



Максютенко В.Ю. УДК 622.647.2

Кирия Р.В.

Брагинец Д.Д.

**Институт
геотехнической
механики
им. Н.С. Полякова
НАН Украины**

ИСТЕЧЕНИЕ СЫПУЧИХ СРЕД ИЗ БУНКЕРОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВИБРАЦИИ

Одержано ефективний коефіцієнт внутрішнього тертя сипкого середовища залежно від параметрів вібрації. Показано, що при вібровпливі на бункер з боковим випускним отвором можна істотно збільшити продуктивність випуску вантажу з бункера, а при вібровпливі на бункер з боковою регульованою заслінкою витрати сипкого середовища практично не збільшуються.

The effective coefficient of internal friction of bulk load depending on the parameters of vibration is got. It is shown that under vibroimpact on the bunker with lateral outlet it is possible substantially to multiply efficiency of load output from a bunker while under vibroimpact on the bunker with lateral regulated shuttle the dry substances consumption practically is not increased.

Вступление. В системах подземного конвейерного транспорта угольных шахт получили применение усредняющие бункеры с боковым щелевым отверстием. Эти бункеры, по сравнению с бункерами с горизонтальным щелевым выпускным отверстием, легче в управлении, так как нагрузка на регулируемую заслонку значительно меньше. Поэтому они могут быть эффективно использованы для усреднения грузопотоков, поступающих от высоконагруженных лав угольных шахт.

Однако, как показали исследования [1-2], расход сыпучей среды у этих бункеров в три раза меньше по сравнению с бункером с горизонтальным щелевым выпускным отверстием с той же шириной отверстия.

Основной причиной снижения производительности бункера с боковым щелевым выпускным отверстием является образование застойной зоны сыпучей среды на дне бункера в виде треугольной призмы (рис. 1,а). При этом производительность бункера существенно зависит от угла φ_0 , образованного верхней границей застойной зоны с дном бункера. С уменьшением φ_0 расход сыпучей среды из бункера с боковым отверстием увеличивается.

Угол наклона верхней границы застойной зоны φ_0 можно уменьшить с помощью вибровоздействия на нее, и тем самым увеличить расход сыпучей среды из бункера.

Вопросами увеличения расхода сыпучей среды из бункеров с помощью вибровоздействия на сыпучий материал посвящены следующие работы [3-5].

Анализ этих работ показал, что исследования истечения сыпучей среды из бункеров с боковым выпускным отверстием под воздействием вибрации не проводились.

Целью статьи является повышение расхода сыпучей среды из бункера с боковым щелевым выпускным отверстием под воздействием вибрации.

Задачей исследования является: определение расхода сыпучей среды из бункера с боковым щелевым выпускным отверстием без заслонки и с регулируемой заслонкой в зависимости от параметров вибрации и угла наклона заслонки.

Изложение основного материала исследований. Рассмотрим истечение сыпучей среды из прямоугольного бункера с боковым щелевым выпускным отверстием шириной a и длиной b ($b > a$) без заслонки (см. рис. 1,а).

Согласно работе [2], расход сыпучей среды из бункера с боковым щелевым выпускным отверстием определяется по формуле

$$Q = \eta b a^{1,5} \sqrt{g} .$$



где
$$\eta = \frac{\delta \eta_0 \sin \varphi_c}{\sqrt{\delta^2 \sin^2 \varphi_c + k^2 K_1 K_2}}; \quad (1)$$

$$\eta_0 = \frac{2\sqrt{2}}{3} \cos \varphi_c \sqrt{\frac{\chi' + \operatorname{tg} \varphi_c}{K_1 + \operatorname{tg} \varphi_c}};$$

$$\delta = \frac{a}{d}; \quad \varphi_c = \frac{\varphi_0 + 90^\circ}{2};$$

$$K_1 = \frac{1}{2} (f + \sqrt{1 + f^2});$$

$$\chi' = f + \frac{1}{f} - \sqrt{1 + f^2}.$$

Здесь η – коэффициент расхода сыпучей среды из бункера; k – кинетический коэффициент характеризующий потерю механической энергии потока сыпучей среды в результате столкновения частиц ($k = 10-13$); K_2 – некоторый безразмерный коэффициент, зависящий от условий истечения

сыпучей среды из бункера (прямое или боковое истечение) и определяемый из эксперимента; d – средний диаметр частицы сыпучей среды; φ_c – некоторое среднее значение угла наклона струи сыпучей среды к горизонту при выходе из бункера, град; φ_0 – угол наклона границы неподвижной зоны сыпучей среды ко дну бункера, град; f – коэффициент внутреннего трения сыпучей среды.

Из формулы (1) видно, что расход сыпучей среды из бункера с боковым щелевым отверстием зависит от угла φ_0 , который в свою очередь зависит от диаметра частиц d [6].

При воздействии вибрации на бункер угол φ_0 уменьшается увеличивая нормальное сечение на выходе из бункера, в следствии чего увеличивается расход сыпучей среды.

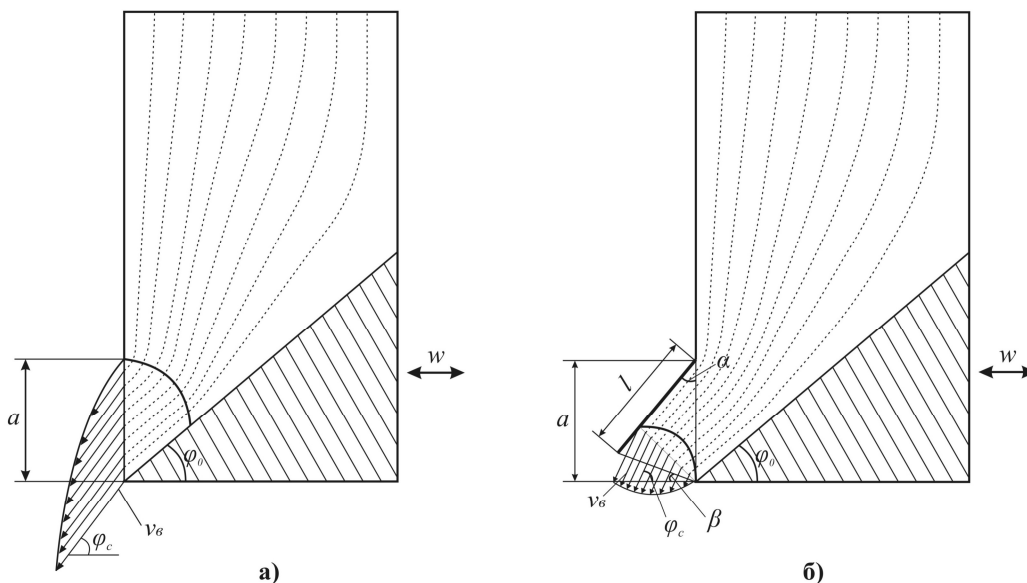


Рис. 1. Зоны структурно-механического состояния сыпучей среды при ее истечении:
а) из бункера с боковым щелевым выпускным отверстием;
б) из бункера с боковым щелевым выпускным отверстием и регулируемой заслонкой.

При воздействии вибрации на бункер угол φ_0 уменьшается увеличивая нормальное сечение на выходе из бункера, в следствии чего увеличивается расход сыпучей среды.

Для оценки влияния вибрации на истечение сыпучей среды из бункера с боковым щелевым выпускным отверстием рассмотрим наклонную виброплоскость с углом наклона к горизонту α' (рис. 2).

На виброплоскости находится элемент сыпучего груза массой m , на который

действуют сила тяжести P , инерционная сила со стороны виброплоскости J под углом наклона к виброплоскости β' , нормальная сила реакции со стороны виброплоскости и сила трения со стороны виброплоскости $F_{тр}$.

Уравнение движения элемента под действием указанных сил в проекциях на оси координат (см. рис. 2) имеет вид [7, 8]



$$\begin{cases} m\ddot{x} = -J \cos \beta' - mg \sin \alpha' + F_{mp}, \\ m\ddot{y} = N - mg \cos \alpha' + J \sin \beta', \end{cases} \quad (2)$$

где $J = mA\omega^2 \sin \omega t$.

Здесь A и ω – амплитуда и частота колебаний виброплоскости соответственно.

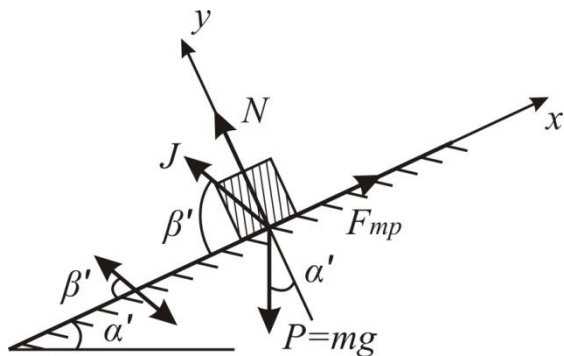


Рис. 2. Расчетная схема движения элемента сыпучей среды по виброплоскости

Если элемент начинает скользить по виброплоскости, не отрываясь от нее, то $\ddot{x} = 0$, $\ddot{y} = 0$ и $N > 0$.

Подставляя последнее условие в (2), с учетом, что $F_{mp} = fN$, и полагая, что $\omega t = \frac{\pi}{2}$, после преобразования получим уравнение, определяющее эффективный угол внутреннего трения сыпучего груза при воздействии на него вибрации:

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = f - \frac{A\omega^2 \sin \beta'}{g \cos \alpha_3} (f + \operatorname{ctg} \beta'). \quad (3)$$

Предположим, что вибрация происходит в режиме виброкипения, т.е. выполняется условие [7]

$$0 < \frac{A\omega^2 \sin \beta'}{g \cos \alpha_3} < 1.$$

Определяя α_3 из уравнения (3), получим эффективный коэффициент внутреннего трения сыпучей среды при воздействии на него вибрации

$$f_3 = \operatorname{tg} \alpha_3. \quad (4)$$

Предположим, что вибрация в бункере направлена вертикально, т.е. $\beta' = 90^\circ + \alpha_3$.

Подставим β' в (3), получим

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = f + \frac{A\omega^2 \cos \alpha_3}{g \cos \alpha_3} (f - \operatorname{tg} \alpha_3). \quad (5)$$

После преобразования выражения (5), с учетом (4), примет вид

$$(f_3 - f) \left(1 + \frac{A\omega^2}{g} \right) = 0.$$

Последнее уравнение имеет единственное решение при $f_3 = f$.

Следовательно, если вибровоздействие на бункер с боковым щелевым выпускным отверстием направлено вертикально, то коэффициент внутреннего трения сыпучей среды от воздействия вибрации не изменяется.

Предположим, что вибровоздействие на бункер направлено горизонтально. Тогда, полагая в (3) $\beta' = \alpha_3$, получим

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = f - \frac{A\omega^2}{g} (1 + f \operatorname{tg} \alpha_3). \quad (6)$$

Полагая в (6) $\frac{A\omega^2}{g} = w$, после преобразования получим

$$f_3 = \operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{f - w}{1 + fw}. \quad (7)$$

Из выражения (7) следует, что при $f \leq w$, $f_3 \leq 0$ т.е. если коэффициент внутреннего трения сыпучей среды меньше параметра вибрации w , то сыпучая среда течет как жидкость.

Подставив вместо f в формуле (7) $\operatorname{tg} \varphi_0$, получим

$$\operatorname{tg} \varphi_3 = \frac{\operatorname{tg} \varphi_0 - w}{1 + w \operatorname{tg} \varphi_0}, \quad (8)$$

где φ_3 – угол наклона границы застойной зоны в бункере при воздействии на нее вибрации в горизонтальном направлении, град.

Так как вибрация в сыпучей среде быстро затухает, особенно если сыпучая среда находится в подвижном состоянии, то коэффициент внутреннего трения f в процессе истечения сыпучей среды из бункера практически не меняется.

Под действием вибрации существенно изменяется угол φ_0 наклона границы неподвижной области к дну бункера (см. рис. 1,а).

Подставим в формулу (1) вместо φ_0 значение φ_3 из (8), получим коэффициент расхода η сыпучего груза из бункера с боковым щелевым выпускным отверстием без заслонки при воздействии на него вибрации в горизонтальном направлении.

На рис. 3 показан график зависимости η от w при значениях $f = 0,7$, $\varphi_0 = 45^\circ$, $k = 12$, $K_2 = 0,5$ и различных $\delta = 10; 20; 50$, что соответствует кривым 1, 2, 3.



Из графиков видно, что коэффициент расхода η с увеличением w увеличивается. С увеличением диаметра частиц, т.е. с уменьшением δ коэффициент η уменьшается, и для мелких грузов, т.е. при $\delta \geq 50$ (кривая 3), может достичь значения $\eta = 0,66$ при $w = 1$, что на 50 % больше от значения $\eta = 0,34$ при $w = 0$.

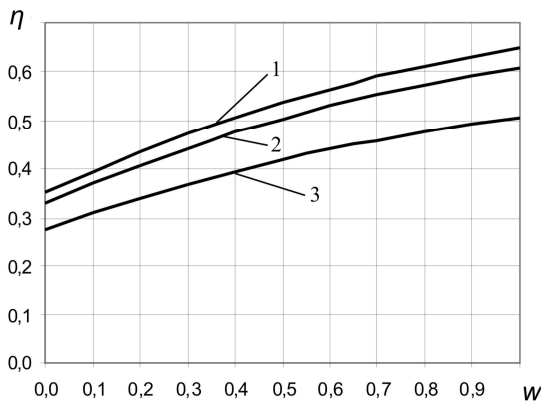


Рис. 3. График зависимости коэффициента расхода η сыпучей среды из бункера без заслонки от параметра вибрации w

В случае истечения сыпучей среды из бункера с регулируемой заслонкой (см. рис. 1,б) коэффициент расхода определяется по формуле [9]

$$\eta = \frac{\delta \eta_0 \sin \alpha}{\sqrt{\delta^2 \sin^2 \alpha + k^2 K_1 K_2}}, \quad (9)$$

где

$$\eta_0 = \frac{2\sqrt{2}}{3} \sin(\varphi_c + \beta) B \sqrt{A + \chi'} \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 + K_1 \operatorname{tg} \alpha} \right)^{1,5};$$

$$A = \frac{\operatorname{tg} \varphi_c (K_1 - \operatorname{tg} \beta)}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \varphi_c};$$

$$B = \frac{(K_1 + \operatorname{tg} \varphi_c) \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta}}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \varphi_c};$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{a/l - \cos \alpha}{\sin \alpha}, \quad \varphi_c \approx \frac{(0,5\pi - \alpha) + \varphi_0}{2};$$

$(0,5\pi - \alpha < \varphi_c < \varphi_0).$

Здесь α – угол наклона заслонки к боковой стенке бункера, град.; l – длина заслонки, м.; β – угол наклона выходного сечения сыпучего груза из бункера с регулируемой заслонкой, град.

Подставим в формулу (9) вместо φ_0 значение φ_3 из (8), получим коэффициент расхода η сыпучей среды из бункера с боковым щелевым выпускным отверстием и регулируемой заслонкой при воздействии на него вибрации в горизонтальном направлении.

На рисунке 4 показан график зависимости η от угла α для различных значений параметра вибрации $w = 0,1; 0,5; 1$; соответствующих кривым 1, 2, 3 при значениях $f = 0,64$; $\varphi_0 = 70^\circ$; $k = 12$; $K_2 = 0,5$; $l = a$; $\delta = 100$.

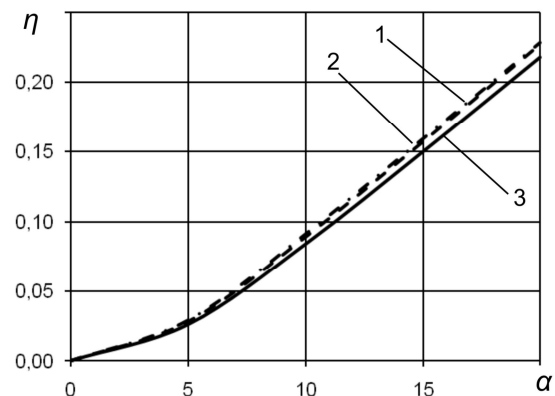


Рис. 4. График зависимости коэффициента расхода сыпучей среды из бункера с заслонкой η от угла открытия заслонки α

Из графиков видно (см. рис. 4), что с увеличением параметра вибрации w коэффициент расхода сыпучей среды из бункера независимо от угла наклона заслонки α увеличивается незначительно. Это можно объяснить тем, что расход сыпучей среды из бункера с боковой регулируемой заслонкой, в основном, определяется не углом наклона неподвижной зоны φ_0 , а подпором сыпучей среды со стороны заслонки.

Вывод. При боковом вибровоздействии производительность истечения сыпучей среды из бункера с боковым щелевым выпускным отверстием без регулируемой заслонки повышается примерно на 42-50 %. В то же время для бункера с боковым щелевым выпускным отверстием и регулируемой заслонкой в пределах угла регулирования ($0 < \alpha < 20^\circ$) боковое вибровоздействие практически не увеличивает производительность истечения сыпучей среды из бункера.

Литература



1. Кирия Р.В. К вопросу об истечении сыпучего груза из бункера со щелевым отверстием / Р.В. Кирия, В.Ю. Максютенко, Д.Д. Брагинец, Б.И. Мостовой // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. - Днепропетровск, 2008 - Вып. 80. - С. 351-362.
2. Кирия Р.В. Истечение сыпучего груза из бункера с боковым щелевым отверстием / Р.В. Кирия, Д.Д. Брагинец, Б.И. Мостовой // Сборник научных трудов Национального горного университета. - Днепропетровск. - 2009. - № 34. - С. 114-122.
3. Макеев А.В. Исследование влияния вибрации на пропускную способность бункеров // Известия вузов. Горный журнал. – 1970. - №1. - С. 31-35.
4. Гончаревич И.Ф., Сергеев П.А. Вибрационные машины в строительстве основы теории, проектирования, расчета. – М.: Матгиз, 1963. – 311с.
5. Варсанюфьев В.Д. Вибрационные бункерные устройства на горных предприятиях. – М.: Недра, 1987. – 183 с.
6. Тюзюн У. Исследование границы потока при установившемся истечении из воронкообразного бункера / У. Тюзюн, Р. Неддерман // Сб. статей: Механика гранулированных сред. Теория быстрых движений. – М.: Мир, 1985. – Вып. 36. – С. 242-270.
7. Потураев В.Н. Вибрационные транспортирующие машины / В.Н. Потураев, В.П. Франчук, А.Г. Червоненко. - М.: Машиностроение, 1964. - 271 с.
8. Блехман И.И. Что такое вибрация ? - М.: Наука, 1988. - 208 с.
9. Кирия Р.В. Определение расхода сыпучего груза из бункера с регулируемой заслонкой / Р.В. Кирия, В.Ю. Максютенко, Д.Д. Брагинец, Б.И. Мостовой // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. - Днепропетровск, 2009 - Вып. 81. - С. 107-113.