

№	$h_p$ , мм	$n$	$\Delta$ , мм	$p$ , кг	$R/h_p$	$C$ , кг/см	$h_m$ , мм
1	40	1	2	2,100	2,5	1050	5
2	20	2	2	5000	5	2500	5
3	10	4	2	10000	10	5000	5
4	5	8	2	10800	20	5400	5

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потураев В.Н., Дырда В.И., Круш И.И. Прикладная механика резины. - Киев: Наук.думка, 1980. -260 с.
2. Дырда В.И. Прочность и разрушение эластомерных конструкций в экстремальных условиях. – Киев: Наук. думка, 1988. – 232 с.
3. Термомеханика эластомерных элементов конструкций при циклическом нагружении / Потураев В.Н., Дырда В.И., Карнаухов В.Г., Сенченков И.К., Козлов В.И., Мазнецова А.В. – Киев: Наук. думка, 1967. – 268 с.
4. Payne A.R. Histeresis in rubber vulcanisates // 117 Polim. Sci. Symp. - 1974. – N 48. - P. 169-106.
5. Dean G.D., Duncan J.C., Jonson A.F. Determination of nonlinear dynamic properties of carbon-filled rubber // Polym. Test. - 1984. – N 4. - P. 225-249.
6. Дырда В.И., Твердохлеб Т.Е., Шолин М.К. Особенности квазистатических расчетов металлорезиновых систем / Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов. – Днепропетровск. – 2003. – Вып. 43. – С. 146-187.
7. Расчет слоистых резинометаллических виброизоляторов / В.И. Дырда, Г.Н. Голуб, А.В. Мазнецова, М.В. Мажаров; ИГТМ АН Украины. – Днепропетровск, 1989. – 11 с. – Деп. в ВИНТИ 22.11.89, № 6987-В89.
8. Мазнецова А.В. Разработка прикладных методов расчета силовых резиновых деталей горных вибрационных транспортных машин: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск. – 1990. – 17 с.
9. Расчет стационарных колебаний и диссипативного разогрева нелинейных вязкоупругих тел при периодическом нагружении / Сенченков И.К., Дырда В.И., Козлов В.И., Терещенко О.П., Мазнецова А.Б. // Прикладная механика. – 1986. – 22, № 6. – С.49-55.
10. Дырда В.И., Сенченков И.К., Мазнецова А.В., Твердохлеб Т.Е. Универсальный конструкционно-деформационный параметр и  $\beta$ -метод в механизме деформирования резиновых деталей // Тр. II Международного симпозиума по механике эластомеров, июнь 1997 г. – Днепропетровск: Полиграфист, 1997. – С. 204-234.

УДК 622.647.2

Кирия Р.В., Максютенко В.Ю., Мостовой Б.И.

## О КРИТИЧЕСКОМ УГЛЕ НАКЛОНА ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ЛОТКА

Вивчено питання руху по лотку насипного вантажу з урахуванням його структурно-механічного стану. Знайдено значення критичного кута нахилання лотка до горизонту з урахуванням співвідношення діаметру частинок насипного вантажу до глибини потоку. Це дозволяє вибрати кути нахилання лотка, які виключають завали та стрибки швидкості потоку.

### ON CRITICAL ANGLE OF INCLINE OF RECTILINEAR CHUTE

The question of movement of piled up load on the chute with regard for its structural and mechanical condition is studied. The value of critical angle of chute incline to the horizon with regard for the correlation of diameter of fractions to the depth of flow is found, that allows to choose the angles of its incline under which blockages and sudden changes of the flow speed are excluded.

Опыт эксплуатации конвейерных линий на горных предприятиях показал их низкую надежность и эффективность работы из-за частых отказов перегрузочных узлов. При этом одной из главных причин, вызывающих отказы перегрузочных узлов ленточного конвейера, являются завалы лотков.

Анализ литературных источников показал, что процесс движения насыпного груза по лотку недостаточно изучен. В них в полной мере не учитывается структурно-

механическое состояние насыпного груза. Поэтому выбор параметров лотка и его угла наклона в ряде случаев недостаточно обоснован.

В работах [1-3] насыпной груз при движении по лотку рассматривается как сыпучее тело, находящееся в предельном состоянии, для которого внутренние напряжения подчиняются закону Кулона

$$\tau = f\sigma,$$

где  $\tau$  – внутренние касательные напряжения, Н/м<sup>2</sup>;  
 $\sigma$  – внутренние нормальные напряжения, Н/м<sup>2</sup>;  
 $f$  – коэффициент внутреннего трения насыпного груза.

В работах [4-6] насыпной груз при движении по лотку рассматривается как сыпучая среда, находящаяся как в вязко-пластичном состоянии (медленное движение), так и в свободно-дисперсном состоянии (быстрое движение).

При этом если насыпной груз при движении по лотку находится в вязко-пластичном состоянии, то его частицы сцеплены между собой и для внутренних напряжений справедлив закон Кулона. Если насыпной груз при движении по лотку находится в свободно-дисперсном состоянии, то его частицы не связаны между собой. В последнем случае для внутренних напряжений справедливо соотношение

$$\tau = \frac{1}{3}\rho_c k^2 d^2 \left( \frac{\partial v_c}{\partial y} \right)^2; \quad \sigma = \frac{1}{3}\rho_c k_1 k^2 d^2 \left( \frac{\partial v_c}{\partial y} \right)^2, \quad (1)$$

где  $\rho_c$  – средняя плотность насыпного груза, Н/м<sup>3</sup>;  
 $k$  – безразмерный коэффициент, равный отношению среднего расстояния потери корреляционной зависимости между частицами к среднему диаметру частиц, зависящий от формы частиц;  
 $k_1$  – безразмерный коэффициент, зависящий от коэффициента трения между частицами и коэффициента восстановления при их ударах;  
 $d$  – средний диаметр частицы насыпного груза, м;  
 $v_c$  – средняя продольная скорость в данной точке насыпного груза, м/с;  
 $y$  – координата, перпендикулярная движению насыпного груза, м.

В случае вязко-пластичного состояния насыпной груз движется по лотку медленно, лоток находится в предзавальном состоянии. В случае свободно-дисперсного состояния насыпной груз движется по лотку быстро, завал на лотке не возникает. Исходя из этого, можно сделать вывод, что модель движения насыпного груза по лотку, рассмотренная в работах [1-3], не учитывает переход насыпного груза в свободно-дисперсное состояние и применима только для медленного движения, т.е. предзавального состояния.

Поэтому будем исходить из моделей движения насыпного груза по лотку, рассмотренных в работах [4-6]

Согласно [5, 6], если начальная скорость потока насыпного груза меньше критического значения  $V_k$ , то насыпной груз при движении по лотку находится в вязко-пластичном состоянии. Если же начальная скорость потока насыпного груза больше

критического значения  $V_k$ , то насыпной груз при движении по лотку находится в свободно-дисперсном состоянии.

При этом критическая скорость и критическая глубина потока насыпного груза определяются из равенств:

$$V_k = \left( \frac{Qg \cos \alpha}{b} \right)^{1/3}; \quad h_k = \left( \frac{Q^2}{gb^2 \cos \alpha} \right)^{1/3}, \quad (2)$$

где  $Q$  – объемный расход, м<sup>3</sup>/с;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  
 $\alpha$  – угол наклона лотка, рад;  
 $b$  – ширина лотка, м.

Из последних равенств имеем

$$\frac{V_k}{gh_k} = \cos \alpha \quad (3)$$

или

$$F_r = \cos \alpha,$$

где  $F_r$  – число Фруда, характеризующее отношение сил инерции к силам внутреннего кулонового трения, обусловленных силой тяжести потока насыпного груза.

Анализ решения уравнения движения насыпного груза по лотку показал, что свободно-дисперсное состояние насыпного груза возникает при углах наклона лотка к горизонту, больших некоторого критического значения  $\alpha_k$ , определяющегося из равенства

$$\operatorname{tg} \alpha_k = \frac{g}{\bar{C}^2}, \quad (4)$$

где  $\bar{C}$  – коэффициент Шези, характеризующий потерю механической энергии при движении потока насыпного груза по лотку, м<sup>0,5</sup>/с.

Согласно [7] коэффициент Шези определяют по формуле:

$$\bar{C} = \sqrt{\frac{0,48g}{\bar{k}_b} \cdot \frac{\bar{h}}{kd}}, \quad (5)$$

где  $\bar{h}$  – средняя глубина потока насыпного груза на лотке, определяемая по формуле

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2}{2},$$

$h_1, h_2$  – глубины потока насыпного груза в начале и в конце лотка, м;

$\bar{k}_b$  – коэффициент, учитывающий энергию влияния бортов, определяется по формуле [5]

$$\bar{k}_b = 1 + k_m \frac{\bar{h}}{b_b},$$

$k_m$  – коэффициент, зависящий от свойств насыпного груза ( $k_m \approx 0,45$ ) [4];

$\bar{k}_b \approx 1$  – для достаточно широких лотков.

Подставим (5) в (4), после преобразования получим

$$\operatorname{tg} \alpha_k = \frac{\bar{k}_b k^2}{0,48} \left( \frac{d}{h} \right)^2. \quad (6)$$

Экспериментальные исследования показали, что для насыпных грузов значение коэффициента  $k$  примерно равно 12 и не зависит от диаметра частиц. Подставляя  $k = 12$  и  $\bar{k}_b = 1$  в (6), получим

$$\operatorname{tg} \alpha_k = 300 \left( \frac{d}{h} \right)^2. \quad (7)$$

Следовательно, значение критического угла наклонного лотка пропорционально квадрату диаметра частиц и обратно пропорционально глубине потока.

На рис. 1. показан график зависимости критического угла наклона лотка от отношения диаметра частиц насыпного груза к глубине потока, т.е. от  $d/h$ , определяемого по формуле

$$\alpha_k = \operatorname{arctg} \left[ 300 \left( \frac{d}{h} \right)^2 \right].$$

Там же показаны экспериментальные точки, полученные в лабораторных условиях, для песка ( $d = 0,3-0,5$  мм) и щебня ( $d = 3-15$  мм).

Из рис. 1 видно, что в пределах изменения  $0,05 < d/h < 1$  экспериментальные точки находятся вблизи теоретической кривой, а в пределах изменения  $0 < d/h < 0,05$  экспериментальные точки находятся довольно далеко от теоретической кривой. В последнем случае критический угол наклона лотка, полученный экспериментально, изменяется в пределах  $30^\circ \leq \alpha_k < 37^\circ$ . Это можно объяснить тем, что для сыпучих грузов ( $d/h < 0,05$ ) критический угол наклона лотка меньше угла внешнего трения груза о лоток  $\alpha_1 = \operatorname{arctg} f_1$ , где  $f_1$  – коэффициент трения груза о дно лотка, т.е.  $\alpha_k \leq 38,7^\circ$  ( $f_1 = 0,8$ ). Поэтому сыпучий груз начинает скользить по лотку раньше, чем произойдет переход из вязко-пластичного состояния сыпучего груза в свободно-дисперсное состояние.

Следовательно, если угол наклона лотка больше угла внешнего трения, то сыпучий груз независимо от диаметра частиц при движении по лотку находится в свободно-дисперсном состоянии, при этом скачков скорости и завалов на лотке не возникает.

Для насыпных грузов ( $d/h \geq 0,05$ ) критический угол наклона лотка больше угла внешнего трения, т.е.  $\alpha_k > 37^\circ$ . Следовательно, если угол наклона лотка

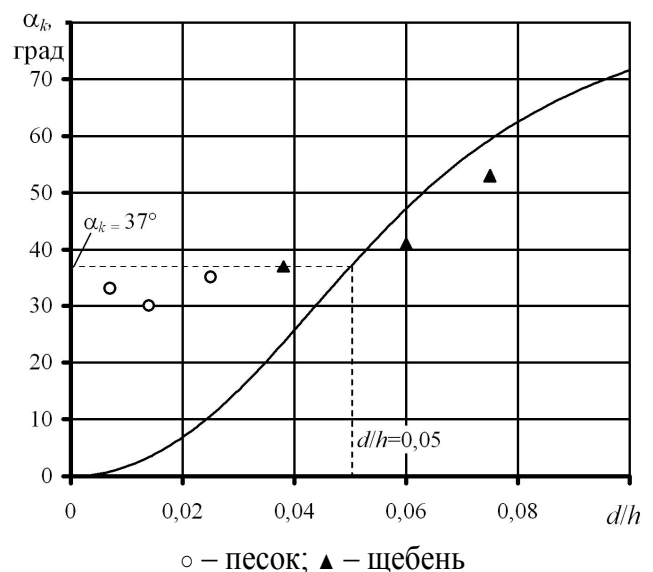


Рис. 1 – График зависимости критического угла наклона лотка от отношения  $d/h$

больше угла внешнего трения, то насыпной груз при движении по лотку в зависимости от диаметра частиц может находиться в вязко-пластичном или свободно-дисперсном состоянии. При этом если угол наклона лотка меньше критического значения  $\alpha_k$ , то на лотке возникает или скачок скорости или завал. Если угол наклона лотка больше критического значения  $\alpha_k$ , то на лотке скачков скорости и завалов не возникает.

В таблице даны рекомендуемые значения углов наклона лотка к горизонту для насыпных грузов при различных значениях  $d/h$ .

Таблица – Рекомендуемые значения углов наклона лотка к горизонту

	Пределы отношений $d/h$					
	0,01-0,05	0,05-0,06	0,06-0,07	0,07-0,08	0,08-0,09	0,09-0,1
$\alpha_k$ , град	37	48	56	63	68	72

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов. -М.: Машиностроение, 1964. - 251 с.
2. Кукса В.П. Определение скорости движения насыпного груза по желобу // Горные, строительные и дорожные машины. - Киев: Техника, 1969. - Вып. 8. - С. 94-98.
3. Тарасов Ю.Д. Загрузка ленточных конвейеров: Учебное пособие. Санкт-Петербургский горный ин-т. -СПб: 1995. - 117 с.
4. Сэвидж С.Г. Гравитационное течение несвязных гранулированных материалов в лотках и каналах // Сб. Механика гранулированных сред; под ред. А.Ю. Ишлинского. -М.: Мир, 1985. -Вып. 36. -С. 86-146.
5. Кирия Р.В. Математические модели движения сыпучей среды по элементам перегрузочных узлов ленточного конвейера // Системные технологии. Математические проблемы технической механики. Сб. науч. трудов. - Днепропетровск. - 2002. - Вып. 2(19). - С. 29-42.
6. Кирия Р.В., Богданов В.М. О движении сыпучей среды по наклонному лотку // Науковий вісник НГУ України. - Днепропетровск. - 2001. - Вып. № 3. - С. 47-51.
7. Кирия Р.В. О коэффициенте внутренних потерь при движении сыпучей среды по элементам перегрузочных узлов ленточных конвейеров // Геотехническая механика. Сб. науч. тр. ИГТМ НАНУ. - Днепропетровск. -2003. - №41. -С. 159-167.

УДК 622.73:621.926.002.75

Афанасьев В.Д., Дырда В.И., Лисица Н.И.,  
Арутюнян А.Р.

## О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ВИХРЕВЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ АГЛОФАБРИК

Розглядається віброізоляція вихрових змішувачів аглофабрик з врахуванням впливу перекриття як системи з розподіленими параметрами.

### ABOUT SOME HABITS OF VIBRATION INSULATION OF WHIRLWIND BLENDING MACHINES OF SINTERING PLANTS

Vibration insulation of whirlwind blending machines of sintering plants is observed in view of effect of overlapping as distributed parameter systems.

Ранее [1, 2] рассматривались некоторые аспекты виброизоляции вихревых смесителей. Целью настоящей работы является учет влияния перекрытия (как системы с распределенными параметрами) на эффективность систем виброизоляции этих смесителей.