

УДК 622.271

**ПРОБЛЕМА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ
И СОЗДАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЕЕ РЕШЕНИЯ**

С. Я. Левенсон, Л. И. Гендлина

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

Представлен анализ технических средств, используемых для повышения безопасности ведения работ при формировании автоотвалов. Показано новое решение этой проблемы с использованием вибрационного отвалообразователя.

Породный отвал, неустойчивый отвальный массив, безопасность, вибрационный отвалообразователь, вибрационный питатель

ВВЕДЕНИЕ

При открытом способе разработки месторождений, которым в настоящее время добывается более 70 % общих объемов полезных ископаемых в мире, существенное влияние на эффективность всего процесса добычи оказывает отвалообразование вскрышных пород.

Наибольшее количество горной массы доставляется на отвалы автомобильным транспортом, но при этом не всегда удается обеспечить безопасность проведения отвальных работ. Проблема безопасности особенно актуальна в климатических условиях тех регионов, где низкие температуры, большое количество осадков, сезонное промерзание и оттаивание отвального массива оказывают отрицательное влияние на его устойчивость. Кроме того, в связи с ростом грузоподъемности автосамосвалов существенно увеличиваются нагрузки, особенно негативно сказывающиеся на отвалах, сформированных из пород с низкими прочностными характеристиками. Факторы, снижающие устойчивость отвала, могут спровоцировать возникновение оползней, которые приводят к выходу из строя дорогостоящего оборудования, не исключаются и человеческие жертвы.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОТВАЛОВ

На карьерах, где используется автотранспорт, формирование отвалов чаще всего осуществляют с применением бульдозеров. Автосамосвалы разгружаются вблизи бровки отвала или под откос по периферии отвального фронта, оставшаяся часть породы сталкивается под откос бульдозером [1, 2]. При этом важно создать безопасные условия работы автосамосвалов в момент их подъезда к бровке отвального уступа и при разгрузке, для чего применяют различные сто-

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (ГК № 14.740.11.0191 от 15 сентября 2010 г.).

порные устройства. Однако эти устройства громоздки, неудобны в эксплуатации и не обеспечивают полной безопасности работы автосамосвала. Чаще на отвалах используется предохранительный вал из складываемой породы, который служит ориентиром для водителя автосамосвала при остановке машины. Следует отметить, что такие валы регулярно разрушаются или разгружающимися автосамосвалами, или в результате просадки отвала и не гарантируют безопасность работы транспортных средств. В практике отвалообразования известны и другие ограничительные средства, но они не нашли широкого применения из-за низкой эффективности и усложнения технологии отвальных работ.

Для формирования отвалов при разработке и складировании некрепких вскрышных пород используется оборудование непрерывного действия. Сюда относят многоковшовые отвальные экскаваторы (абзетцеры) и конвейерные отвалообразователи [3–6].

Отвальное оборудование непрерывного действия широко используется на бурогольных карьерах Германии. В нашей стране известны лишь отдельные предприятия, где применяется или применялось такое оборудование, в частности на разрезе “Березовский-1” Канско-Ачинского угольного бассейна эксплуатировался отвалообразователь ОШР-5250 с приемной консолью 60 м и отвальной консолью 190 м [7].

Несмотря на то что отвалообразующие комплексы имеют высокую производительность, позволяют автоматизировать управление процессом их функционирования, обеспечивают безопасную работу автотранспорта и широкую зону действия, имея отвальную стрелу большой длины, их использование ограничивается существенными недостатками, основные из них заключаются в следующем:

- оборудование может применяться при складировании только рыхлых и хорошо раздробленных пород, при этом эффективность его работы зависит от климатических условий;
- отвалы должны иметь большую приемную способность и находиться на минимальном расстоянии от мест погрузки породы;
- оборудование и его содержание имеют высокую стоимость.

В технологических схемах автомобильного отвалообразования есть примеры использования экскаваторов-механических лопат и драглайнов, но из-за высокой стоимости и низкой производительности они широкого распространения не получили. В настоящее время основным оборудованием автомобильных породных отвалов по-прежнему остаются бульдозеры, а используемая при этом технология, к сожалению, не обеспечивает полной безопасности работы как самосвалов при их разгрузке, так и бульдозеров при работе в зоне возможного обрушения отвала.

Для ряда предприятий, расположенных в северных районах России, характерны слабые основания отвалов, представленные суглинками, пластичными глинами и песками. Формирование отвалов производится поярусно до высоты 70 м. В этих условиях при отсыпке рыхлых отложений и смешанных пород разгрузка автосамосвалов под откос недопустима по условиям безопасности и весь объем отвальной массы, доставляемой автосамосвалами, перемещается под откос бульдозерами, что также небезопасно для их машинистов и приводит к удорожанию вскрышных работ.

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИБРОТЕХНИКИ

Существующее положение с производством отвальных работ на карьерах заставляет искать новые способы и средства отвалообразования, способные повысить как его эффективность, так и безопасность работы оборудования и обслуживающего персонала. Исследования, проводимые в Институте горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН [8–10], показали, что безопасное

перемещение в отвал вскрышных пород может обеспечить вибрационная техника, позволяющая исключить работу автосамосвалов и бульдозеров в опасной приконтурной зоне отвалов. Суть технологии отвалообразования с использованием вибрационных устройств заключается в следующем: отвалообразователь размещается так, чтобы разгрузочная кромка грузонесущего органа находилась за границей откоса отвального яруса. Длина отвалообразователя обеспечивает разгрузку автосамосвала вне зоны возможного обрушения. Необходимое расстояние от кромки откоса отвального яруса до места разгрузки устанавливается в соответствии с требованиями безопасности ведения работ.

Автосамосвал разгружается на приемную площадку грузонесущего органа, и под действием вибрации порода перемещается под откос отвального яруса. Отвал формируется полосами шириной, равной длине отвальной консоли отвалообразователя, который передвигается на другую стоянку вдоль кромки отвальной емкости после полного ее заполнения. Одна из возможных схем отвалообразования с помощью вибромашин при использовании автосамосвалов грузоподъемностью 40 т показана на рис. 1.

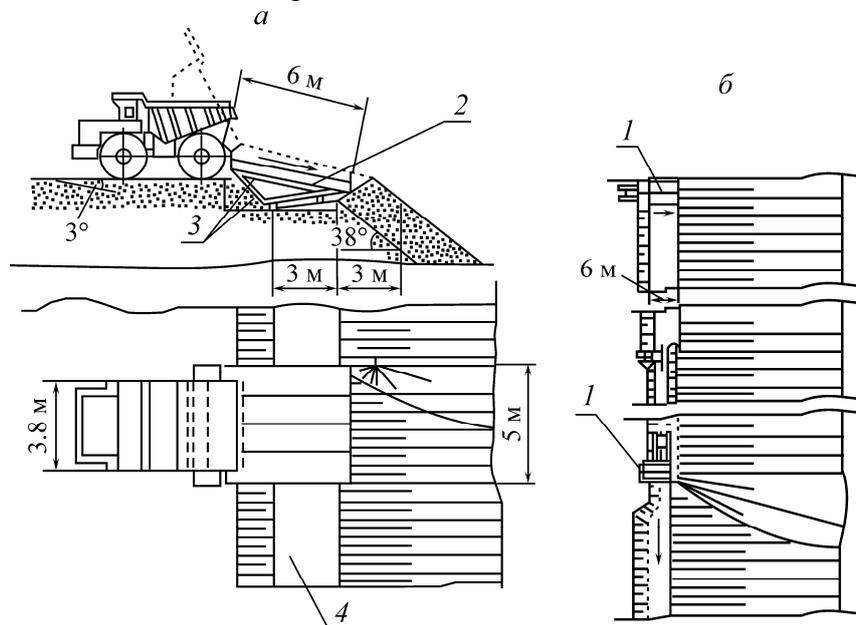


Рис. 1. Схема использования вибрационного отвалообразователя на автоотвалах: *а* — общий вид; *б* — организация работ

Укладка породы в отвал по этой схеме производится вибрационным отвалообразователем 1, рабочий орган 2 которого представляет собой виброплощадку, установленную на раме 3 под углом $10-15^\circ$. Отвалообразователь размещается на берме 4, создаваемой по всей длине отвального фронта, и перемещается вдоль фронта работ бульдозером. Ширина бермы и высота выемки определяются габаритами отвалообразователя. Порода из автосамосвалов разгружается непосредственно на рабочий орган, способный воспринимать большие динамические нагрузки, и выпускается под откос отвального яруса с достаточно высокой скоростью. Виброплощадка состоит из нескольких вибрационных питателей, а ее ширина соответствует ширине кузова автосамосвала БелАЗ-548.

Результаты исследований процесса вибровыпуска сыпучих материалов из емкости, проводимых в ИГД СО РАН, позволили создать новый класс вибрационной техники — вибромашины с упругим рабочим органом, используемые в горнорудной и строительной отраслях про-

мышленности. Простота конструкции, надежная работа в тяжелых условиях горного производства, сравнительно высокая производительность и небольшая стоимость — основные достоинства этих машин [11–13].

Однако условия эксплуатации на карьерах вибромашин, предназначенных для выпуска горной массы, существенно отличаются от условий использования такой техники при подземном способе добычи, изменяются и предъявляемые к ней требования. В частности, вибропитатели отвалообразователя должны иметь протяженный (не менее 6 м) рабочий орган, сохранять работоспособность при высоких статических и динамических нагрузках, обеспечивать высокую производительность технологического процесса.

Длина вибропитателей этого класса ограничивается из-за существенного затухания колебаний рабочего органа, снижающего скорость перемещения материала и, как следствие, производительность процесса. Этот недостаток может быть устранен, если рассредоточить вынуждающую силу вдоль рабочего органа, используя не один, а два вибровозбудителя, установленных на определенном расстоянии друг от друга, при этом для реализации рабочих режимов необходимо обеспечить их синхронное вращение.

Экспериментально-аналитические исследования динамики вибросистемы: упругий рабочий орган — упругое основание — инерционные вибровозбудители с использованием физических моделей показали, что в такой системе устанавливается стабильный устойчивый синхронный режим работы источников колебания, основанный на явлении самосинхронизации. Определена связь между параметрами вибросистемы, при которой обеспечивается синфазное или противофазное синхронное вращение вибровозбудителей. Результаты проведенных исследований стали основой при разработке питателей для вибрационного отвалообразователя.

Экспериментальные образцы созданных отвалообразователей успешно испытаны на карьерах Кузбасса и Урала. Испытания подтвердили не только возможность, но и целесообразность их использования при формировании отвалов.

Для современного состояния открытых горных работ характерно существенное увеличение грузоподъемности технологического автомобильного транспорта и его доли в общем грузопотоке на горных предприятиях. Это продиктовано необходимостью интенсификации вскрышных работ, объемы которых прогрессивно увеличиваются с ростом глубины карьеров. Однако возможность повышения производительности отвальных работ за счет использования мощного оборудования (автосамосвалов и бульдозеров) ограничена, так как прочность и устойчивость отвального массива в большинстве случаев не позволяют обеспечить безопасную эксплуатацию тяжелой техники. Анализ аварийности на карьерах показал, что падения автосамосвалов при маневрировании на отвалах составляют около 15 % от общего количества опасных производственных ситуаций [14].

Увеличение грузоподъемности автосамосвалов и связанный с этим рост нагрузок на отвальный массив требуют новых технических решений, удовлетворяющих современным условиям ведения горных работ и обеспечивающих их безопасность. Для отвалов, где используются автосамосвалы грузоподъемностью до 300 т, в Институте горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН разработан самоходный вибрационный отвалообразователь [15–17]. Его грузонесущий орган (рис. 2) установлен на опорной раме и выполняет одновременно две функции: приемной аккумулялирующей емкости, в которую разгружается автосамосвал, и перегружателя, перемещающего доставленную породу в отвал размещенными в его днище вибрационными транспортирующими устройствами.

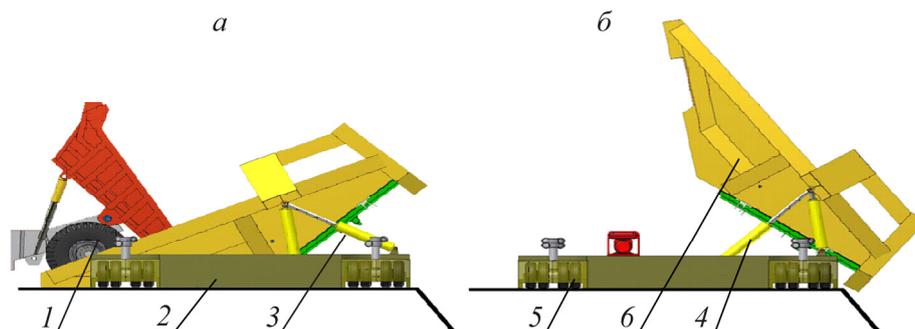


Рис. 2. Схема функционирования вибрационного отвалообразователя: *а* — разгрузка самосвала; *б* — разгрузка отвалообразователя; 1 — автосамосвал; 2 — опорная рама; 3, 4 — гидроцилиндры; 5 — механизм передвижения; 6 — грузонесущий орган

Отвалообразователь при помощи механизма передвижения устанавливается у кромки откоса отвального яруса на спланированной горизонтальной площадке. Автосамосвал задним ходом приближается к нему до контакта колес с упорами, расположенными внутри грузонесущего органа, и производится разгрузка кузова. После отхода самосвала загруженный породой грузонесущий орган поворачивается силовыми гидроцилиндрами относительно опорной рамы, включаются вибрационные транспортирующие устройства, и порода перемещается под откос отвального яруса. Затем грузонесущий орган возвращается гидроцилиндрами в исходное положение и осуществляется его загрузка очередным самосвалом.

Экономическая эффективность предложенной технологии оценивалась в сравнении с бульдозерным отвалообразованием для условий Ломоносовского ГОКа ОАО «Севералмаз». Установлено, что вибрационные отвалообразователи с годовой производительностью 3,8 млн м³ при их использовании с автосамосвалами грузоподъемностью 90 т позволяют сократить парк бульдозеров на 67%, увеличить пропускную способность отвального фронта в 2,5 раза, снизить эксплуатационные расходы на 42%, капитальные затраты на 54%, сократить число отвалов и ярусов и одновременно повысить безопасность ведения горных работ. Использование одного самоходного вибрационного отвалообразователя дает возможность получить годовой экономический эффект 8 млн руб.

В настоящее время разработан и изготовлен экспериментальный отвалообразователь для работы с автосамосвалами МАЗ-5551 (рис. 3). В условиях полигона проверена и подтверждена его работоспособность.



Рис. 3. Общий вид экспериментального вибрационного отвалообразователя

В процессе испытаний подтверждено, что вибровозбудители, установленные на упругих рабочих органах вибрационных транспортирующих устройств, работают в устойчивом противофазном синхронном режиме. Время, в течение которого устанавливается стабильный синхронный режим, составляет 3.5–5 с. В указанное время входит также и время разгона вибровозбудителей или одного из них. При нарушении синхронной работы вибровозбудителей, вызванном, например, приложенной к рабочему органу динамической нагрузкой, стабильный режим восстанавливался за 1.3–1.5 с.

При работе любых технических средств, размещенных на отвальных массивах вблизи кромки откоса отвального яруса, должна обеспечиваться устойчивость отвала. В общем случае вибрация, изменяя реологические характеристики материалов, на которые она воздействует, может спровоцировать нарушение устойчивости. Выполнены измерения виброскорости одновременно на рабочем органе, раме питателя и опорной раме отвалообразователя, осциллограмма показана на рис. 4.

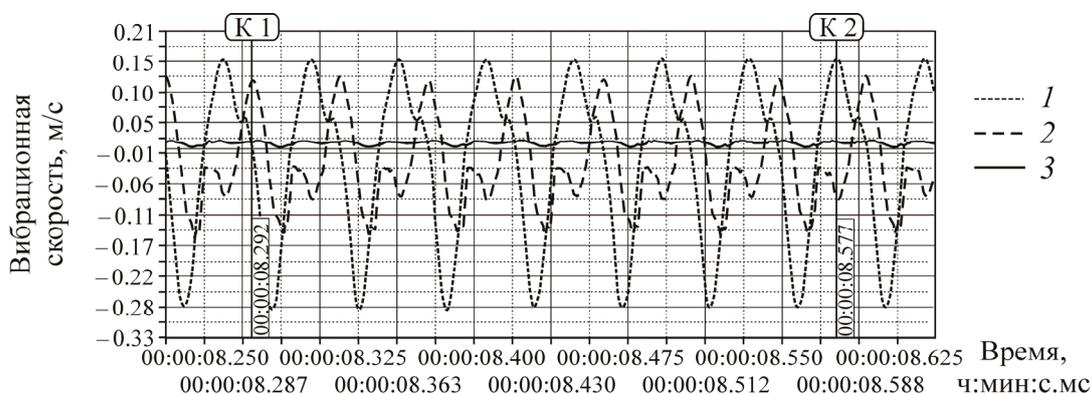


Рис. 4. Осциллограмма виброскорости колебаний: 1 — рабочего органа у вибровозбудителя на разгрузочном участке; 2 — рамы питателя; 3 — опорной рамы отвалообразователя

Колебания рабочего органа записывались у вибровозбудителя на разгрузочном участке, где вибрация имеет наибольшее значение. Кривые на осциллограмме представлены в одном масштабе. Размах виброперемещения в соответствии с осциллограммой составляет: рабочий орган 3 мм, рама питателя 2 мм, опорная рама отвалообразователя 0.07 мм, отсюда следует, что колебания рамы питателя в 1.5 раза, а опорной рамы отвалообразователя более чем в 40 раз меньше колебаний рабочего органа виброустройства. Эти данные могут быть использованы в качестве исходных при расчете устойчивости отвального массива, который формируется с помощью вибрационного отвалообразователя.

ВЫВОДЫ

Анализ технических средств, используемых для создания безопасных условий работы автотранспорта при формировании отвалов, показывает, что они не всегда могут обеспечить такие условия. Поэтому повышение безопасности автомобильного отвалообразования по-прежнему является актуальной задачей при открытой разработке полезных ископаемых.

Использование вибрационного отвалообразователя позволяет усовершенствовать процесс формирования отвала, при этом появляется возможность не только существенно повысить безопасность отвалообразования, но и поднять его эффективность на новый уровень за счет снижения объема бульдозерных работ, сокращения числа отвалов, увеличения высоты единичного отвального яруса и, как следствие, уменьшения длины автомобильных дорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Полтавский Н. Н.** Совершенствование отвалообразования при большегрузном автотранспорте // *Материалы науч.-практ. конф. “Вопросы повышения безопасности горных работ на шахтах”*. — Кемерово, 2003.
2. **Мелик-Гайказов И. В., Виноградов А. И., Тогунов М. Б., Кампель Ф. Б.** Техника и технология формирования высотного отвала вскрышных пород Ковдорского карьера // *Горн. журн.* — 2009. — № 11.
3. **Применение** отвального оборудования непрерывного действия. Режим доступа: <http://multimails.info/gdt8r4part2.html>.
4. **Конвейерные отвалообразователи** TAKRAF. Режим доступа: <http://www.takraf.com/ru/products/miningequipment>.
5. **Оборудование** для открытых горных работ Sandvik Mining and Construction. Каталог-2010. — М., 2010.
6. **Отвалообразователи** ОШР. Режим доступа: <http://www.nkmz.com/Russian/index.html>.
7. **ООО “Генэнергомонтаж”** от Норильска до Монголии // *Горн. пром-сть*. — 2005. — № 2.
8. **Молотилев С. Г., Васильев Е. И., Кортелев О. Б., Норри В. К., Левенсон С. Я., Гендлина Л. И., Тишков А. Я.** Интенсификация погрузочно-транспортных работ на карьерах. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000.
9. **Кортелев О. Б., Молотилев С. Г., Норри В. К., Тишков А. Я., Гендлина Л. И., Левенсон С. Я., Самарцев М. Г.** Перегрузка горной массы на карьерах с использованием вибротехники // *ФТПРПИ*. — 1994. — № 3.
10. **Молотилев С. Г., Норри В. К.** К вопросу о формировании высоких породных отвалов на карьерах // *ФТПРПИ*. — 2007. — № 5.
11. **Тишков А. Я., Еременко Ю. И., Гендлина Л. И.** О вибрационном выпуске сыпучих материалов // *ФТПРПИ*. — 1994. — № 2.
12. **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.
13. **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.
14. **Яковлев В. Л., Могилат В. Л., Ковалев М. Н., Гусев А. И.** Проблемы безопасной эксплуатации автомобильного транспорта на открытых горных работах // *ГИАБ*. — 2004. — № 3.
15. **Левенсон С. Я., Гендлина Л. И., Морозов А. В., Алесик М. Ю., Усольцев В. М.** Условия эффективного использования вибрационной техники на автомобильных отвалах // *ГИАБ*. — 2011. — № 5.
16. **Левенсон С. Я., Гендлина Л. И., Морозов А. В., Усольцев В. М.** О формировании автомобильных отвалов при открытой разработке полезных ископаемых // *ГИАБ*. — 2012. — № 11.
17. **Пат. на ИМ РФ № 88004.** Вибрационный отвалообразователь / С. Я. Левенсон, Л. И. Гендлина, Ю. И. Еременко, А. В. Морозов, С. И. Протасов, В. А. Голдобин // *Опубл. в БИ*. — 2009. — № 30.

Поступила в редакцию 25/VII 2014