

УДК 622.271

**НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ БЕЗВЗРЫВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ  
РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ**

**С. Я. Левенсон<sup>1</sup>, М. А. Ланцевич<sup>1</sup>, Л. И. Гендлина<sup>1</sup>, А. Н. Акишев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: lev@nsc.ru,*

*Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт “Якутнипроалмаз” АК “АЛРОСА” (ПАО),*

*ул. Ленина, 39, г. Мирный, 678175, Республика Саха (Якутия), Россия*

Обоснованы технология и оборудование, позволяющие отказаться от буровзрывных работ при добыче полезных ископаемых открытым способом. Рассмотрена возможность использования бункерных перегрузочных пунктов с вибрационным выпуском при комбинированном автомобильном транспорте, а также вибрационной техники на автомобильных породных отвалах.

*Глубокий карьер, струг с молотковым ротором, комбинированный транспорт, перегрузочный пункт, бункер, вибропитатель, автомобильный отвал, безопасность, отвалообразователь, уплотнитель отвального массива*

Анализ опыта добычи полезных ископаемых показывает, что в настоящее время широко применяется открытый способ, обладающий преимуществами в сравнении с подземной разработкой месторождений. Из общего объема мировой добычи минерального сырья на долю карьеров приходится почти 75 %, и этот уровень с большой вероятностью будет поддерживаться и дальше. В России открытым способом добывается более 65 % угля, до 80–90 % руд черных и цветных металлов, золота, алмазов и строительных материалов.

Традиционно используемое выемочно-погрузочное оборудование карьеров обеспечивает эффективную выемку горных пород прочностью на сжатие до 15–20 МПа. Более крепкие геоматериалы извлекаются после их предварительного разрушения или разупрочнения. Основным способом подготовки пород к выемке является взрывной, которому изначально присущ ряд недостатков: высокий уровень потерь и разубоживания полезного ископаемого, особенно при разработке сложноструктурных залежей, повышенная опасность, большое количество вспомогательных операций, а также сложность организации производства, высокая стоимость, отрицательное воздействие на окружающую среду. В ряде случаев непосредственно взрывные работы ухудшают качественные характеристики исходного сырья (алмазы, карбонатные породы и т. п.).

По мнению академиков В. В. Ржевского и К. Н. Трубецкого, к наиболее актуальным и важным задачам современной горной науки в области открытой разработки месторождений полезных ископаемых следует отнести создание инновационных энерго- и ресурсосберегающих технологий и оборудования на основе новых способов разрушения горных пород. Перспективным направлением является создание безвзрывных технологий открытых горных работ и соответствующих технических средств [1]. Актуальность исследований, направленных на решение этих

задач, постоянно возрастает в связи с современной тенденцией роста глубины карьеров, ужесточением экологических требований к горному производству, а также необходимостью вовлечения в отработку запасов, находящихся в зонах с ограничениями на проведение буровзрывных работ.

Экономически оправданная разработка месторождений полезных ископаемых глубокими и сверхглубокими карьерами возможна в том случае, если обеспечить увеличение генерального угла борта карьера и сформировать безопасные и эффективные транспортные системы. От угла наклона борта зависит объем вскрышных работ, а следовательно, и себестоимость добычи. Исследования показывают, что повышение этого угла на  $1^\circ$  позволяет сократить объем вскрышных работ на 4% и иметь дополнительные запасы полезного ископаемого в контуре карьера [2]. Увеличить угол можно за счет изменения конструкции борта с помощью специального оборудования. Проблема заключается в том, что существующая техника (экскаваторы-мехлопаты, фрезерные комбайны) дает возможность формировать уступы высотой не более 10–15 м, при этом на верхнем участке откоса может оставаться опасный “kozyрек”. Чаще всего эта высота не превышает 10 м, и при разработке месторождений глубокими карьерами рекомендуется переход на сдвоенные или строенные уступы, что снижает устойчивость борта и требует проведения мероприятий по укреплению откосов. Кроме того, увеличению генеральных углов препятствует использование взрывного способа подготовки пород к выемке, так как крупномасштабное разрушение породного массива, характерное для взрывной отбойки, отрицательно влияет на устойчивость бортов карьера.

В Институте горного дела СО РАН активно ведутся исследования, связанные с созданием безвзрывных технологий [3–8], которые не вызывают негативных последствий, характерных для взрывной отбойки, и значительно снижают затраты на добычу полезных ископаемых открытым способом. Анализ известных способов разрушения горных пород показал, что среди безвзрывных наименее энергоемким является разрушение ударом, что подтверждается результатами, показанными на рис. 1 [7]. Механические способы — удар и резание, как наименее энергоемкие и наиболее освоенные промышленностью, следует применять при создании рабочих органов новых машин для реализации безвзрывных технологий выемки горных пород с пределом прочности на сжатие более 100 МПа.

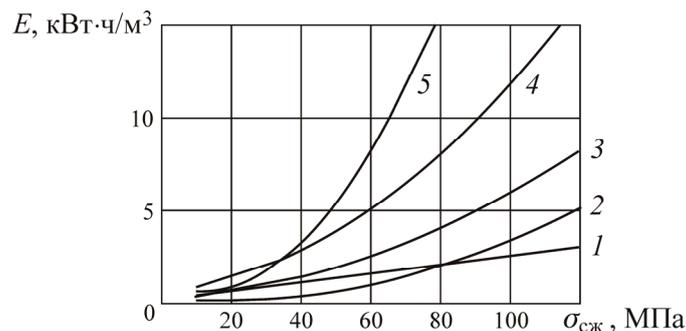


Рис. 1. Зависимости удельной энергоемкости разрушения горных пород от их прочности: 1 — взрывной способ разрушения; 2 — послонное ударное разрушение; 3 — повторно-блокированное резание дисковыми шарошками; 4 — резание вращающимися тангенциальными резцами; 5 — свободное резание шарошками [7]

В ИГД СО РАН выполнены работы по оснащению ковшей экскаваторов ударными зубьями. Результаты эксплуатации экскаваторов с такими ковшами в различных горнотехнических условиях подтвердили их работоспособность при разработке пород прочностью на сжатие до 60 МПа. Предложено также устанавливать на экскаватор активный исполнительный орган, выполненный из роторов-барабанов, размещенных на общей оси, которая закреплена на головной части ком-

байна (рис. 2). В полости ротора располагается привод вращения. К обечайке ротора (к его цилиндрической поверхности) диаметрально противоположно друг другу крепятся два ковша, передняя стенка которых оснащена ударными и статическими зубьями. Разработка забоя осуществляется за счет вращения ротора при непрерывном поступательном движении экскаватора.

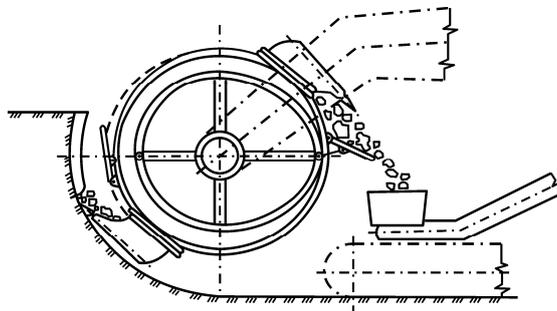


Рис. 2. Активный ротор (вид сбоку)

С 80-х годов прошлого столетия в мировой практике открытых горных работ наметилось новое направление развития техники — создание и внедрение машин послойного фрезерования (горных комбайнов). Этот класс машин позволил значительно повысить удельные силовые параметры выемочно-погрузочного оборудования непрерывного действия, расширив возможности безвзрывной выемки. Как показала эксплуатация данного оборудования, вращающиеся резцы с твердосплавной вставкой способны разрушать породы прочностью на сжатие до 100–120 МПа при удельной энергоемкости разрушения  $H_w = 2.0–2.2$  кВт·ч/м<sup>3</sup>, что в 5–6 раз превосходит аналогичный показатель роторных экскаваторов. Это дало возможность применить безвзрывную экскавацию горных пород прочностью на сжатие 70–80 МПа (с отдельными включениями и тонкими прослоями 100–120 МПа).

На рис. 3 представлена зависимость [8] расчетной величины технической производительности  $P$  устройств, применяемых в ковшах активного ротора, от прочности разрабатываемых пород при частоте ударных импульсов  $n$ , равных 8, 10, 12 Гц, и та же зависимость для машины KSM-2000R с режущим исполнительным органом. Сравнение приведенных результатов показывает, что при оснащении фрезерной машины активным ротором можно получить более высокую производительность при безвзрывной разработке пород средней крепости.

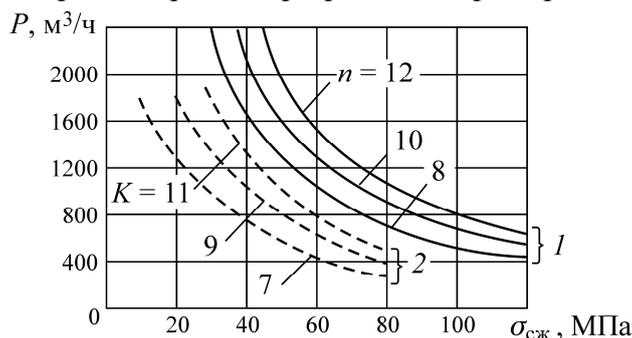


Рис. 3. Зависимости технической производительности  $P$  от прочности на сжатие разрабатываемых горных пород  $\sigma_{сж}$ ; выемочные машины: 1 — с активным ротором; 2 — KSM-2000R;  $K$  — коэффициент хрупкости [8]

Однако базовые машины (ЭКГ-5), оборудованные ковшами активного действия и активными роторами, и фрезерные комбайны не предназначены для формирования высоких уступов, поэтому применение их для этой цели неэффективно.

Настоящая работа направлена на создание безвзрывной технологии добычи полезных ископаемых глубокими карьерами, основанной на увеличении генеральных углов бортов карьера и направленной на повышение безопасности и эффективности горных работ. Это становится возможным при использовании:

- нового способа послойного разрушения горных пород в наклонной плоскости высокого рудного или породного уступа и оборудования, разработанного для этой цели;
- транспортной системы, предусматривающей формирование на нижних уступах концентрационных горизонтов с вибрационными бункерными перегрузочными пунктами;
- нового безопасного способа формирования породных автомобильных отвалов с помощью вибрационного оборудования.

#### НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОСЛОЙНОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

В ИГД СО РАН предложены принципиально новая технология и оборудование для послойного инерционно-ударного разрушения горных пород в наклонной плоскости рудного или породного уступа.

Для реализации технологии используется струг, рабочий орган которого выполнен в виде молоткового ротора (рис. 4).

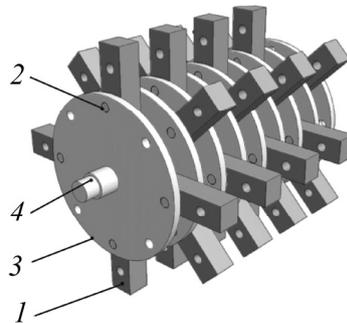


Рис. 4. Общий вид молоткового ротора

Молотки ротора *1*, свободно подвешенные на осях *2*, размещены между дисками *3*, жестко закрепленными на валу *4*. Отбойка горной массы осуществляется в поверхностном слое откоса за счет кинетической энергии вращающихся молотков.

Технологическая схема отработки уступов высотой 30 м с применением струга с молотковым ротором и обрушением руды на нижнюю площадку показана на рис. 5а. В исходном положении струг располагают на таком расстоянии от бровки откоса, которое необходимо по условию обеспечения заданной глубины отбойки. Стрелу поворачивают на требуемый угол и выполняют разрушение слоя горной породы откоса вплоть до нижней площадки. Ширина отбиваемого слоя породы соответствует ширине молоткового ротора. Затем включается механизм передвижения и самоходная платформа струга передвигается вдоль кромки уступа на новую позицию, удаленную от исходной на ширину ротора. Далее циклы работы струга повторяются до отработки заходки на всю длину.

Следует отметить, что оборудование позволяет проводить отбойку горной породы на откосе уступа с углом наклона до 90°. Выемка разрыхленной горной массы осуществляется колесным погрузчиком, транспортирование — автосамосвалами на внешние отвалы или обогатительную фабрику.

Такая технология дает возможность значительно уменьшить зону техногенного разрушения по сравнению с буровзрывным способом. Кроме того, при воздействии на геоматериалы молотковым ротором исключается возможность образования негабаритов и крупных кусков, подлежащих обработке на стадии первичного дробления при обогащении.

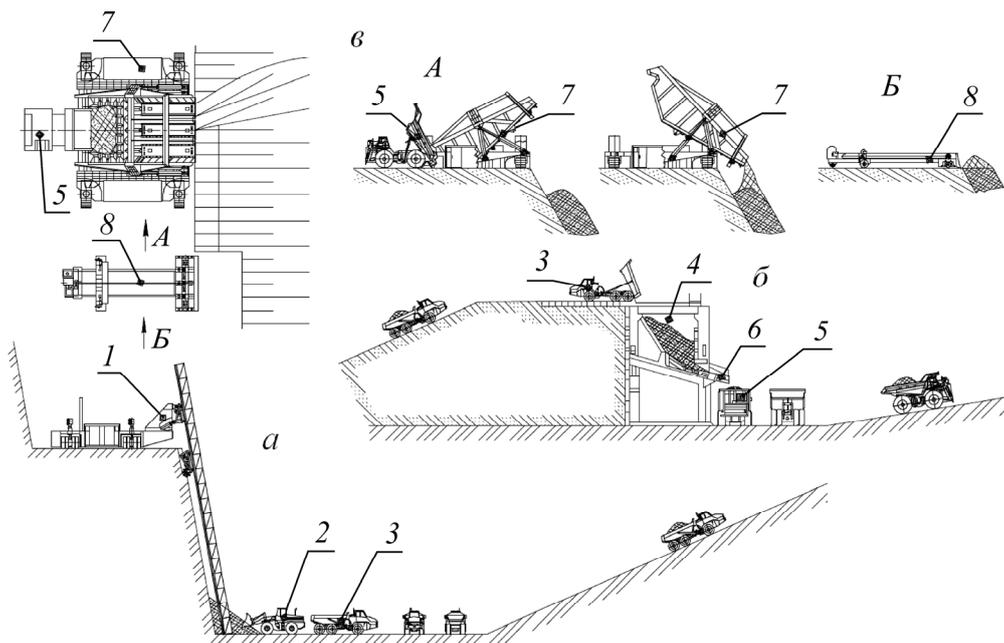


Рис. 5. Схема технологического процесса отработки глубокого карьера: *а* — с применением струга с молотковым ротором и обрушением руды на нижнюю площадку; *б* — бункерные эстакады большой емкости с принудительным выпуском горной массы; *в* — самоходный вибрационный отвалообразователь

Экономические расчеты по обоснованию целесообразности отработки рудных и породных уступов высотой 30 м с использованием предлагаемой технологии на одном из действующих карьеров (в сравнении с буровзрывным способом разрушения) показали, что удельные затраты на добычу руды могут быть уменьшены более чем в 10 раз. Такой экономический эффект достигается за счет исключения буровых и взрывных работ.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ НА КАРЬЕРАХ

Увеличить угол наклона борта карьера можно также за счет формирования на нижних уступах концентрационных горизонтов. При этом в зоне интенсивного углубления карьера целесообразно применять шарнирно-сочлененные и гусеничные автосамосвалы относительно небольшой грузоподъемности, способные маневрировать на ограниченных по размеру рабочих площадках и преодолевать в груженом состоянии уклоны до 45 % [2]. Последующая перегрузка в магистральные карьерные автосамосвалы потребует создания на стыках технологических звеньев перегрузочных пунктов. Бункерные эстакады большой емкости с принудительным выпуском горной массы устанавливаются в узлах перегрузки (рис. 5б). Анализ технических средств для выпуска сыпучих материалов из различных емкостей выявил существенные преимущества вибрационной техники.

В ИГД СО РАН выполняются исследовательские работы, направленные на создание вибрационных машин, в том числе и для открытых горных работ [9–11]. Эти машины отличаются простотой конструктивного исполнения, сравнительно малой металло- и энергоемкостью, надежной работой в тяжелых условиях горного производства. Вибропитателями “Волна-8” оборудован бункерный перегрузочный пункт, предназначенный для использования при комбинированном автомобильно-железнодорожном транспорте. Он успешно прошел испытания на разрезе им. Вахрушева в Кузбассе. Испытания показали, что бункерные эстакады с вибровыпуском обеспечивают хорошее управление процессом и высокую скорость загрузки думпкара с одной

стоянки, при этом доказана возможность применения бункерных перегрузочных пунктов для других комбинаций транспорта, например для перегрузки горной массы из забойных в магистральные автосамосвалы.

При финансовой поддержке Министерства образования и науки проведены исследовательские и конструкторские работы, связанные с созданием вибрационного отвалообразователя. Выполнены исследования динамики протяженного упругого рабочего органа с самосинхронизирующимися вибровозбудителями. Определены условия существования устойчивого противофазного синхронного режима, а также факторы, влияющие на время установления режима и его стабильность. Полученные результаты необходимы при проектировании вибротранспортирующего устройства — рабочего органа вибрационного отвалообразователя, экспериментальный образец которого успешно испытан в лабораторных условиях.

На действующих карьерах большой глубины и производительности возникает задача поддержания темпа углубления горных работ, одним из путей решения которой является использование автосамосвалов повышенной грузоподъемности, что оказывает существенное негативное влияние на устойчивость отвального массива. Результаты проводимых исследований показывают [12], что рост грузоподъемности современных автосамосвалов (чрезмерный в ряде случаев) требует отдаления места их разгрузки от кромки откоса на значительное расстояние, при этом, как следствие, увеличивается объем бульдозерных работ. Для его уменьшения целесообразно осуществлять разгрузку автосамосвалов либо под откос, либо в непосредственной близости от кромки откоса отвального яруса. Это наиболее опасная зона отвала, где происходят деформации массива (заколы, обрушения, оползни), приводящие к нарушению технологического процесса добычи, выходу из строя дорогостоящей техники и даже гибели людей. Такая ситуация особенно характерна для горных предприятий северных регионов, где из-за сезонного промерзания и оттаивания отвального массива, большого количества осадков возможность возникновения чрезвычайной ситуации становится в ряде случаев непредсказуемой.

Для эффективной и безопасной работы современных автосамосвалов большой грузоподъемности при формировании отвалов в ИГД СО РАН разработан самоходный вибрационный отвалообразователь [13, 14] (рис. 5в). Он устанавливается на поверхности отвального яруса так, чтобы разгрузочный участок его грузонесущего органа располагался за кромкой откоса. Автосамосвалы разгружаются в приемную емкость отвалообразователя, после чего доставленная порода перемещается под откос отвала. Размеры отвалообразователя обеспечивают размещение места разгрузки автосамосвала за границей призмы возможного обрушения.

С помощью программы CP-DEM проведены исследования эволюции напряженно-деформированного состояния насыпного массива в процессе его формирования с помощью отвалообразователя [15]. По результатам расчетов, наиболее опасным с точки зрения потери бортом отвала устойчивости является последний этап цикла его нагружения — выгрузка породы из отвалообразователя. Влияние на устойчивость массива динамических нагрузок, возникающих в ходе обрушения породы из кузова самосвала в отвалообразователь, относительно невысокое. Основная опасность связана с перемещением центра масс наполненного породой ковша отвалообразователя из его начального положения в разгрузочное.

Расчетами получены критические значения сцепления для слоев массива, при которых на всех стадиях нагружения отвал сохраняет устойчивость. Последняя, как установлено, при всех прочих равных условиях уменьшается с ростом высоты насыпи.

Повысить безопасность работ при формировании отвала можно за счет уплотнения слагающих его пород самоходным вибрационным уплотняющим устройством [16] (рис. 5в). С помощью этого устройства порода, доставленная на отвал автосамосвалами, уплотняется (или

обрушается под откос), и одновременно проводится планировка поверхности отвального массива. При обрушении материал заполняет расположенное ниже пространство отвала, увеличивая его устойчивость благодаря дополнительному подпору нижних слоев, залегающих в основании. Задние колеса автосамосвала при его разгрузке будут опираться на устойчивую зону отвального массива (вне призмы возможного обрушения), что уменьшает вероятность возникновения аварийной ситуации при внезапном развитии закола или оползня.

Наиболее безопасные условия эксплуатации большегрузных автосамосвалов на породных отвалах могут быть обеспечены при совместной работе самоходного вибрационного отвалообразователя и самоходного вибрационного уплотняющего устройства. Это позволяет отказаться от использования бульдозера в опасной приконтурной зоне отвала и исключить возможность возникновения аварийных ситуаций с его участием.

Таким образом, разработка вскрытых месторождений полезных ископаемых глубокими и сверхглубокими карьерами может осуществляться по следующей схеме (рис. 5).

Струг с молотковым ротором 1 (рис. 5а) производит послойное разрушение горных пород в наклонной плоскости уступа. Отбитая горная масса обрушается на нижнюю площадку, колесным фронтальным погрузчиком 2 загружается в гусеничные или шарнирно-сочлененные автосамосвалы 3 и доставляется в бункер 4 (аккумулирующую емкость) перегрузочного пункта (рис. 5б).

Прибывающие на перегрузочный пункт большегрузные магистральные автосамосвалы 5 загружаются из аккумулялирующей емкости с помощью вибрационных питателей 6, размещенных в днище бункера, и доставляют геоматериал на внешний отвал, оснащенный оборудованием для безопасного формирования отвального массива: вибрационным отвалообразователем 7 (рис. 5в) и вибрационным уплотняющим устройством 8. Если аккумулялирующая емкость перегрузочного пункта заполнена рудой, то она доставляется на обогатительную фабрику.

Предлагаемая технология дает возможность сформировать эффективную транспортную систему, снизить затраты на добычу полезных ископаемых и обеспечить безопасные условия производства горных работ.

## **ВЫВОДЫ**

Использование стругов с молотковым ротором позволит отказаться от выполнения буровзрывных работ, увеличить углы наклона бортов и, как следствие, уменьшить удельные затраты на добычу руды более чем в 10 раз.

При интенсивном углублении карьера целесообразно применять комбинированный автомобильный транспорт и создавать на концентрационных горизонтах бункерные перегрузочные пункты с вибрационным выпуском горной массы.

Наиболее безопасное формирование устойчивого отвального массива может быть выполнено с помощью вибрационного отвалообразователя совместно с вибрационным уплотняющим устройством.

Предлагаемое принципиально новое горное оборудование послужит основой при создании эффективных и безопасных технологий и транспортных систем для разработки глубоких горизонтов карьеров.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ржевский В. В., Трубецкой К. Н. Задачи горной науки в области открытой разработки месторождений полезных ископаемых // Горн. журн. — 1988. — № 1. — С. 21–23.
2. Акишев А. Н., Зырянов И. В., Заровняев Б. Н. и др. Формирование рабочей зоны глубоких кимберлитовых карьеров. — Новосибирск: Наука, 2015. — 204 с.

3. **Федулов А. И., Лабутин В. Н.** Ударное разрушение мерзлых грунтов и горных пород // ФТПРПИ. — 1995. — С. 57–61.
4. **Маттис А. Р., Кузнецов В. И., Васильев Е. И. и др.** Экскаваторы с ковшом активного действия: Опыт создания, перспективы применения. — Новосибирск: Наука, 1996. — 174 с.
5. **Кузнецов В. И., Маттис А. Р., Ташкинов А. С. и др.** Эффективность экскавации вскрышных пород на карьерах при использовании безвзрывной технологии // ФТПРПИ. — 1997. — № 5. — С. 100–107.
6. **Маттис А. Р., Зайцев Г. Д.** Создание экскаватора большой единичной мощности для безвзрывной разработки горных пород // ФТПРПИ. — 2000. — № 6. — С. 47–52.
7. **Маттис А. Р., Ческидов В. И., Яковлев В. Л. и др.** Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. — 337 с.
8. **Маттис А. Р., Лабутин В. Н., Ческидов В. И.** К созданию активного ротора для машин послыоного фрезерования // ФТПРПИ. — 2008. — № 2. — С. 95–102.
9. **Тишков А. Я., Гендлина Л. И., Еременко Ю. И., Левенсон С. Я.** Вибрационное воздействие на сыпучую среду при выпуске ее из емкости // ФТПРПИ. — 2000. — № 1. — С. 55–61.
10. **Гендлина Л. И., Еременко Ю. И., Куликова Е. Г., Левенсон С. Я.** Совершенствование процесса вибрационного выпуска связных материалов из емкости // Горн. оборудование и электромеханика. — 2006. — № 7. — С. 42–45.
11. **Левенсон С. Я., Гендлина Л. И., Глотова Т. Г., Алесик М. Ю., Морозов А. В.** Энергосберегающие вибрационные устройства для выпуска связных материалов из емкостей на предприятиях горной промышленности // Горн. оборудование и электромеханика. — 2010. — № 10. — С. 8–12.
12. **Бондаренко Г. И.** К вопросу управления оползанием отвалов в районах криолитозоны // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: конф. с участием иностр. ученых. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2005. — С. 483–487.
13. **Левенсон С. Я., Гендлина Л. И., Морозов А. В., Усольцев В. М.** О формировании автомобильных отвалов при открытой разработке полезных ископаемых // ГИАБ. — 2014. — № 7. — С. 50–54.
14. **Левенсон С. Я., Гендлина Л. И.** Проблема безопасности при формировании породных отвалов и создание технических средств для ее решения // ФТПРПИ. — 2014. — № 5. — С. 168–174.
15. **Крамаджян А. А., Русин Е. П., Стажевский С. Б., Хан Г. Н.** Об устойчивости формируемого автосамосвалом и отвалообразователем борта отвала // Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология: тр. IX Междунар. науч. конф. — Новосибирск: СГГА, 2013. — С. 87–92.
16. **Пат. 143141 РФ.** Устройство для формирования отвального массива / С. Я. Левенсон, Л. И. Гендлина, В. М. Усольцев, А. В. Морозов, В. А. Голдобин, М. А. Ланцевич // Опул. в БИ. — 2014. — № 20.

*Поступила в редакцию 11/VI 2016*