

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ВЫСОКОПЛОТНЫХ МАССИВОВ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Алексей Васильевич Морозов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт горного дела им. Н. А. Чинакала» СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, научный сотрудник лаборатории вибротехники, тел. (383)205-30-30 доб.169, e-mail: alex02@ngs.ru

Самуил Яковлевич Левенсон

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт горного дела им. Н. А. Чинакала» СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вибротехники, тел (383)205-30-30 доб. 312, e-mail: lev@misd.ru

Одной из важнейших технологических операций при открытой разработке полезных ископаемых является отвалообразование. Постоянное увеличение глубины карьеров приводит к росту объемов вскрышных пород, которые доставляются на отвалы автотранспортом. Фракционный состав вскрышных пород разнообразен. В первые годы на отвалы вывозились рыхлые породы с верхних горизонтов в нижние ярусы отвалов, а в последующие годы – скальные породы. В связи с этим, из-за низкой прочности и устойчивости отвального массива обеспечить безопасные условия работы, как правило, не удастся. Обеспечить повышение безопасности проведения работ возможно за счет уплотнения слагающих его пород. На основе проведенного анализа технологий уплотнения дисперсных материалов с использованием известного оборудования предложено самоходное вибрационное устройство для формирования устойчивого отвального массива. Использование в конструкции устройства вибрационного рабочего органа, реализующего полигармонический режим колебаний, позволит расширить область его применения в технологических процессах при проведении открытых горных работ.

Ключевые слова: отвалообразование, вскрышные породы, вибрационное устройство для формирования устойчивого отвального массива, режим вибровоздействия, уплотнение, рабочий орган

WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF ENGINEERING PROCESSES WHEN FORMING HIGH-DENSITY ARRAYS OF DISPERSE MATERIALS

Alexey V. Morozov

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny prospect, Novosibirsk 630091, Russia, Researcher, Vibrotechnics Laboratory, office: +7 (383)205-30-30 ext.169, e-mail: alex02@ngs.ru

Samuil Y. Levenson

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny prospect, Novosibirsk 630091, Russia, Cand. Sci. (Eng.), Principal Researcher, Vibrotechnics Laboratory, office: +7 (383)205-30-30 ext. 312, e-mail: lev@misd.ru

One of the most important production operations in open pit mining is dumping. The depth of open pit mines increases constantly and the volume of overburden rocks also grows. Overburden is

truck-delivered to the dumps. Fractional composition of overburden is diverse. In the early years, loose rocks were transported to the dumps from the upper horizons to the lower levels of the dumps, and in subsequent years - hard rocks. In this view, due to the low strength and stability of the dump mass, it is usually not possible to provide safe working conditions. The mining safety can be increased due to the compaction of rocks composing the dump mass. Based on the analysis of technologies for compaction of dispersed materials using known equipment, a self-propelled vibration device is proposed for the formation of a stable dump mass. The use of a vibrating function element in the design, which implements a polyharmonic vibration mode, will expand the scope of its application during the open pit mining.

Keywords: dumping, overburden rocks, vibration device for forming stable dump mass, vibration effect, compaction, function element

При добыче полезных ископаемых на горных предприятиях широкое распространение получил открытый способ, обладающий рядом преимуществ в сравнении с подземной разработкой месторождений. Однако запасы руды и угля, залегающие в приповерхностном слое доступных для разработки участков Земли, практически израсходованы.

В России в настоящее время значительное число карьеров имеют глубину более 150 метров, и она будет только увеличиваться. Увеличение глубины карьеров влечет за собой увеличение объемов перемещаемых вскрышных пород. Использование самосвалов с повышенной грузоподъемностью позволяет интенсифицировать процесс проведения вскрышных работ. Однако применение оборудования, имеющего значительную собственную массу, ограничено, т.к. прочность и устойчивость отвального массива не позволяют обеспечить его безопасную эксплуатацию при формировании породных отвалов. Проблема безопасности на автоотвалах становится особенно актуальна в климатических условиях Сибири, где низкие температуры, большое количество осадков, сезонное промерзание и оттаивание породного массива оказывают отрицательное влияние на устойчивость отвалов [1, 2].

При доставке вскрышных пород на отвал автосамосвалами используют бульдозерный способ отвалообразования, который эффективен, когда разгрузка осуществляется под откос или вблизи бровки отвала, а оставшаяся часть породы сталкивается бульдозером [3]. При выполнении работ, как автосамосвал, так и бульдозер могут находиться в зоне возможного обрушения откоса отвала, что не обеспечивает безопасных условий эксплуатации тяжелой техники. На разрезах аварийные ситуации вблизи отвальной бровки с участием большегрузных автосамосвалов и бульдозеров, возникают ежегодно.

Повысить безопасность проведения работ при отсыпке отвала можно за счет уплотнения слагающих его пород.

Уплотнение широко используется в технологических процессах во многих отраслях промышленности. Этому процессу уделяется особое внимание, так как от качества уплотнения зависит конечный результат.

Используемые для уплотнения машины и механизмы разнообразны как по своему конструктивному исполнению, так и по принципу воздействия на

обрабатываемый массив. Постоянно совершенствуются их конструктивные схемы, усложняются режимы воздействия на материал. Оборудование, изготавливаемое разными фирмами, имеет однотипные конструктивные схемы и обладает близкими параметрами [2 - 6].

Анализ результатов исследований показывает, что среди большого разнообразия существующих методов уплотнения вибрационный является достаточно эффективным и сравнительно легко осуществимым [3-11]. Вибрация влияет на поведение уплотняемого материала, а проявляющиеся при ее воздействии реологические эффекты приводят к изменению сил трения и сцепления между частицами материала и, в целом, снижают сопротивление его деформированию.

Опыт создания ударных и вибрационных устройств [12, 13], который накоплен в ИГД СО РАН, служит базой для создания самоходных уплотняющих устройств, использование которых целесообразно на отвалах с неустойчивыми породами и слабым основанием.

Предложена технология отвалообразования с использованием вибрационного устройства для формирования устойчивого отвального массива, которое размещается на поверхности отвала (рис.1).

С помощью механизма передвижения 1 (рис.1а) устройство устанавливается на отвальном массиве таким образом, чтобы блок статической обработки 2 располагался вблизи неустойчивой зоны отвального массива 3, а катки механизма передвижения 1 опирались на его уплотненную устойчивую зону 4. При рабочем ходе перемещение устройства осуществляется по стрелке А (рис. 1а). Порода, доставленная на отвал автосамосвалами, сталкивается под откос отвала 5 блока статического уплотнения, а неустойчивая зона отвального массива уплотняется или обрушается за один или несколько циклов. Одновременно производится планировка поверхности отвального массива.

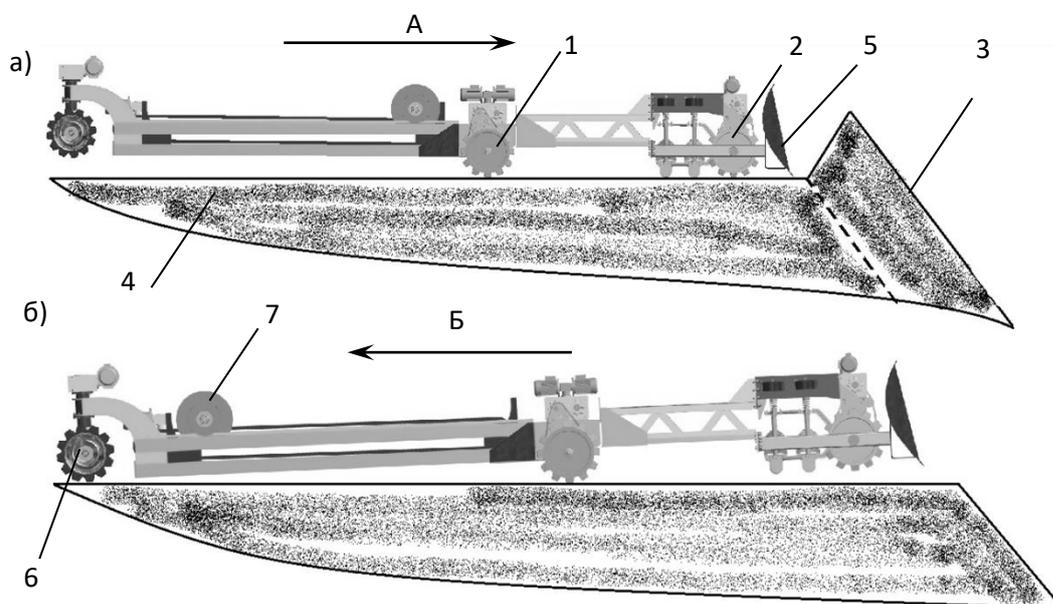
Для перестановки на соседний участок устройство приводится в транспортное положение (рис. 1б). При перемещении устройства (по стрелке А или Б) корректировка траектории его движения осуществляются изменением скорости вращения сдвоенных катков механизма передвижения 1. Повороты выполняются в транспортном положении при помощи механизма поворота 6, расположенного в хвостовой части устройства. Перевод из транспортного в рабочее положение осуществляется при помощи противовеса 7.

При обрушении материал заполняет нижерасположенное пространство отвала, увеличивая, также, как и уплотнение, его устойчивость за счет дополнительного подпора нижних слоев, залегающих в основании.

Работа устройства для формирования устойчивого отвального массива основана на формировании уплотненного массива в ограниченном пространстве, эффективность которого подтверждена при уплотнении дисперсных материалов. В качестве прототипа использована предложенная в ИГД СО РАН схема вибрационного устройства для уплотнения дисперсных материалов в ограниченном пространстве, новизна которой защищена патентами РФ [14, 15].

Эффективность предложенного способа уплотнения была подтверждена экспериментальными исследованиями [16], которые позволили установить, что

на плотность материала основное влияние оказывает ускорение колебаний, передаваемых сыпучей среде, причем, доминирующее значение имеет частота при гармоническом режиме колебаний виброблока.



1 – механизм передвижения, 2 – блок статической обработки, 3 – неустойчивая зона отвального массива, 4 – устойчивая зона отвального массива, 5 – отвал, 6 – механизм поворота, 7 – противовес

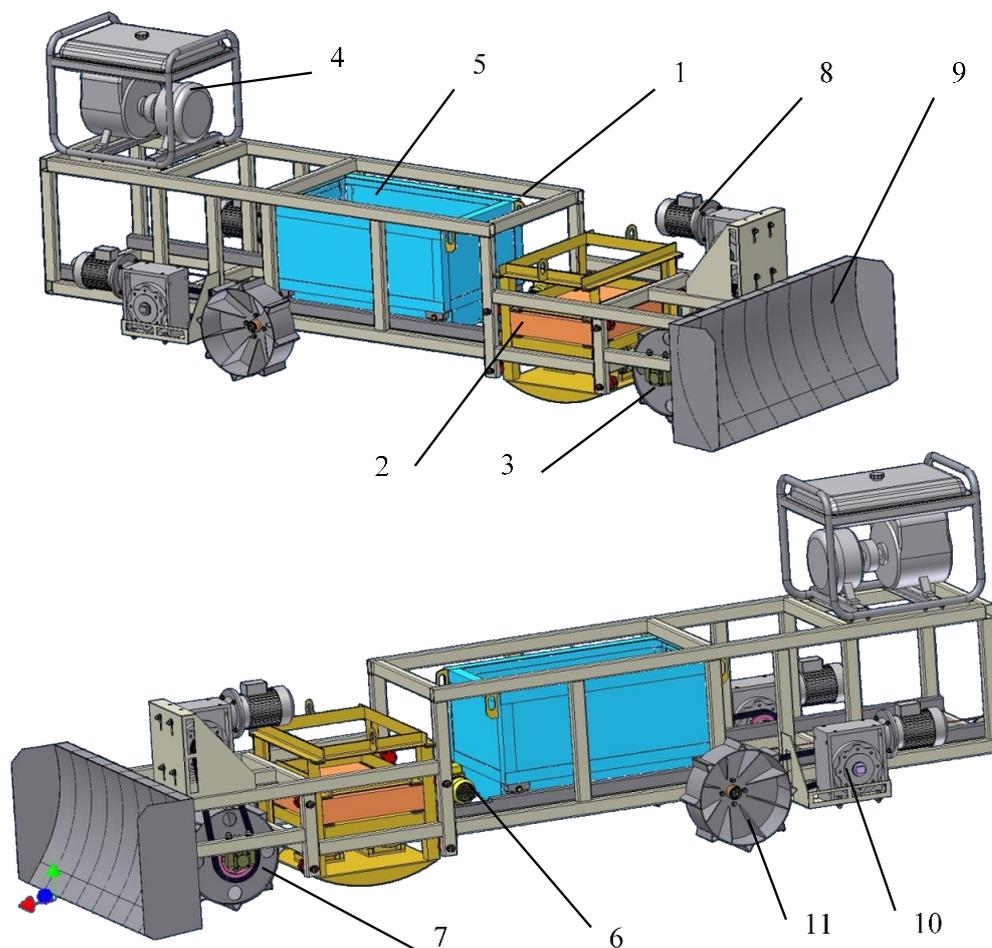
Рис. 1. Технология работы устройства для формирования устойчивого отвального массива

Также установлено, что реализация полигармонического режима работы уплотняющего рабочего органа обеспечивает его колебание, в котором присутствуют частоты, превышающие частоту вращения дебалансов при соизмеримой амплитуде. На плотность образуемого компакта материала оказывает влияние величина виброскорости высокочастотной составляющей в исследованном частотном диапазоне от 25 до 80 Гц, а также обеспечивается повышение плотности компакта на 10 – 15 % в сравнении с гармоническим режимом колебаний [17].

Используя результаты экспериментальных исследований была разработана конструкторская документация и изготовлен макетный образец вибрационного устройства для формирования устойчивого отвального массива. Общий вид разработанного устройства представлен на рисунке 2. Оно состоит из рамы 1, на которой смонтированы: блок динамической обработки 2, блок статической обработки 3, механизм перемещения, силовая установка 4 и противовес 5.

Рама 1 макетного образца выполнена в виде пространственной металлоконструкции, внутри которой размещается противовес 5. Противовес представляет собой емкость, которая может быть заполнена бетоном или любым другим материалом. Перемещение противовеса 5 внутри рамы 1 осуществляется при

помощи блочно-канатного привода 6 для перевода макетного образца в рабочее или транспортное положение.



1 –рама; 2 – блок динамической обработки; 3 – блок статической обработки с дополнительным механизмом перемещения; 4 – силовая установка; 5 – противовес; 6 - привод противовеса; 7 – приводное колесо; 8 – привод дополнительного механизма перемещения; 9 – отвал; 10 - привод ходового колеса; 11 – ходовое колесо

Рис. 2. Макетный образец устройства

Блок статической обработки 3 включает в себя приводное колесо 7 и дополнительный механизм перемещения 8. Приводное колесо 7 заполнено бетоном, что обеспечивает статическую нагрузку на обрабатываемый материал, а дополнительный механизм перемещения 8 при рабочем ходе устройства позволяет повысить тяговую способность устройства при сталкивании породы под откос и обеспечить движение без пробуксовок. Для планировки и сталкивания породы под откос в конструкции устройства предусмотрен отвал 9, который жестко крепится к раме и обеспечивает дополнительную статическую нагрузку на обрабатываемый материал. Блок динамической обработки 2 установлен с возможностью вертикального перемещения по направляющим относительно рамы 1.

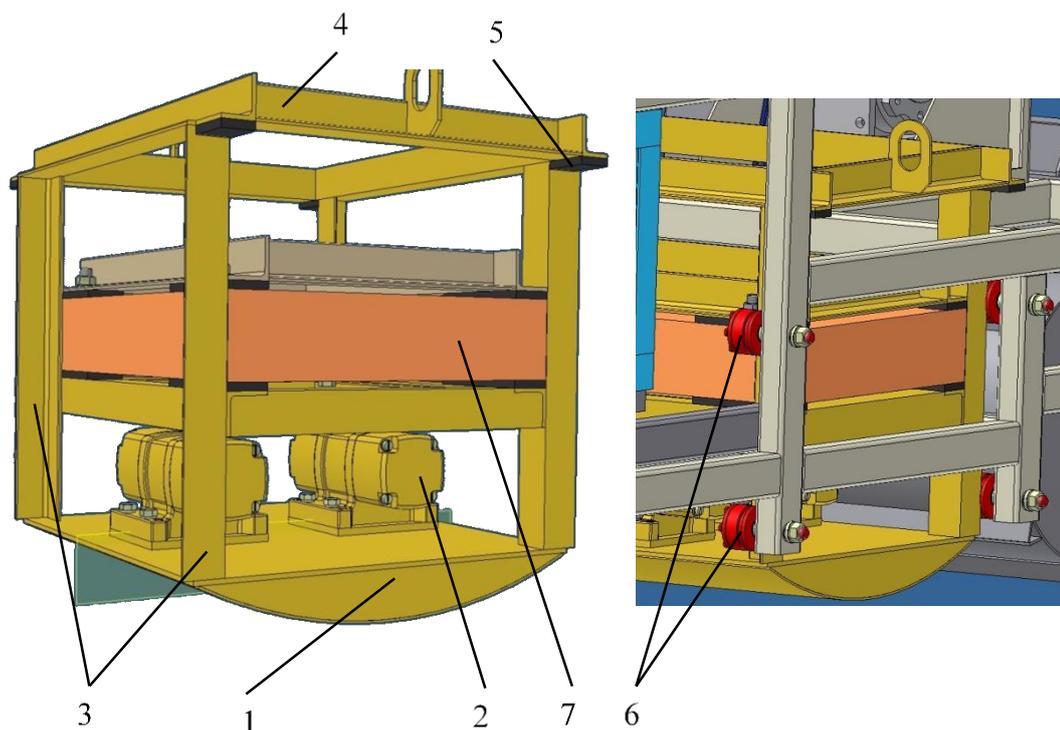
Для передвижения макетного образца предусмотрен механизм 10, состоящий из червячного мотор-редуктора и открытой цепной передачи, которая приводит в движение ходовое колесо 11. С каждой стороны рамы установлено по ходовому колесу, каждое из которых оборудовано своим независимым приводом. Регулирование частоты вращения ходовых колес осуществляется при помощи преобразователей частоты, что позволяет использовать механизм передвижения как механизм поворота. Для поворота вправо или влево необходимо при движении уменьшить частоту вращения того колеса, в какую сторону необходимо осуществить поворот.

Так как конструктивно механизм передвижения и блоки статической и динамической обработки располагаются на раме достаточной длины, во время воздействия на неустойчивую зону отвального массива блоком динамической обработки механизм передвижения остается в области устойчивой зоны отвального массива (за призмой возможного обрушения) и осуществляет ее дополнительное статическое уплотнение.

Ранее выполненные исследования показывают, что качество уплотнения повышается при использовании полигармонического привода. Идея создания полигармонического вибрационного привода изложена в работах И.И. Быховского [18]. Суть ее заключается в практическом использовании неравномерности вращения дебалансов центробежного вибровозбудителя. В результате возникают колебания, содержащее кроме основной частоты соизмеримую по амплитуде высокочастотную гармонику.

Для обеспечения полигармонического режима колебаний вибрационного рабочего органа в разрабатываемом устройстве необходимо обеспечить направленное движение источника колебаний с одной степенью свободы и упругое соединение с рамой.

Общий вид блока динамической обработки показан на рисунке 3. На уплотняющей плите 1 установлены два вибровозбудителя 2 с круговой вынуждающей силой. Такая установка вибровозбудителей способствует созданию направленной силы при вращении валов дебалансов в противоположные стороны, так как гасится горизонтальная составляющая колебаний. К уплотняющей плите крепятся четыре направляющие стойки 3, которые сверху объединены жестким поясом 4 с подъемными проушинами. Снизу к верхнему поясу крепятся амортизирующие прокладки 5, которыми виброблок опирается на раму установки в транспортном положении. Направленность колебаний виброблока обеспечивается за счет установки направляющих стоек 3 виброблока в направляющие ролики 6 рамы. После установки виброблока в раму ролики плотно поджимаются к направляющим стойкам и при помощи болтового соединения фиксируются в таком положении. Такая фиксация блока в раме обеспечивает возможность только вертикального перемещения виброблока относительно рамы, тем самым создаются условия для получения полигармонического режима колебаний.



1 – уплотняющая плита; 2 – вибровозбудитель; 3 – направляющая стойка; 4 – верхний пояс с подъемными проушинами; 5 – упругие опоры; 6 – направляющие ролики; 7 – дополнительная масса

Рис. 3. Конструктивное исполнение блока динамической обработки

Таким образом, чтобы обеспечить полигармонический режим колебаний необходимо обеспечить упругую связь виброблока с дополнительной массой 7, которая соединена с ним через упругие опоры. Из-за существенной разницы масс виброблока и рамы устройства последнюю можно считать неподвижной.

Поскольку технически сложно обеспечить резонансный режим только изменением конструктивных параметров системы (жесткость упругих элементов, масса), предусмотрена подстройка системы в резонанс за счет изменения в небольших пределах основной частоты вибровозбудителя с помощью преобразователя частоты.

Реализация полигармонического режима колебаний позволяет использовать серийные вибровозбудители с меньшей частотой вращения вала дебалансов и, как следствие, осуществлять уплотнение с меньшими энергозатратами и механическими нагрузками на механизм, что существенно повысит надежность работы вибропривода.

Лабораторные испытания макетного образца устройства для формирования устойчивого отвального массива проводились на полигоне ИГД СО РАН «Зеленая горка».

Для проверки работоспособности предложенной схемы устройства для формирования устойчивого отвального массива решено было осуществить рабочий цикл, который включает в себя срезание и сталкивание породы под откос отвала. Для этого была подготовлена яма, на краю которой был уложен материал, имитирующий породу. При сталкивании материала был включен виброблок, который осуществлял уплотнение.

В ходе проведения испытаний макетный образец уверенно осуществлял сталкивание материала под откос и уплотнение выровненного участка сталкиваемой породы.

Использование экспериментальных данных позволяет подобрать режим вибровоздействия на отвальный массив и тем самым повысить его устойчивость по средством его уплотнения.

Испытания макета подтвердили предположение, что при возникновении в процессе работы деформации отвального массива (трещины, закола, оползня) существует опасность повреждения только устройства для формирования устойчивого отвального массива, которое может работать в автоматическом режиме. Но учитывая, что его стоимость в несколько раз меньше стоимости автосамосвала, а также конструктивную «живучесть» установки и отсутствие в опасной зоне людей, последствия любой, самой серьезной аварийной ситуации несравнимы с последствиями аварий автосамосвалов с водителями.

Закономерности и зависимости, полученные в предшествующие отчетные периоды, позволили разработать конструктивную схему вибрационного устройства для формирования устойчивого отвального массива с использованием источника полигармонической вынуждающей силы и изготовить его макетный образец. В предлагаемом устройстве реализуется метод уплотнения материала в ограниченном объеме, эффективность которого подтверждена в лабораторных и промышленных условиях.

Полученный результат позволяет разработать конструкцию промышленного образца устройства для безопасного и эффективного формирования устойчивого отвального массива без использования бульдозера и при отсутствии людей в опасной зоне.

Работа выполнена в рамках научного проекта ФНИ № гос. регистрации АААА-А17-117122090003-2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Интенсификация погрузочно-транспортных работ на карьерах / С. Г. Молотиллов, Е. И. Васильев, О. Б. Кортелев и др. – Новосибирск: Из-во СО РАН, 2000. – 208 с.
2. Вибрации в технике: Справочник. Т.4. Вибрационные процессы и машины/. Под ред. Э.Э. Лавендела– М.: Машиностроение, 1981.– 509 с.
3. Бауман В.А. Вибрационные машины и процессы в строительстве. – М.: "Высшая школа", 1977. – 255 с.
4. Блехман И.И. Теория вибрационных процессов и устройств. Вибрационная механика и вибрационная техника. СПб.: Изд. «Руда и Металлы», 2013. — 640 с.

5. Зубкин В.Е., Коновалов В.М., Королев Н.Е. Способ нагнетающей укатки и классические дорожные катки // Строительные и дорожные машины – 2001 – № 3 – С. 12 – 15.
6. Егоров А.Н., Насковец А.М., Мариев П.Л. Карьерный самосвал БЕЛАЗ-75710 грузоподъемностью 450 тонн // Актуальные вопросы машиноведения – 2013. – Т. 2. – С. 18–20
7. Применение вибрационной техники с бигармоническим режимом колебаний при обогащении углей [Текст] / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, С.Л. Букин и др. // Уголь Украины, май 2011. - С. 41-44.
8. Букин, В.П. Кондрахин, В.Н. Беловодский, В.Н. Хоменко Возбуждение полигармонических колебаний в одномассовой вибромашине с инерционным приводом и упругой муфтой // ФТПРПИ. – 2014. – №4. – С. 103–110.
9. Левенсон С. Я., Гендлина Л. И., Морозов А. В., Усольцев В. М. Совершенствование процесса формирования автоотвалов при открытой разработке полезных ископаемых // ГИАБ – 2016. – № 1. – С. 96–105
10. Блехман И.И. Теория вибрационных процессов и устройств. Вибрационная механика и вибрационная техника / И.И. Блехман – СПб.: Изд. «Руда и Металлы», 2013. – 640 с.
11. Захаренко А.В. Теоретические и экспериментальные исследования процессов уплотнения катками грунтов и асфальтобетонных смесей: Дисс. докт. техн. наук: 05.05.04 Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия. – Омск, 2005. –320 с.
12. Патент на полезную модель № 88004 В65G27/00. Вибрационный отвалообразователь / Левенсон С. Я., Гендлина Л. И., Еременко Ю. И., Морозов А. В., Протасов С. И., Голдобин В. А. – 2009. – 2 с.
13. Патент на полезную модель № 121800 В65G27/00. Вибрационный отвалообразователь / Левенсон С. Я., Гендлина Л. И., Усольцев В. М., Голдобин В. А., Морозов А. В. – 2012.
14. Патент РФ 2296819. МПК8 С 25 С 3/06, С 25 С 3/08 Способ формирования бесшовных футеровочных слоев в алюминиевых электролизерах и устройство для его осуществления/ А.В. Прошкин, В.В. Пингин, В.С. Тимофеев, С.Я. Левенсон., Л.И. Гендлина, Ю.И. Еременко, В.А. Голдобин. № 20051266100/02; заявл. 17.08.2005; – опубл.10.04.2007, Бюл.№ 10
15. Патент РФ № 2553145. МПК8 С 25 С 3/08 Способ футеровки катодного устройства электролизера неформованными материалами и устройство для его осуществления / Прошкин А.В., Левенсон С.Я., Пингин В.В., Морозов А.В. – БИ № 16 от 10 июня 2015 г.
16. Гендлина Л.И. Результаты исследования процесса уплотнения дисперсных материалов вибрационным способом / Л.И. Гендлина, С.Я. Левенсон С.Я., Ю.И. Еременко, В.В. Виданов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М, 2011. – № 8 – С. 255–259
17. Morozov A.V., Usoltsev V.M. Compaction of dispersed granular material by a vibratory compactor with polyharmonic oscillation exciter // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science [Electronic resource]. – 2020. – Vol. 523 – doi:10.1088/1755-1315/523/1/012003.
18. Быховский И.И. Основы теории вибрационной техники / И.И. Быховский – М.: Машиностроение, 1968. – 362 с.

© А. В. Морозов, С. Я. Левенсон, 2021