

РУХОМИЙ СКЛАД

УДК 629.463.65: 629.4.015

**ВЫБОР КРИТЕРИЯ КАЧЕСТВА ВИБРАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ
ПОЛУВАГОНОВ ОТ ОСТАТКОВ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ**

*Корнейчук С.Г., препод. (СлавТЖТ)
Ломотько Д.В., д.т.н. проф. (УкрГАЖТ)
Романович Е.В., к.т.н., доц. (УкрГАЖТ)
Повороженко Е.В., ст. препод. (УкрГАЖТ)*

Введение. Для перевозки сыпучих грузов по железной дороге наиболее часто используют полувагоны. Однако, при их разгрузке через нижние разгрузочные люки в кузове полувагона остается значительная часть груза (таблица 1).

Таблица 1 - Среднее количество остатков сыпучих грузов после открывания крышек разгрузочных люков в полувагонах

Наименование груза	Среднее количество остатков, т
1 Уголь каменный	7-12
2 Песок	15-20
3 Балласт песчано-гравийный	8-12
4 Гравий	5-7
5 Руда железная	15-20
6 Шлам	4-6

Действующие нормативы [4, 6] требуют, чтобы кузов полувагона был полностью очищен от видимых остатков перевозившегося в нем груза. Поэтому пункты выгрузки сыпучих грузов из полувагонов вынуждены осуществлять их очистку, применяя для этих целей как ручной труд, так и средства механизации.

Наиболее эффективным средством для механизированной очистки полувагонов от остатков сыпучих грузов являются накладные вибраторы, которые сообщают кузову полувагона вертикальные колебания. Но многолетний опыт их эксплуатации показал, что далеко не всегда они позволяют полностью очистить полувагон от остатков груза. Поэтому возникла необходимость в усовершенствовании процесса вибрационной очистки полувагонов путем внесения определенных изменений в конструкцию применяемых для этих целей накладных вибраторов.

Основная часть. Для успешного усовершенствования процесса вибрационной очистки полувагонов с помощью накладного вибратора в первую очередь необходимо четко ответить на следующие вопросы.

а) Почему после открывания крышек люков часть груза не высыпается?

б) Что происходит с грузом в процессе вибрации?

Для ответа на поставленные вопросы воспользуемся теорией сыпучих тел, в частности теорией устойчивости откосов [2, 5, 7-12], потому, что после открывания крышек разгрузочных люков, расположенных в днище кузова полувагона, остатки груза по своей форме очень сильно напоминают откосы насыпей, выемок, котлованов и т.п. (рисунок 1).



Рисунок 1 - Форма остатков песка в полувагоне после открывания крышек люков

В общем случае условие устойчивости откоса записывается в виде

$$\tau_{\text{пр}} \geq \tau, \quad (1)$$

где τ – действующее на откос касательное напряжение, Па;
 $\tau_{\text{пр}}$ – удельное сопротивление сыпучего груза сдвигу, Па.
Удельное сопротивление груза сдвигу

$$\tau_{\text{пр}} = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi + \tau_0, \quad (2)$$

где σ – давление, нормальное к поверхности сдвига, Па;
 φ – угол внутреннего трения сыпучего груза, градусов;
 τ_0 – удельное сцепление частиц груза, Па.

Удельное сцепление частиц груза зависит от целого ряда его физико-механических свойств: плотности, влажности, размера частиц, слеживаемости и т.д.

Давление, нормальное к поверхности сдвига, Па

$$\sigma = \frac{N}{F}, \quad (3)$$

где N – сила нормального давления, Н;
 F – площадь поверхности, м².
Сила нормального давления при этом, Н

$$N = m \cdot (g \pm a), \quad (4)$$

где m – масса груза, кг;
 g – ускорение свободного падения, кг;
 a – ускорение при вибрации, м/с².

Таким образом, условие обрушения призмы груза в процессе вибрационного воздействия можно записать в следующей форме

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{m \cdot (g \pm a)}{F} \cdot \operatorname{tg}\varphi + \tau_0 < \tau. \quad (5)$$

В случае действия вертикальной вибрации вынуждающая сила уменьшает первое слагаемое формулы (5).

Ряд грузов, например щебень, имеет незначительную величину удельного сцепления частиц τ_0 и в процессе вибрации начинают вести себя

почти как идеально сыпучее тело, у которого $\tau_0 \approx 0$. Тогда условие обрушения призмы груза в процессе вибрационного воздействия примет вид

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{m \cdot (g \pm a)}{F} \cdot \text{tg}\varphi < \tau. \quad (6)$$

В этом случае количество груза, оставшегося в кузове полувагона после виброочистки, будет минимально (рисунок 2).



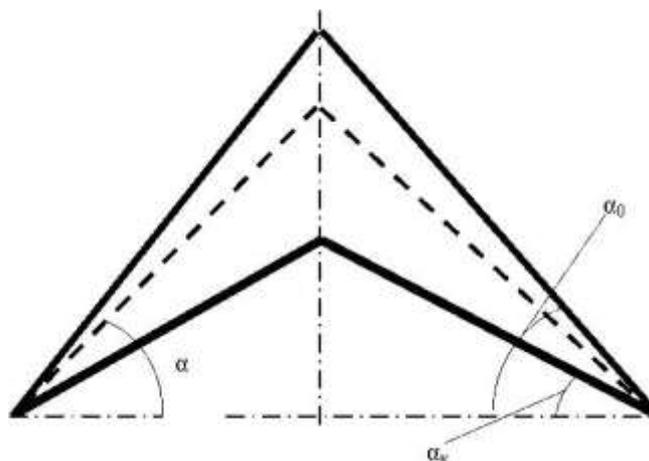
Рисунок 2 - Остатки щебня после вибрационной обработки полувагона

Ряд других грузов, например формовочная смесь, имеет весьма значительное удельное сцепление частиц τ_0 , значение которого может многократно превосходить значение первого слагаемого формулы (2), что дает нам право считать $\frac{m \cdot (g \pm a)}{F} \cdot \text{tg}\varphi \approx 0$. Тогда справедливой можно считать запись $\tau_{\text{пр}} \approx \tau_0$. В этом случае вибрация весьма незначительно влияет на условие обрушения призмы груза и количество остатков груза в кузове полувагона после виброочистки будет значительным (рисунок 3).



Рисунок 3 - Остатки формовочной смеси после вибрационной обработки полувагона

Из сказанного выше следует, что остатки груза, находящиеся на элементах кузова полувагона после открывания разгрузочных люков, до приложения вибрации к полувагону, находятся в состоянии равновесия (1). Приложение вибрации нарушает это равновесие, что и приводит к обрушению призмы остатков груза и высыпанию их из полувагона. Обрушение призмы остатков приводит к постепенному уменьшению угла откоса остатков груза α до значения, равного углу наклона крышки люка к горизонту α_k . (рисунок 4).



α_0 – угол откоса груза до вибрации, град.; α – угол откоса груза в процессе вибрации, град.; α_k – угол наклона крышки люка к горизонту.

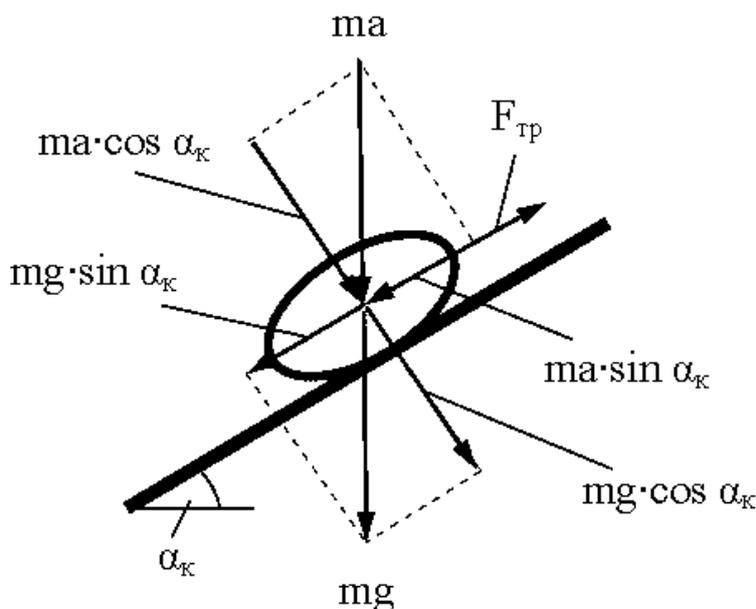
Рисунок 4 – Изменение угла откоса груза в процессе вибрационной очистки полувагона.

Очевидно, что чем меньше высота призмы груза, тем более устойчивой к сдвигу она будет. В итоге слой остатков груза в кузове полувагона окажется настолько мал, что это дает нам право говорить не об условии обрушения призмы груза, а об условии схода частицы груза с крышки разгрузочного люка в условиях вертикальных колебаний. Именно такой случай был в свое время рассмотрен такими известными учеными, как В.Н. Стоговым, И.П.Кривцовым, В.А. Мироненко и другими.

Слой груза на крышке люка мал, и потому можно утверждать, что угол наклона призмы груза к горизонту α будет равен углу наклона крышки люка к горизонту α_k

$$\alpha \approx \alpha_k. \quad (7)$$

Схема сил, действующих на частицу груза, расположенную на наклонной крышке разгрузочного люка полувагона, в условиях вертикальной вибрации, приведена на рисунке 5.



m - масса частицы груза; a - ускорение кузова полувагона, сообщаемое ему вибромашинной; α_k - угол наклона крышки люка к горизонту; g - ускорение свободного падения; $F_{тр}$ - сила трения частицы груза по крышке люка.

Рисунок 5 - Схема сил, действующих на частицу груза
в условиях вертикальной вибрации

Условие схода частицы груза с наклонной крышки люка можно записать в следующем виде

$$mg \cdot \sin \alpha_k \pm ma \cdot \sin \alpha_k > F_{тр}. \quad (8)$$

Сила трения груза по крышке люка, Н

$$F_{\text{тр}} = f \cdot mg \cdot \cos\alpha_k \pm f \cdot ma \cdot \cos\alpha_k, \quad (9)$$

где f - коэффициент трения частицы груза по крышке люка.
Подставив полученное выражение в формулу (8), получим

$$mg \cdot \sin\alpha_k \pm ma \cdot \sin\alpha_k = f \cdot mg \cdot \cos\alpha_k \pm f \cdot ma \cdot \cos\alpha_k. \quad (10)$$

Отсюда

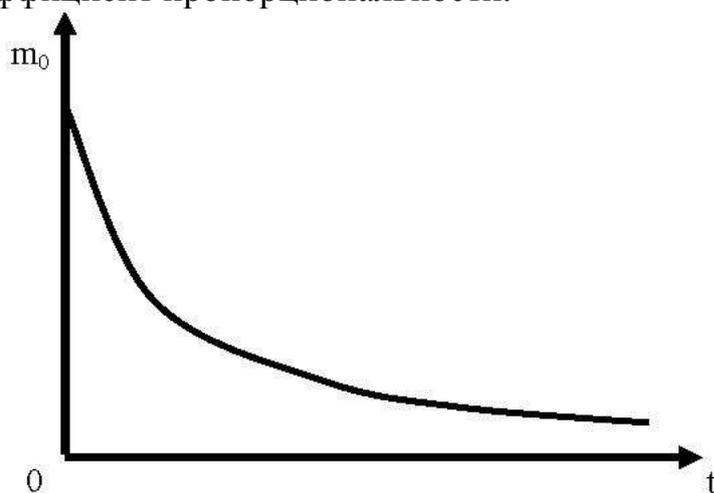
$$f = \operatorname{tg}\alpha_k. \quad (11)$$

Следовательно, при вертикальных колебаниях и небольшом количестве остатков груза в кузове полувагона эффекта очистки практически нет.

Приведенные выше теоретические выкладки дают ответ на вопрос, почему при работе накладных вибраторов в кузове полувагона практически всегда остаются остатки груза. Выражение (11) целиком согласуется с теорией устойчивости откосов [2, 5, 7-12] и выводом к рисунку 4. Отсюда можно предположить, что зависимость устойчивости призмы груза к сдвигу от времени будет носить экспоненциальный характер, а значит и график изменения количества остатков груза в кузове полувагона времени виброочистки будет иметь следующий вид (рисунок 6)

$$\tau_{\text{пр}} = f(e^{A \cdot t}), \quad (12)$$

где A – коэффициент пропорциональности.



m_0 - масса остатков груза; t - время виброочистки.

Рисунок 6 – График изменения остатков груза в кузове полувагона от времени виброочистки

Выводы. Из всего сказанного выше можно сделать следующие выводы. Количество остатков груза в кузове полувагона в процессе его обработки накладным вибратором для большинства сыпучих грузов напрямую зависит от величины ускорения, сообщаемого вибратором кузову полувагона. Поэтому, в качестве критерия качества очистки полувагона накладным вибратором будет удобно воспользоваться максимальным значением ускорения, сообщаемого кузову полувагона этим вибратором.

При использовании накладных вибраторов для очистки полувагонов от остатков сыпучих грузов будет нецелесообразным пытаться полностью удалить остатки груза из полувагона: на это уйдет слишком много времени, средств, а также может привести к повреждению кузова полувагона. Стоит задуматься о том, как быстрее освободить кузов полувагона от подавляющего количества этих остатков, а оставшуюся их часть удалять другим, более эффективным способом.

Литература

- 1 Бабаков И. М. Теория колебаний : учеб. пособие /И. М. Бабаков. -4-е изд., испр. - М.: Дрофа, 2004. - 591 с.
- 2 Безухов Н.И. Теория сыпучих тел. Изд. 3-е, перераб. и доп. -М.: Госстройиздат, 1934. - 113 с.
- 3 Вибрационные устройства для очистки полувагонов /Мироненко В.А., Романович Е.В. //Залізничний транспорт України. -1998.№4-5. –С.34-35.
- 4 ГОСТ 22235-76 Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ. –М.: ИПК Издательство стандартов, 1999.
- 5 Зенков Р.Л., Гриневич Г.П., Исаев В.С. Бункерные устройства. -М.: Машиностроение, 1977. -225 с.
- 6 Изменения и дополнения к межгосударственному стандарту (ГОСТ 22235-76) по сохранности грузовых вагонов /Г.К.Сендеров, А.П.Ступин, С.А.Другаль, Е.А.Поздина //Ж.-д. трансп. Сер. Вагоны и вагонное хозяйство: ЭИ /ЦНИИТЭИ МПС, 1999. -Вып.3. -С.1-32.
- 7 Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. Изд. 2-е, перераб. и доп. -М.: Стройиздат, 1977. -256 с.
- 8 Леденев, В.В. Расчет и конструирование специальных инженерных сооружений : учебное пособие / В.В. Леденев, В.Г. Однолько, А.В. Худяков. - Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. - 128 с.
- 9 Основания, фундаменты и подземные сооружения /М.И.Горбунов-Посадов, В.А.Ильичев, В.И.Крутов и др.; Под общ. ред. Е.А.Сорочана и Ю.Г.Трофименкова. -М.: Стройиздат, 1985. -480 с.
- 10 Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. Изд. 3-е, перераб. и доп. -М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. -241 с.
- 11 Соколовский В.В. Теория пластичности. -М.: Высшая школа, 1969. -608 с.
- 12 Ухов Б.С. и др. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учебник. -М.: АСВ, 1994. -527 с.