

метана и температуре окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобров А.И. Борьба с местными скоплениями метана в угольных шахтах. - М.: Недра, 1988.- 148 с.
2. А.с.СССР № 1652619 Способ дегазации тупика погашаемого штрека. / Мякенький В.И., Калининченко В.Н., Демченко В.Б., Шмиголь А.В. Заявка № 4652544, 20.02.89. Опубл.30.05.91. Бюл. № 30.
3. Алексеенко С.Ф., Мележик В.П. Физика горных пород. Горное давление. - К.: Вища школа. Головное изд-во, 1987.- 279 с.
4. Гофман Ю.В. Законы, формулы, задачи физики. Справочник.- Киев, «Наукова думка», 1977.- 576 с.
5. Горная энциклопедия. Том 2 М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1986.- 575 с.
6. Воронин В.Н. Основы рудничной аэрогазодинамики. Углетехиздат, 1951.

УДК 622.647.2

Канд. техн. наук Р.В. Кирия
(ИГТМ НАН Украины)

О КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ НАСЫПНОГО ГРУЗА В ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ УЗЛАХ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Розглянуто питання руху потоку насипного вантажу в перевантажувальних вузлах стрічкових конвеєрів, що працюють на гірничих підприємствах. Дано фізичний зміст і аналітично визначені критичні швидкості потоку під час руху насипного вантажу по елементах перевантажувальних вузлів стрічкових конвеєрів, при яких насипний вантаж переходить з одного структурно-механічного стану в інший. Визначені умови роботи перевантажувальних вузлів стрічкових конвеєрів без завалів.

ON STALLING SPEED OF MOTION OF PILED UP LOAD IN SHIFTING KNOTS OF BELT CONVEYOR

The question of motion of stream of piled up load in the shifting knots of belt conveyers working on mountain enterprises is considered. Physical meaning and analytical definitions are given to the stalling speeds of stream at the motion of piled up load on the elements of shifting knots of belt conveyers under which piled up load passes from one structural and mechanical state to the other. The conditions of work of shifting knots of belt conveyers without obstructions are defined.

В настоящее время на горнорудных предприятиях Украины и стран СНГ из-за простоты конструкций широкое применение получили пассивные перегрузочные узлы, осуществляющие движение потока груза за счет сил гравитации. Однако к их недостаткам относится низкая надежность и эффективность работы из-за частых завалов.

Анализ работ показал недостаточную изученность процесса движения насыпного груза в перегрузочных узлах ленточного конвейера. В этих работах не учитывается структурно-механическое состояние насыпного груза. Это приводит к необоснованному выбору конструктивных параметров перегрузочных узлов ленточного конвейера и их элементов.

В работах [1-3] показано, что в зависимости от скорости потока насыпной груз может находиться в трех состояниях (фазовых): твердого тела, вязко-пластичном (медленном движении) и свободно-дисперсном (быстром движении).

Если насыпной груз находится в вязко-пластичном состоянии, то внутрен-

ние касательные напряжения превышают силу кулонового трения, в нем образуются блоки (агрегаты) связанных между собой частиц, которые проскальзывают относительно друг друга. При этом касательные напряжения состоят из сил кулонового трения и сил вязкости, обусловленных случайным перескоком частиц на свободные места. Пренебрегая вязкой составляющей сил внутреннего трения ввиду ее малости по сравнению с силами кулонового трения, движение насыпного груза, находящегося в вязко-пластичном состоянии, можно приближенно описать уравнениями предельного состояния. При этом для внутренних напряжений насыпного груза выполняется закон Кулона

$$\tau = f\sigma, \quad (1)$$

где τ – внутренние касательные напряжения, кг/м²; σ – внутренние нормальные напряжения, кг/м²; f – коэффициент внутреннего трения.

Вязко-пластичное состояние насыпного груза возникает, как правило, при небольших скоростях движения насыпного груза.

Если насыпной груз находится в свободно-дисперсном состоянии, то его частицы не связаны между собой и взаимодействуют в результате столкновений (ударов), находясь постоянно в непрерывном хаотическом движении подобно молекулам плотного газа. В этом случае, согласно [2], движение насыпного груза, находящегося в свободно-дисперсном состоянии, описывается уравнениями Навье-Стокса для вязкого несжимаемого газа. При этом внутренние касательные и нормальные напряжения насыпного груза пропорциональны квадрату градиента скорости и равны

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

где ρ_c – средняя плотность насыпного груза, кг/м³; k – безразмерный коэффициент, зависящий от формы частиц; 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; k_1 – безразмерный коэффициент, зависящий от коэффициента трения между частицами и коэффициента восстановления при их ударах.

Свободно-дисперсное состояние насыпного груза, как правило, возникает при больших скоростях движения насыпного груза. При этом возникает вопрос, при каких условиях происходит переход насыпного груза из вязко-пластичного состояния в свободно-дисперсное состояние и наоборот.

В последнем случае, т.е. с переходом насыпного груза из свободно-дисперсного (быстрого движения) в вязко-пластичное состояние (медленное движение), оно связано с завалами и авариями в перегрузочных узлах ленточного конвейера.

Насыпной груз в перегрузочном узле ленточного конвейера движется под действием силы тяжести по барабану, лотку и по ленте конвейера в месте его

перегрузки на конвейер. При этом на элементарный объем потока насыпного груза действуют силы инерции, обусловленные изменением скорости вдоль поперечного сечения потока насыпного груза и силы кулонового трения, равной весу столба потока насыпного груза, умноженному на коэффициент внутреннего трения.

Отношение этих сил равно

$$\frac{\text{сила инерции}}{\text{сила кулонового трения}} = \frac{V^2}{fgh} = \frac{1}{f} F_r, \quad (3)$$

где V – скорость потока насыпного груза, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; h – глубина потока насыпного груза, м; F_r – число Фруда. ($F_r = V^2 / gh$).

Число Фруда или параметр кинетичности [4,5] характеризует соотношение между силами инерции и тяжести и равен отношению кинетической энергии потока насыпного груза к потенциальной энергии потока в данном сечении, определяемой глубиной потока.

Так как сила внутреннего кулонового трения для потока насыпного груза определяется силой тяжести столба насыпного груза в данном сечении потока, умноженной на коэффициент внутреннего трения, то число Фруда для потока насыпного груза характеризует отношение силы инерции к силе внутреннего кулонового трения потока. В общем случае гравитационного движения насыпного груза, если $F_r < f$, сила внутреннего кулонового трения потока насыпного груза преобладает над силами инерции. Поэтому в результате действия внутренней силы кулонового трения частицы насыпного груза могут только скользить относительно друг друга. При этом насыпной груз движется медленно, находясь в вязко-пластичном состоянии, которое близко к предельному состоянию сыпучей среды [6].

Если $F_r > f$, то сила инерции потока насыпного груза преобладает над силой внутреннего кулонового трения, поэтому, в результате действия силы инерции, связи между частицами насыпного груза разрушаются, и они взаимодействуют за счет ударов. При этом насыпной груз движется с большой скоростью, находясь в свободно-дисперсном состоянии [7].

Если $F_r = f$, то происходит переход насыпного груза из вязко-пластичного состояния в свободно-дисперсное, соответствующие медленному и быстрому движениям. Следовательно, число Фруда является критерием перехода потока насыпного груза из вязко-пластичного состояния в свободно-дисперсное состояние.

Согласно [3], наибольшая критическая скорость и критическая глубина потока насыпного груза при его движении по разгрузочному барабану ленточного конвейера, при которых насыпной груз теряет устойчивость и переходит из вязко-пластичного в свободно-дисперсное состояние, определяются из равенств

$$V_k = \left(\frac{Qgn_1}{b} \right)^{1/3}; \quad h_k = \left(\frac{Q^2}{gb^2n_1} \right)^{1/3}, \quad (4)$$

где Q – объемная производительность конвейера, м³/с; n_1 – продольный коэффициент бокового распора насыпного груза; b – ширина потока насыпного груза, м.

Так как при критической скорости потока насыпного груза между его частицами разрушаются связи и насыпной груз переходит в свободно-дисперсное состояние, то коэффициент продольного бокового распора $n_1 \approx 1$. Исключая в равенствах (4) Q , после преобразования получим

$$\frac{V_k^2}{gh_k} = 1 \quad (5)$$

или

$$F_r = 1.$$

Следовательно, если скорость ленты конвейера $V_n < V_k$, то $F_r > 1$ и насыпной груз при движении по барабану ленточного конвейера находится в свободно-дисперсном состоянии.

Если $V_n > V_k$, то $F_r < 1$ и насыпной груз при движении по барабану ленточного конвейера находится в твердом или вязко-пластичном состоянии.

При движении насыпного груза по лотку согласно [3,8] критическая скорость и критическая глубина потока, при которой поток насыпного груза устойчив и переходит из вязко-пластичного в свободно-дисперсное состояние, определяются по формулам

$$V_k = \left(\frac{Qgn_2 \cos \alpha}{b_1} \right)^{1/3}, \quad h_k = \left(\frac{Q^2}{gb_1^2 n_2 \cos \alpha} \right)^{1/3}, \quad (6)$$

где n_2 – коэффициент продольного бокового распора; α – угол наклона лотка к горизонту, рад; b_1 – ширина лотка, м.

Учитывая, что при критической скорости $n_2 = 1$, и исключая Q из равенств (6), получим

$$\frac{V_k^2}{gh_k} = \cos \alpha \quad (7)$$

или

$$F_r = \cos \alpha.$$

Следовательно, если скорость потока насыпного груза на входе в лоток меньше критического значения, т.е. $V_c < V_k$, то насыпной груз при движении по

лотку находится в вязко-пластичном состоянии. Если $V_c > V_k$, то насыпной груз при движении по лотку находится в свободно-дисперсном состоянии.

При движении насыпного груза по ленте в месте ее погрузки на конвейер согласно [3, 9], критическая скорость и критическая глубина, при которых насыпной груз переходит из вязко-пластичного в свободно-дисперсное состояние, определяются по формулам

$$V_k = \left(\frac{Qg \cos \beta}{b_{\sigma}} \right)^{1/3}; \quad h_k = \left(\frac{Q^2}{gb_{\sigma}^2 \cos \beta} \right)^{1/3}, \quad (8)$$

где b_{σ} – расстояние между направляющими бортами, м; β – угол наклона конвейера к горизонту, град.

Исключая Q из равенств, получим

$$\frac{V_k^2}{gh_k} = \cos \beta \quad (9)$$

или

$$F_r = \cos \beta.$$

Следовательно, если начальная скорость насыпного груза при движении по ленте конвейера меньше критического значения, т.е. $V_c < V_k$, то насыпной груз при движении по ленте конвейера находится в вязко-пластичном состоянии.

Если $V_c > V_k$, то насыпной груз при движении по ленте конвейера находится в свободно-дисперсном состоянии.

Критическая скорость потока насыпного груза при его движении по элементам перегрузочных узлов ленточного конвейера зависит от объемной производительности конвейера, ширины потока и не зависит от физико-механических свойств груза. Это объясняется тем, что переход насыпного груза из вязко-пластичного состояния в свободно-дисперсное состояние определяется соотношением силы инерции и силы кулонового трения, обусловленной весом столба потока насыпного груза.

На рис. 1 показана зависимость критической скорости потока скального насыпного груза ($\rho_c = 2,8 \text{ т/м}^3$) от его ширины для различных производительностей (1000÷5000 т/ч).

Из графиков видно, что при заданной производительности конвейера с увеличением ширины потока насыпного груза критическая скорость потока падает, а с увеличением производительности критическая скорость потока увеличивается.

Для ленточных конвейеров, транспортирующих скальные грузы ($\rho_c = 2,8 \text{ т/м}^3$), при $Q = 4000 \text{ т/ч}$ и $b = 1,4 \text{ м}$ скорость потока насыпного груза в перегрузочном узле должна быть больше критической $V_k = 1,4 \text{ м/с}$.

Для подземных конвейеров угольных шахт, у которых производительность не превышает $Q = 2000 \text{ т/ч}$, а ширина потока $b = 1,2 \text{ м}$, критическая скорость

потока насыпного груза равна $V_k = 1,72$ м/с ($\rho_c = 0,9$ т/м³). Следовательно, для обеспечения нормальной работы перегрузочных узлов подземных конвейеров угольных шахт скорость их ленты должна быть не меньше $V_n = 1,72$ м/с.

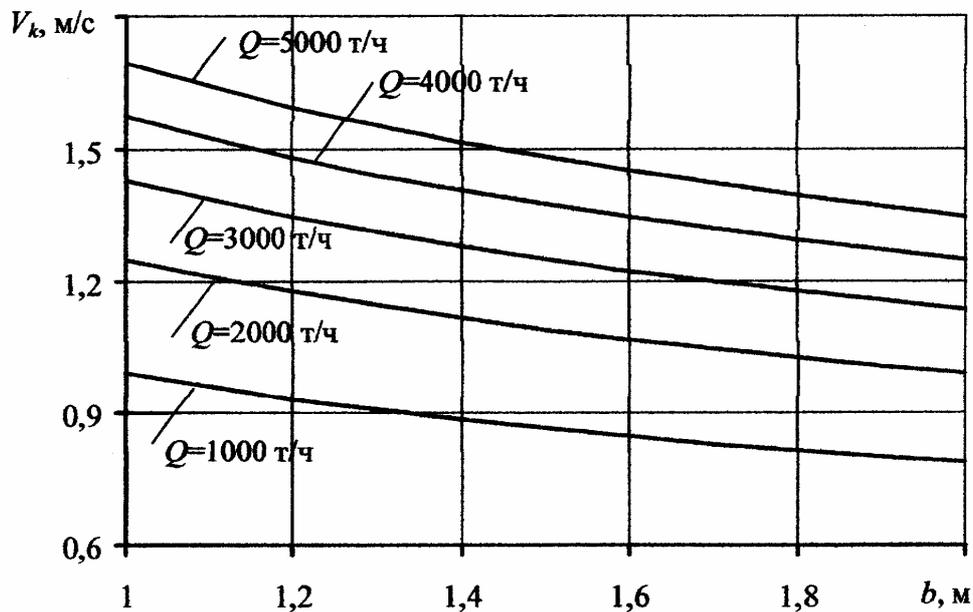


Рис. 1 – График зависимости критической скорости потока насыпного груза в перегрузочных узлах ленточных конвейеров от ширины потока

Для обеспечения нормальной работы перегрузочных узлов ленточных конвейеров, транспортирующих насыпные грузы на открытых горных предприятиях, при $Q = 5000$ м³ и $b = 1,8$ м скорость ленты конвейера должна быть не меньше критической скорости, равной $V_k = 1,72$ м/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирия Р.В. Уравнения движения сыпучего груза в перегрузочных узлах ленточных конвейеров // Геотехническая механика: Сб. науч. тр. ИГТМ НАНУ. - Днепропетровск. - 1998. - № 6. - С. 116-122.
2. Кирия Р.В. Кинетический подход к выводу уравнений движения сыпучих сред // Вісник Дніпропетровського Державного Університету: Механіка: Зб. наук. пр. - Днепропетровск: ДГУ. - 1999. - №. 2. - С. 143-150.
3. Кирия Р.В. Математические модели движения сыпучей среды по элементам перегрузочных узлов ленточного конвейера // Системные технологии. Математические проблемы технической механики: Регион. междунар. сб. науч. тр. - Днепропетровск: Системные технологии. - 2002. - № 2(19). - С. 29-42.
4. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. - М.: Наука, 1987. - 432 с.
5. Константинов Ю.М. Гидравлика. - Киев: Вища школа, 1981. - 360 с.
6. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов. - М.: Машиностроение, 1964. - 251 с.
7. 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.
8. Кирия Р.В., Богданов В.М. О движении сыпучей среды по наклонному лотку // Науковий вісник НГУ України: Зб. наук. пр. - Дніпропетровськ. - 2001. - № 3. - С. 47-51.
9. Кирия Р.В., Стаховский Е.А., Мищенко Т.Ф. О взаимодействии сыпучей среды с лентой в месте погрузки на конвейер // Сборник научных трудов Национального горного университета. - Днепропетровск. - 2003. - № 16. - С. 180-188.