., Usol`tsev V. M.** Investigation into the effect of supporting element characteristics on vibrofeeder oscillation parameters, *Sbornik materialov Interekspo Geo-Sibir`*, Novosibirsk, 2017, vol. 2, no. 2, pp. 159–163. (in Russian) [**Гендлина Л. И., Куликова Е. Г., Усольцев В. М.** Результаты исследования влияния характеристик опорных элементов на параметры колебаний вибропитателя // *Интерэкспо ГЭО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. “Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология”*: сб. материалов. — Новосибирск: СГГА, 2017. — Т. 2. — № 2. — С. 159–163.]
12. **Useful model 77259 RF**, Vibrating equipment to discharge of coherent, sticky and caking materials, L. I. Gendlina, Yu. I. Eremenko, S. Ya. Levenson, E. G. Kulikova, M. Yu. Alesik, *Byull. Izobret.*, 2008, no. 29 [**ПМ 77259 РФ**. Вибрационное устройство для выпуска связных, липких и слеживающихся материалов / Л. И. Гендлина, Ю. И. Еременко, С. Я. Левенсон, Е. Г. Куликова, М. Ю. Алесик; заявитель и патентообладатель ИГД СО РАН, № 2008112716/22; заявл. 02.04.2008 // *Опубл. в БИ*. — 2008. — № 29.]
13. **Useful model 34514 RF**, Vibrating conveying equipment, L. I. Gendlina, S. Ya. Levenson, Yu. I. Eremenko, E. G. Shevchuk, S. G. Golubih, *Byull. Izobret.*, 2003, no. 34 [**ПМ 34514 РФ**. Вибрационное транспортирующее устройство / Л. И. Гендлина, С. Я. Левенсон, Ю. И. Еременко, Е. Г. Шевчук, С. Г. Голубых; заявитель и патентообладатель ИГД СО РАН, № 2003124862; заявл. 14.09.2003 // *Опубл. в БИ*. — 2003. — № 34.]
14. **Useful model 156689 RF**, Vibrating equipment to discharge of loose, coherent and caking materials, S. Ya. Levenson, L. I. Gendlina, E. G. Kulikova, V. M. Usol`tsev, *Byull. Izobret.*, 2015, no. 31 [**ПМ 156689 РФ**. Вибрационное устройство для выпуска сыпучих, связных и слеживающихся материалов / С. Я. Левенсон, Л. И. Гендлина, Е. Г. Куликова, В. М. Усольцев; заявитель и патентообладатель ИГД СО РАН, № 2015121411/11; заявл. 04.06.2015 // *Опубл. в БИ*. — 215. — № 31.]