

УДК 622.647.2+622.69390

Т.В. АЛЕКСАНДРОВА, ГП «ГПИ «Кривбасспроект»

ПРОЦЕССЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КУСКОВОЙ РУДЫ С ЛЕНТОЙ НАКЛОННОГО КОНВЕЙЕРА ПРИ ЕЕ ПОПЕРЕЧНОМ ПОРЫВЕ

В статье рассмотрены процессы динамического взаимодействия крупных кусков со слоем руды и с лентой наклонного конвейера при ее скоростном сходе вниз в случае поперечного порыва, а так же рассмотрены причины и процесс сброса этих кусков с конвейера.

Конвейер, конвейерная лента, жесткость ленты, упругий удар, поперечный порыв ленты

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время транспортировка руды с нижних горизонтов на борт карьера производится, как правило, при помощи мощных магистральных конвейеров, протянувшихся на сотни метров. Наиболее уязвимым элементом конвейера является лента, именно проблемы с конвейерной лентой вызывают максимальное количество аварий на конвейерах. Исследование динамических процессов, происходящих на конвейере при сходе ленты вниз, позволит найти пути предотвращения разрушения элементов конвейера и снижение затрат на ликвидацию результатов аварии.

Изложение материала и результаты. Скоростной сход вниз грузовой ленты в результате аварии оказывает разрушительное воздействие на все элементы конвейера. При этом измочаливается и рвется лента, выходят из строя роlikоопоры, привод и конвейерный став, а если происходит транспортирование крупнокусковой руды, то самые крупные куски могут вылетать за ограждение конвейера и травмировать обслуживающий персонал.

Рассмотрим удар крупного куска руды при падении его на грузую конвейерную ленту. При ударе куска руды по ленте она ведет себя как «батут». Вначале под влиянием динамической нагрузки лента прогибается, а затем она подбрасывает этот кусок вверх [5].

Для исследования этого процесса заменим систему руда-лента одной пружиной, эффективную жесткость которой обозначим через c . Такая система в первом приближении представляет систему двух пружин, которые соединены последовательно.

Согласно (рис.1) растяжение эквивалентной пружины [6]

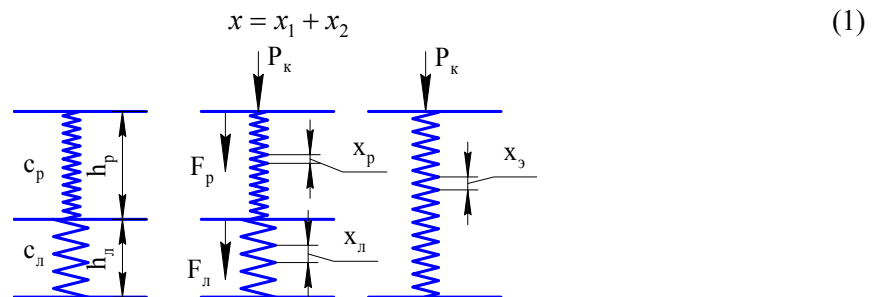


Рис. 1. К расчету эквивалентной жесткости c системы «транспортируемая масса породы - лента транспортера» где c_p - жесткость слоя руды; c_l - жесткость ленты

Поскольку растяжения ленты обусловлены действием силы P , то

$$x_1 = \frac{P}{c_p}; \quad x_2 = \frac{P}{c_l}, \quad (2)$$

Следовательно

$$\frac{P}{c} = \frac{P}{c_p} + \frac{P}{c_l} \quad (3)$$

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_p} + \frac{1}{c_l}$$

Отсюда

$$\frac{1}{c} = \frac{c_p + c_l}{c_p \cdot c_l}; \tilde{n} = \frac{\tilde{n}_\delta \cdot \tilde{n}_\varepsilon}{\tilde{n}_\delta + \tilde{n}_\varepsilon}. \quad (4)$$

К таким же соотношениям можно прийти, рассматривая податливость слоя руды и ленты. Обозначим податливость слоя руды на ленте через δ_δ , а податливость ленты через δ_ε . Заменяем эти два слоя одним эквивалентным, податливость которого равна δ

$$\delta = \delta_p + \delta_l \quad (5)$$

Перейдем к эффективной жесткости c , где $\tilde{n} = \frac{1}{\delta}$,

тогда

$$\frac{1}{\tilde{n}} = \frac{1}{\tilde{n}_\delta} + \frac{1}{\tilde{n}_\varepsilon}. \quad (6)$$

Определим прогиб системы «лента конвейера + слой руды» при падении на него куска руды и будем считать, что кусок руды после касания слоя не отбрасывается, а движется вниз вместе с этой системой как единое целое (коэффициент восстановления системы равен нулю) [6]

Обозначим массу падающего куска породы, который падает с высоты H_κ через m_κ , а массу породы, лежащей на ленте конвейера вместе с массой последней через m_p . Будем считать, что удар куска руды о массу будет не «неупругим». Под массой m_p понимаем некоторую эффективную массу, которая вовлекается ударяющимися кусками. При неупругом ударе скорость системы масс $(m_\kappa + m_p)$ определяем из следующих соображений. Скорость куска перед ударом (в момент удара) равна v_κ . Из закона сохранения энергии следует

$$\frac{m_\kappa v_\kappa^2}{2} = m_\kappa g H_\kappa \quad (7)$$

Отсюда

$$v_\kappa^2 = 2gH_\kappa \quad (8)$$

Из закона сохранения количества движения находим $(m_\kappa + m_p)v_1 = m_\kappa v_\kappa$

Отсюда

$$v_1 = \frac{m_\kappa v_\kappa}{m_\kappa + m_p} = \frac{m_\kappa \sqrt{2gH_\kappa}}{m_\kappa + m_p} \quad (9)$$

Записываем закон сохранения энергии

$$\frac{1}{2}(m_\kappa + m_p)v_1^2 + (m_\kappa + m_p)g\Delta h_1 = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{m_p g}{c} + \Delta h_1 \right)^2 - \left(\frac{m_p g}{c} \right)^2 \right] \quad (10)$$

где Δh_1 - дополнительный прогиб ленты от удара по ней куска руды.

Отсюда

$$\Delta h_1^2 = \frac{2m_\kappa g}{c} \cdot \Delta h_1 - \frac{m_\kappa g + m_p g}{(m_\kappa g + m_p g)^2} \cdot \frac{2(m_\kappa g)^2 \cdot 2gH_\kappa}{2cg} \quad (11)$$

Решая уравнение (11), находим

$$\Delta h_1 = \frac{m_p g}{c} + \sqrt{\frac{(m_l g)^2}{c^2} + \frac{2(m_\kappa g)^2 H_\kappa}{(m_l + m_p)cg}} \quad (12)$$

Уравнение (12) дает возможность вычислить дополнительный прогиб системы «конвейерная лента + слой руды» под действием падающего на нее куска руды (рис. 2).

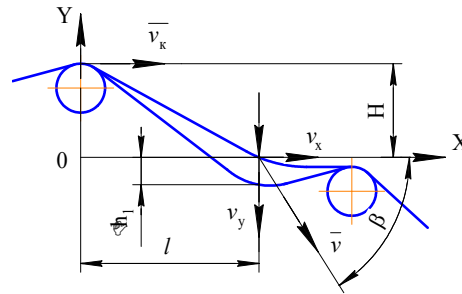


Рис. 2. Дополнительный прогиб Δh_1 системы «конвейерная лента + слой руды» под действием падающего куска руды

Проанализируем процесс падения куска руды на наклонную ленту конвейера. Обозначим вектор скорости бросания куска \bar{v}_e и для простоты рассуждений направим этот вектор горизонтально и запишем кинематические формулы полета такого куска:

$$l = v_k t; \quad v \cdot \cos \beta_n = v_e$$

$$0 = H - \frac{gt^2}{2}; \quad -v \cdot \sin \beta_n = -gt$$

где \bar{v} - вектор скорости куска породы при падении на наклонную ленту конвейера; $\beta_i = (\bar{v})$ - угол, составленный вектором скорости \bar{v} и горизонтом; t - время полета куска руды $t = \sqrt{2H/g}$

Из этих соотношений находим

$$\text{скорость куска руды при ударе о ленту } v = \sqrt{v_e^2 - (gt)^2} = v_e \sqrt{1 + \frac{2gl}{v_e^2}}$$

$$\text{угол } \beta_i \quad \text{tg} \beta_n = \frac{gt}{v_e}; \quad \beta_n = \text{arctg}(\sqrt{2gH}/v_k)$$

Приведенные соотношения показывают, что с увеличением высоты H угол β_i увеличивается, а при увеличении начальной скорости v_k бросания куска руды он уменьшается. Величина горизонтальной проекции скорости v_k увеличивается при увеличении начальной скорости бросания куска и при увеличении высоты H его полета.

Далее рассмотрим неупругий удар куска руды по системе «лента + слой руды» (коэффициент восстановления не равен нулю) Это происходит тогда, когда кусок руды, падающий с определенной высоты, соударяется с лежащим на ленте куском руды (рис.3)

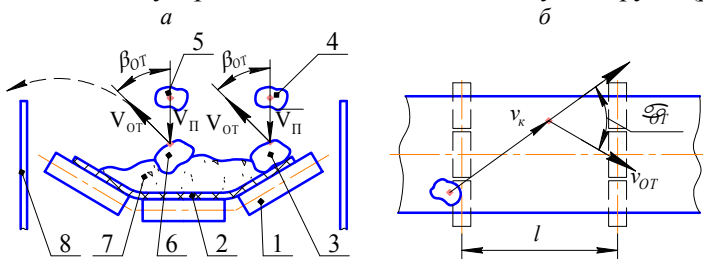


Рис. 3. Схема разлета кусков руды при скоростном сходе ленты

Рассмотрение подобных случаев необходимо при исследовании отбрасывания падающих кусков руды. Коэффициент восстановления двух кусков руды после соударения K [5] определяется как

$$K = \left| \frac{u_n}{v_n} \right| \quad (13)$$

где u_n - нормальная составляющая скорости куска породы в конце удара; v_n - нормальная составляющая скорости куска при касании ленты (в начале удара); $\alpha_{от}$ - угол отброса куска руды в горизонтальной плоскости.

Считая, что скорость куска породы в момент касания ленты известна, определим скорость этого же куска в момент отскакивания. Согласно теореме об изменении количества движения для тангенциальной составляющей скорости

$$m_k u_n - m_k v_n = F_{mp} t_{y\delta} \quad (14)$$

где F_{mp} - сила трения куска породы по руде; $t_{y\delta}$ - время удара, которое имеет величину порядка 10^{-3} - 10^{-4} с.

Поэтому в первом приближении $F_{mp} t_{y0} \approx 0$

Следовательно и $m_k u_n - m_k v_n \approx 0$

$$u_n \approx v_n \quad (15)$$

т.е., пренебрегая смещением куска породы, находим, что тангенциальная составляющая скорости куска породы не изменяется. Для нормальной составляющей из (13) находим

$$u_n = K v_n \quad (16)$$

Модуль скорости центра масс куска породы после удара равен

$$u = \sqrt{(u_n)^2 + (v_n)^2} = v_n \sqrt{\sin^2 \alpha_{OT} + K^2 \cos^2 \alpha_{OT}} \quad (17)$$

Рассмотрим процесс соударения двух кусков руды на ленте конвейера

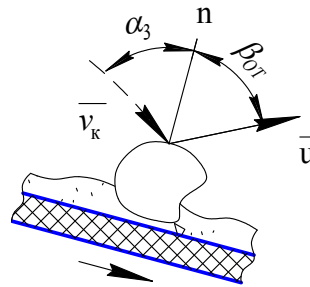


Рис. 4. Схема к расчету соударения двух камней на ленте конвейера

Согласно рис. 4

$$K = \frac{U \cos \beta_{OT}}{v \cos \alpha_n} = \frac{\sin \alpha_n \cdot \cos \beta_{OT}}{\cos \alpha_n \cdot \sin \beta_{OT}} = \frac{\operatorname{ctg} \beta_{OT}}{\operatorname{ctg} \alpha_n}$$

$$\operatorname{ctg} \beta_{OT} - K \operatorname{ctg} \alpha_n; \beta_{OT} = \operatorname{arctg}(K \operatorname{ctg} \alpha_n)$$

где α_n - угол падения куска руды на ленту; β_{OT} - угол отражения (отскока) куска руды в вертикальной плоскости; n - нормаль к касательной линии в точке касания двух кусков руды.

Следовательно, при любом не вполне упругом соударении двух кусков руды ($K \leq 1$) модуль скорости отражения всегда меньше модуля скорости падения и приближении удар можно считать абсолютно не упругим ($K=0$) и угол отражения $\beta_{OT} = 90^\circ$, а скорость отбрасываемого куска руды

$$U = v_n = v \sin \alpha_n$$

Таким образом, при падении куска руды на слой тонко измельченной руды, кусок руды отскакивает от слоя руды, сохраняя лишь касательную составляющую скорости и скользит по поверхности слоя руды. Скорость отброшенных кусков руды может быть довольно большой и углы отскока падающих кусков из-за неопределенности форм соударяющихся кусков могут составлять $0 \leq \alpha_n \leq 90^\circ$. Поэтому и дальность полета таких кусков может составлять значительные расстояния. Полученные аналитические зависимости параметров разлета с наклонного конвейера крупных кусков руды после поперечного порыва его ленты от параметров самого конвейера позволяют предпринимать меры для снижения экономических потерь предприятия от аварий на этих конвейерах.

Разлетающиеся с наклонного конвейера крупные куски руды при скоростном сходе разрушают микроструктуру конвейера. Так они разрушают силовую кабельную систему питания электродвигателей и кабельную разводку систему управления конвейером, которые обычно расположены на стенах горной выработки или галереи. Они так же повреждают системы освещения и пожаротушения, а так же угрожают жизни обслуживающего, оказавшихся во время аварии рядом с конвейером. Знание параметров полета кусков руды позволяет закладывать в проект конструкции наклонного конвейера необходимые решения для предотвращения или снижения последствий аварии и определить тип улавливающего устройства, необходимого для захвата ленты при ее самопроизвольного скоростного схода вниз.

Выводы Моделирование конвейерной ленты и лежащего на ней слоя руды позволяет заметить систему некоторой пружины с эквивалентным коэффициентом жесткости c

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_p} + \frac{1}{c_l}$$

и вычислить дополнительный прогиб ленты с рудой при падении на нее кусков руды.

Учет степени упругости удара падающего куска руды позволяет вычислить скорость отброшенного куска. Эта скорость зависит от первоначальной скорости и коэффициента восстановления соударяющихся кусков. Высота подъема отброшенного куска и дальность его полета могут быть довольно большими и составлять значительные площади покрытия вокруг конвейера. Скорость падающего куска породы в момент его касания с системой «слой руды + лента» зависит от высоты падения H и его начальной скорости. Угол β_n падения куска руды на ленту увеличивается с увеличением высоты H , а при увеличении начальной скорости v_k куска он уменьшается.

Падающие на ленту куски породы при соударении с кусками руды, лежащими на ленте, или при падении на наклонную часть ленты могут быть сброшены с конвейера. При этом может быть повреждена кабельная электросистема питания приводов конвейера и система электроуправления конвейером. Для предотвращения скоростного самопроизвольного движения вниз ленты наклонного конвейера необходимо устанавливать на нем надежные устройства для захвата ленты в самом начале аварии.

Список литературы

1. **Проскурин В.И.** К теоретическому анализу процесса обрыва ленты конвейера. Разработка месторождений полезных ископаемых. Вып. 20. 1970 г. Стр.53.
2. **Барабанов В.Я.** Исследование основных элементов ленточных конвейеров для перемещения крупнокусковых горных пород. Диссертация. М. 1965 г. Стр. 77-81.
3. **Бондарев В.С.** Исследование взаимодействия динамических нагрузок на ленту и роликкоопоры конвейера при транспортировании тяжелых крупнокусковых грузов. Диссертация. М. 1963 г. Стр. 57-66.
4. **Проскурин В.И.** К теоретическому анализу процесса обрыва ленты конвейера. Разработка месторождений полезных ископаемых. Вып. 20. 1970 г. Стр.53.
5. **Курников Ю.А., Новиков В.И., Кузовкин В.А.** Аналитическое исследование поведения ленты уклонного конвейера после ее обрыва. Механизация горных работ. Сб. 75. 1975 г. Стр.283
6. **Лойцянский Л.И., Лурье А.И.** Курс теоретической механики. Т.1. - М.: Гостехиздат, 1955 г. Стр.62-81,135-143, 509-514.
7. **Яблонский А.А.** Курс теоретической механики. Часть 2. Динамика. М. Высшая школа. 1984 г. Стр.261-264.
8. **Волотковский В.С., Нохрин А.Г., Кармаев Г.Д.** Методика измерения и оценка динамических нагрузок от крупнокускового скального материала на ленте вдоль става конвейера. Сб. Горнорудное производство. Транспорт рудных карьеров. Свердловск. 1974 г. с.107
9. **Присецкий Г.В., Клейнерман И.И., Костовецкий В.П.** Динамические нагрузки линейной части ленточных конвейеров при транспортировании крупнокусковых пород. Сб. Горнотранспортное оборудование разрезов. УкрНИИпроект. 1974 г.
10. **В.С., Нохрин А.Г.** и др. Методика измерения и оценки динамических нагрузок от крупнокускового скального материала на ленте вдоль става конвейера. Горнорудное производство. Транспорт рудных карьеров. Свердловск. 1974 г. Вып 45. Труды института горного дела.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.14

УДК 622.233 004.5

НАЗАРЕНКО Н.В., канд. техн. наук, Криворожский национальный университет,
 НАЗАРЕНКО М.В., д-р техн. наук, ГУ «Национальный НИИ промышленной безопасности и охраны труда»,
 ХОМЕНКО С.А., НПП «Кривбассакадеминвест»

К-MINE – БАЗОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

В статье рассматриваются вопросы использования программных решений на базе геоинформационной системы К-MINE при проектировании и ведении буровзрывных работ для предприятий с открытым способом добычи полезных ископаемых с целью повышения качества подготовки горной массы и оптимизации технологических процессов бурения и взрывания.