

В.В. Дмитриева, П.Е. Сизин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГОННОЙ НАГРУЗКИ НА ЛЕНТОЧНОМ КОНВЕЙЕРЕ ПРИ ДИСКРЕТНОМ ТРЕХУРОВНЕВОМ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ

Аннотация. Рассмотрена задача определения средней величины погонной нагрузки на ленточном конвейере при дискретном способе регулирования его скорости. Скорость ленточного конвейера переключается между тремя уровнями, полученными из условий минимальности средней скорости конвейера и отсутствия просыпелей. Получены формулы для оценки математического ожидания погонной нагрузки. Оказалось, что при выбранном способе регулирования средняя величина погонной нагрузки составляет приблизительно 75% от номинальной нагрузки. Приведен пример аналитического расчета математического ожидания погонной нагрузки для заданных технических параметров ленточного конвейера. Проведено моделирование формирования загрузки ленточного конвейера. При моделировании поступление грузопотока представлено в виде нормально распределенного случайного сигнала с заданными характеристиками. Система регулирования скорости выполнена на элементах математической логики. Результаты моделирования совпали с данными аналитического расчета. Полученные решения могут быть применены для синтеза управляющей системы, регулирующей скорость магистрального конвейера в зависимости величины входного грузопотока.

Ключевые слова: ленточный конвейер, случайный грузопоток, дискретное регулирование скорости, погонная нагрузка, средняя величина погонной нагрузки, компьютерное моделирование.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-211-219

Низкая эффективность использования конвейерных линий обусловлена тем, что поступающие на ленточные конвейеры от горных машин грузопотоки обладают значительной неравномерностью и носят случайный характер [1], [11], [12]. Высокопроизводительный конвейерный транспорт, который обычно рассчитывается по максимальной производительности комбайнов или других выемочных машин, оказывается значительно недогруженным и в некоторые моменты даже вынужден работать вхолостую. Это приводит к резкому снижению пропускной способности подземного транспорта и значительному увеличению стоимости доставки груза и даже угрозе аварии при

сильной неравномерности грузопотока [2]. Особенную актуальность эта проблема приобретает в случае конвейеров длиной в несколько километров, имеющих изгибы на пути следования [3]. Те же проблемы сохраняют значимость и в случае трубопроводных конвейеров [4].

По существу в настоящее время методике, разработанной в ИГД им. А.А. Скочинского для угольных и сланцевых шахт ширина ленты конвейера выбирается на основании значения максимального минутного грузопотока, поступающего из лавы. Однако, эта величина появляется на конвейере в среднем около 3–5% общего времени работы конвейера, поэтому в остальное

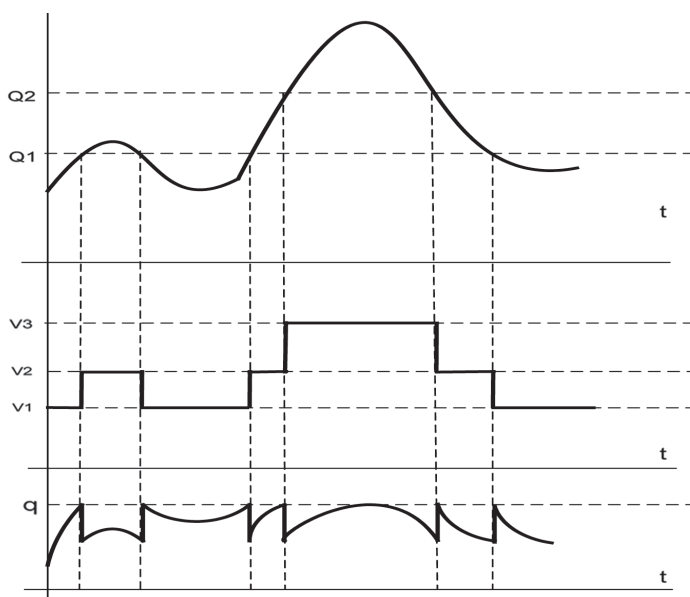


Рис. 1. Изменение скорости движения ленты конвейера и погонной нагрузки в зависимости от величины грузопотока

Fig. 1. Change in the rate and load per unit length of belt as function of load flow size

время конвейер оказывается значительно недоиспользован. Это приводит к снижению технико-экономических показателей конвейеров и повышению стоимости транспортирования груза (т.к. повышается расход электроэнергии, износ лент, редукторов и роликов).

Существенного повышения экономической эффективности можно добиться путем согласования режимов работы и параметров ленточного конвейера с фактическим входным грузопотоком [8].

Регулировать скорость движения ленты конвейера можно двумя способами: дискретно и непрерывно. В этой статье мы рассмотрим дискретное регулирование. Принцип такого регулирования основан на скачкообразном изменении скорости ленты при достижении входным грузопотоком некоторых пороговых значений. Назовем эти пороговые значения «уровни переключения Q_i ». Систему управления в этом случае можно рассматривать как разомкнутую, без обратных связей. Один из основных вопро-

сов для исследования при таком регулировании скорости представляет определение средней погонной нагрузки на конвейере при выбранном алгоритме регулирования, поскольку по величине погонной нагрузки $q(t)$ можно оценивать степень использования ленточного конвейера. Вследствие случайного характера грузопотока погонная нагрузка тоже является случайной величиной. Дополнительная сложность при решении этой задачи заключается в том, что при переключении с одной скорости на другую величина грузопотока изменяется значительно медленнее, чем скорость движения ленты. Переходной процесс в ленте заканчивается примерно за 20–25 с, что соответствует частоте примерно 0,03 Гц, а максимальная частота в спектре грузопотока $\omega_{\max} = 0,003$ Гц, что на порядок ниже.

Для обеспечения постоянной площади сечения груза на ленте регулирование должно осуществляться следующим образом: скорость v_1 включается,

когда поступающий на конвейер грузопоток угля $Q(t)$ находится в интервале $0 < Q(t) \leq Q_1$, скорость v_2 включается, когда $Q_1 < Q(t) \leq Q_2$, скорость v_3 включается, когда $Q_2 < Q(t)$. Изменение грузопотока $Q(t)$, скорости движения ленты $v(t)$ и погонной нагрузки $q(t)$ представлено на рис. 1.

Для выбранного авторами трехуровневого регулирования верхний уровень Q_3 соответствует максимальной величине грузопотока, а меньшие уровни Q_1 и Q_2 определяются из условия минимизации средней скорости ленты конвейера. В этом случае погонная нагрузка определяется следующим образом:

$$q(t) = \varphi(Q) = \begin{cases} \frac{Q(t)}{3,6v_1}, & \text{при } Q(t) \leq Q_1 \\ \frac{Q(t)}{3,6v_2}, & \text{при } Q_1 \leq Q(t) \leq Q_2 \\ \frac{Q(t)}{3,6v_3}, & \text{при } Q_2 \leq Q(t) \leq Q_3 \end{cases} \quad (1)$$

где $Q_3 = Q_{\text{ном}}$. Учитывая случайный характер грузопотока с нормальным распределением интенсивности m_Q и известными математическим ожиданием и дисперсией D_Q , максимальная величина грузопотока может быть представлена как $Q_{\text{ном}} = m_Q + 3\sigma_Q$ [13]. При этом

при каждом переключении скорости $q(t)$ меняется с величины $q_i = Q_i/v_i$ до величины $q_j = Q_j/v_j$. Поставленная задача сводится к определению средней величины погонной нагрузки $q_{\text{cp}} = Q/v$ при изменении ее согласно (1).

Используя формулу

$$M(\varphi(Q)) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(Q)f(Q)dQ,$$

получим

$$M(q) = \frac{1}{v_1} \int_{-\infty}^{Q_1} Qf(Q)dQ + \frac{1}{v_2} \int_{Q_1}^{Q_2} Qf(Q)dQ + \frac{1}{v_3} \int_{Q_2}^{\infty} Qf(Q)dQ, \quad (2)$$

где

$$f(Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(Q-m_Q)^2}{2\sigma_Q^2}\right).$$

Интегралы (2) распространены до бесконечности, потому что вероятности событий $Q > Q_3$ и $Q < 0$ при использовании нормального распределения пренебрежимо малы.

Вычисление интегралов дает: см. (3). Слагаемые формулы (3) — это вклады в математическое ожидание погонной нагрузки пребывания системы на первом, втором и третьем уровнях.

$$M(q) = \frac{1}{v_1} \left[-\frac{\sigma_Q}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(Q_1-m_Q)^2}{2\sigma_Q^2}\right) + m_Q \left(\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{Q_1-m_Q}{\sigma_Q}\right) \right) \right] + \frac{1}{v_2} \left[\frac{\sigma_Q}{\sqrt{2\pi}} \left(\exp\left(-\frac{(Q_1-m_Q)^2}{2\sigma_Q^2}\right) - \exp\left(-\frac{(Q_2-m_Q)^2}{2\sigma_Q^2}\right) \right) + m_Q \left(\Phi\left(\frac{Q_2-m_Q}{\sigma_Q}\right) - \Phi\left(\frac{Q_1-m_Q}{\sigma_Q}\right) \right) \right] + \frac{1}{v_3} \left[\frac{\sigma_Q}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(Q_2-m_Q)^2}{2\sigma_Q^2}\right) + m_Q \left(\frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{Q_2-m_Q}{\sigma_Q}\right) \right) \right]. \quad (3)$$

Вероятность работы конвейера на каждой ступени Q_i определяется по формулам:

$$\begin{aligned}
 P_{v_1} &= \int_0^{Q_1} f(Q) dQ = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{Q_1 - m_Q}{\sigma_Q}\right) \\
 P_{v_2} &= \int_{Q_1}^{Q_2} f(Q) dQ = \Phi\left(\frac{Q_2 - m_Q}{\sigma_Q}\right) - \Phi\left(\frac{Q_1 - m_Q}{\sigma_Q}\right) \\
 P_{v_3} &= \int_{Q_2}^{\infty} f(Q) dQ = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{Q_2 - m_Q}{\sigma_Q}\right)
 \end{aligned} \tag{4}$$

Если слагаемые в (2) разделить на соответствующие вероятности (4) получатся математические ожидания погонной нагрузки для этого уровня. Например математическое ожидание погонной нагрузки для первого уровня :

$$m_{q_1} = \frac{\frac{1}{v_1} \left[-\frac{\sigma_Q}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(Q_1 - m_Q)^2}{2\sigma_Q^2}\right) + m_Q \left(\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{Q_1 - m_Q}{\sigma_Q}\right) \right) \right]}{\Phi\left(\frac{Q_1 - m_Q}{\sigma_Q}\right)}.$$

Теперь используем методику, изложенную в [5], [6]. Введем безразмерные вспомогательные величины x_i следующим образом: $Q_i = m_Q + \sigma_Q x_i$. Это позволит несколько упростить выражение (3):

$$\begin{aligned}
 M(q) &= \frac{1}{v_1} \left[-\frac{\sigma_Q}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x_1^2}{2}\right) + m_Q \left(\frac{1}{2} + \Phi(x_1) \right) \right] + \\
 &+ \frac{1}{v_2} \left[\frac{\sigma_Q}{\sqrt{2\pi}} \left(\exp\left(-\frac{x_1^2}{2}\right) - \exp\left(-\frac{x_2^2}{2}\right) \right) + m_Q (\Phi(x_2) - \Phi(x_1)) \right] + \\
 &+ \frac{1}{v_3} \left[\frac{\sigma_Q}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x_2^2}{2}\right) + m_Q \left(\frac{1}{2} - \Phi(x_2) \right) \right]
 \end{aligned} \tag{5}$$

Пусть скорости ленты v_1 , v_2 и v_3 выбраны так, что для каждого из трех уровней регулирования номинальная нагрузка $q_{\text{НОМ}}$ достигается, когда грузопоток набирает величины Q_1 , Q_2 , Q_3 и выполняются равенства $Q_1/v_1 = Q_2/v_2 = Q_3/v_3 = q_{\text{НОМ}}$. Для вычисленных по методике, изложенной в [5], [6] пороговых значений уровней Q_1 , Q_2 , Q_3 , получаем отношение средней погонной нагрузки к номинальной: $M(q)/q_{\text{НОМ}} = 0,744$, то есть средняя величина погонной нагрузки составляет приблизительно 75% от номинальной. Общее выражение для отношения $M(q)/q_{\text{НОМ}}$ есть

$$\begin{aligned}
 \frac{M(q)}{q_{\text{НОМ}}} &= \frac{1}{m_Q + \sigma_Q x_1} \left[-\frac{\sigma_Q}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x_1^2}{2}\right) + m_Q \left(\frac{1}{2} + \Phi(x_1) \right) \right] + \\
 &+ \frac{1}{m_Q + \sigma_Q x_2} \left[\frac{\sigma_Q}{\sqrt{2\pi}} \left(\exp\left(-\frac{x_1^2}{2}\right) - \exp\left(-\frac{x_2^2}{2}\right) \right) + m_Q (\Phi(x_2) - \Phi(x_1)) \right] + \\
 &+ \frac{1}{m_Q + \sigma_Q x_3} \left[\frac{\sigma_Q}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x_2^2}{2}\right) + m_Q \left(\frac{1}{2} - \Phi(x_2) \right) \right]
 \end{aligned}$$

Нетрудно показать, что это выражение стремится к единице при $\sigma_Q \rightarrow 0$, или при $m_Q \rightarrow 0$, или при $\sigma_Q/m_Q \rightarrow 0$. Это связано с тем, что в данном пределе отношение Q/v незначительно отличается от $Q_3/v_3 = q_{\text{НОМ}}$ во всей существенной области интеграла по Q .

В случае, если скорость ленты не регулируется, а всегда остается равной максимально возможному значению v_3 , получаем для погонной нагрузки

$$M_0(q) = \frac{1}{v_3} \int_{-\infty}^{\infty} Q f(Q) dQ = q_{\text{НОМ}} \frac{m_Q}{Q_3}.$$

Выбранный алгоритм управления можно характеризовать величиной $M(q)/M_0(q)$:

$$\begin{aligned} \frac{M(q)}{M_0(q)} = & \frac{m_Q + \sigma_Q x_3}{m_Q + \sigma_Q x_1} \left[-\frac{\sigma_Q}{\sqrt{2\pi} m_Q} \exp\left(-\frac{x_1^2}{2}\right) + \frac{1}{2} + \Phi(x_1) \right] + \\ & + \frac{m_Q + \sigma_Q x_3}{m_Q + \sigma_Q x_2} \left[\frac{\sigma_Q}{\sqrt{2\pi} m_Q} \left(\exp\left(-\frac{x_1^2}{2}\right) - \exp\left(-\frac{x_2^2}{2}\right) \right) + \Phi(x_2) - \Phi(x_1) \right] + \\ & + 1 \cdot \left[\frac{\sigma_Q}{\sqrt{2\pi} m_Q} \exp\left(-\frac{x_2^2}{2}\right) + \frac{1}{2} - \Phi(x_2) \right] \end{aligned}$$

Это отношение больше единицы и также стремится к единице при $\sigma_Q/m_Q \rightarrow 0$. Для выбранных данных $M(q)/M_0(q) = 1,732$, т.е. за счет дискретного регулирования скорости средняя погонная нагрузка конвейера увеличивается примерно до 73%.

В качестве примера выполним расчет погонной нагрузки. Выберем следующие характеристики грузопотока: $M_Q(t) = 2,37$ т/мин, $\sigma_Q(t) = 0,94$ т/мин, $R(\tau) = e^{-0,249|\tau|}$.

Для взятых исходных данных, используя методику [5], [6], можно получить величины грузопотока, при достижении которых конвейер должен переходить на большую скорость. Это и будут оптимальные уровни регулирования: $Q_1 = 2,4$ т/мин, $Q_2 = 3,54$ т/мин, $Q_3 = 5,32$ т/мин.

Согласно [7], [14], для транспортирования грузопотока с приведенными выше характеристиками используем конвейер с лентой шириной 800 мм, с трехроlikовой роlikоопорой, то при нормальной работе конвейера его минутная производительность равна:

$$Q_{\text{НОМ}} = 60 F v_{\text{НОМ}} \gamma, \text{ т/мин}, \quad (6)$$

где F — площадь поперечного сечения материала на ленте, м^2 ; $v_{\text{НОМ}}$ — номинальная скорость конвейера, м/с ; γ — плотность сыпного груза, т/м^3 .

Площадь поперечного сечения F определяется при условии, что груз занимает на ленте шириной B величину $b = 0,9B - 0,05$, так называемую рабочую ширину ленты. В этом случае заполнение ленты близко к номинальному. Положив производительность конвейера близкой к Q_3 , максимальной величине грузопотока, получим возможность определить номинальную скорость ленты.

Для конвейера с выбранными технологическими параметрами $v_{\text{НОМ}} = Q_{\text{НОМ}}/60 F \gamma = 1,5$ м/с , но так как приемная способность конвейера должна быть не меньше $Q_{\text{макс}}$, поэтому положим величину номинальной скорости $v_{\text{НОМ}} = 2$ м/с .

Согласно (6), скорость конвейера линейно зависит от его производительности, следовательно, и уровни скорости зависят от уровней Q_1 , Q_2 , Q_3 . В рассматриваемом расчете они равны: $v_1 = 0,9$ м/с , $v_2 = 1,3$ м/с , $v_3 = 2$ м/с .

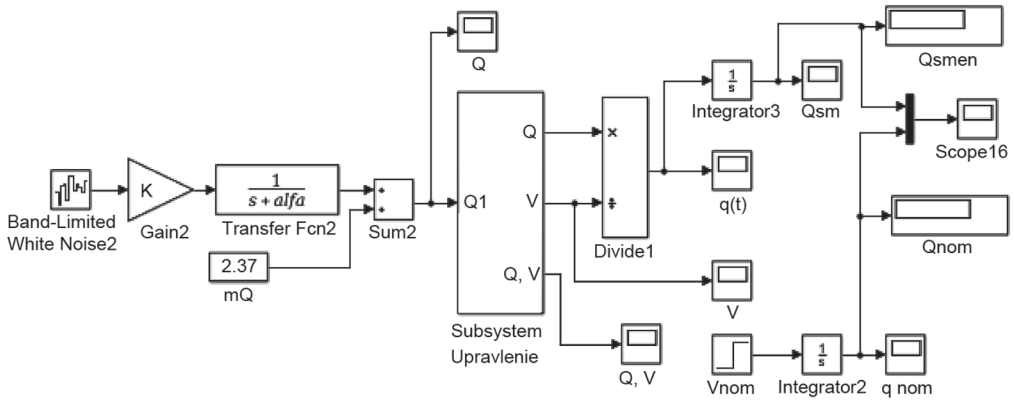


Рис. 2. Схема моделирования средней величины погонной нагрузки на конвейере
 Fig. 2. Schematics of modeling average load per unit length of belt conveyor

Теперь рассчитаем математическое ожидание погонной нагрузки:

$$\begin{aligned}
 M(q) = & \frac{1}{0,9} \left[-\frac{0,94}{\sqrt{6,28}} \exp(-0,0005) + 2,37 \left(\frac{1}{2} + \Phi(0,032) \right) \right] \\
 & + \frac{1}{1,3} \left[\frac{0,94}{\sqrt{6,28}} (\exp(-0,0005) - \exp(-0,778)) + 2,37 (\Phi(1,81) - \Phi(0,032)) \right] + \\
 & + \frac{1}{2} \left[\frac{0,94}{\sqrt{6,28}} \exp(-1,81) + m_Q \left(\frac{1}{2} - \Phi(1,81) \right) \right] = 1,9
 \end{aligned}$$

Номинальную нагрузку найдем как $q_{\text{ном}} = Q_{\text{max}}/v_3 = 5,32/2 = 2,66$ т/мин.

Средняя величина погонной нагрузки составляет 72% от номинальной нагрузки.

Теперь для подтверждения расчетов, проведем моделирование. Выполним его в Simulink, входящем в ППП Matlab. Схема моделирования отражает процесс поступления случайного грузопотока с заданными характеристиками $Q(t)$ на ленточный конвейер. Подробно моделирование непосредственно грузопотока описаны в работах [8–10]. Система управления, представленная блоком Subsystem Upravlenie, реализует изменение скорости движения ленты, в зависимости от измеренной величины $Q(t)$. Ее выходной сигнал — скорость $v(t)$. Отношение этих сигналов $q(t) = Q(t)/v(t)$ — текущая погонная нагрузка. Время моделирование составляет 6 ч. Если

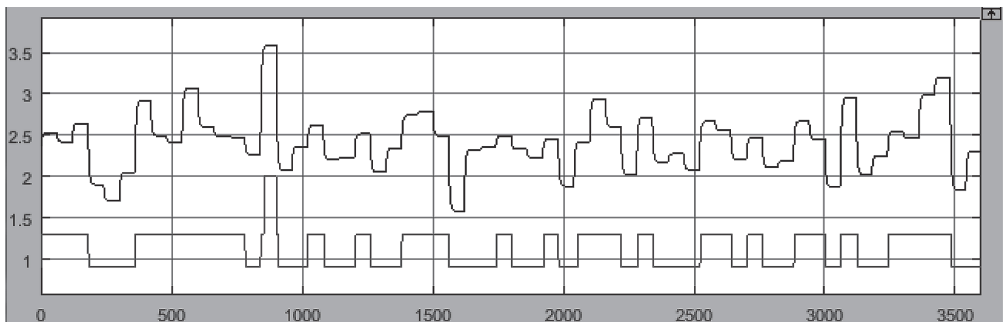


Рис. 3. Изменение величины грузопотока и скорости ленты при дискретном регулировании
 Fig. 3. Variation in load flow size and belt rate under discrete control

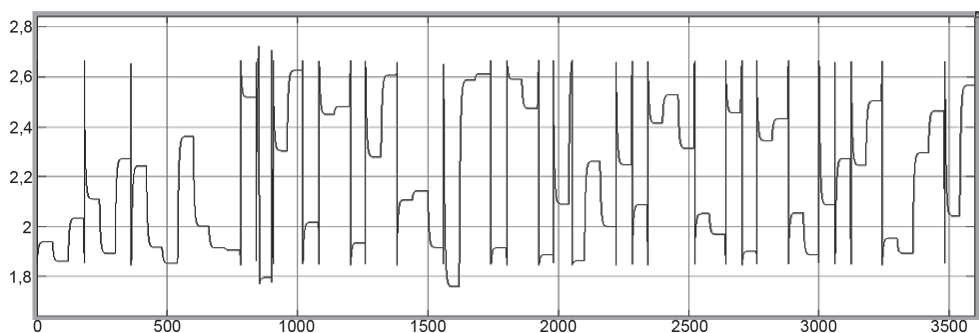


Рис. 4. Погонная нагрузка конвейера при дискретном регулировании

Fig. 4. Load per unit length of conveyor under discrete control

проинтегрировать текущий сигнал $q(t)$, мы получим производительность конвейера за одну смену. Проинтегрировав номинальную нагрузку $q_{\text{ном}}$, получим номинальную производительность, на которую рассчитан конвейер. Текущая загрузка составляет 7864 т за смену, а номинальная 9600 т за смену. Сравнение результатов дает те же рассчитанные 70–75%.

Схема моделирования и результаты приведены на рис. 2–4.

Скорость ленточного конвейера переключается между тремя уровнями, полученными из условий минимальности средней скорости конвейера и отсутствия просыпей. При оценке математического ожидания погонной нагрузки

оказалось, что при выбранном способе регулирования средняя величина погонной нагрузки составляет приблизительно 75% от номинальной нагрузки. Пример аналитического расчета математического ожидания погонной нагрузки для заданных технических параметров ленточного конвейера дал те же результаты. Авторами было проведено моделирование в Matlab формирования загрузки ленточного конвейера в течение смены. Результаты моделирования совпали с аналитическими данными и результатами расчета. Полученные решения могут быть применены для синтеза управляющей системы, регулирующей скорость магистрального конвейера в зависимости величины входного грузопотока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bahke T. Dimensioning and application of belt conveyors with intermediate belt drive (T-T System) // Bulk Solids Handling. 1982. no 1. pp. 47–57.
2. Jennings A., Perrone P., Cornet J. Case study: correcting control problems on Essroc's multidrive station, horizontally curved conveyor // Transactions of the Society for Mining, Metallurgy and Exploration. 2013. Vol. 334. pp. 472–476.
3. Helix delta-T Horizontal Curves / Helix Technologies, 2017. URL: <http://www.helixtech.com.au/T6ConvHorizCurves.aspx> (date of address: 15.07.2017).
4. Pang Y., Lodewijks G. Pipe belt conveyor statics – Comparison of simulation results and measurements // Bulk Solids Handling. 2013, no 1, pp. 52–56.
5. Шахмейстер Л. Г., Дмитриев В. Г., Лобачева А. К. Динамика грузопотоков и регулирование скорости ленточного конвейера. – М.: изд. МГИ, 1974. – 45 с.
6. Шахмейстер Л. Г., Дмитриев В. Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин. – М.: Машиностроение, 1983. – 265 с.
7. Дмитриев В. Г., Вержанский А. П. Основы теории ленточных конвейеров. – М.: изд-во «Горная книга», 2017. – 590 с.
8. Дмитриева В. В. Разработка и исследование системы автоматической стабилизации погонной нагрузки магистрального конвейера. Диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук. – М., 2005. – 162 с.

9. Дмитриева В. В., Полякова Т. Ю. Моделирование случайного шахтного грузопотока в ППП Matlab. — М.: изд-во «Горная книга», 2009. — 27 с.

10. Дмитриева В. В., Сизин П. Е. Теоретический анализ и моделирование суммарного стохастического грузопотока от двух независимых лав на магистральный конвейер // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 9. — С. 190.

11. Дьяченко В. П. Методы описания величины случайного грузопотока ленточных конвейеров горных предприятий на основе ее эмпирических распределений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — № 3. — С. 287–289.

12. Прокуда В. М., Мишанский Ю. А., Проценко С. Н. Исследование и оценка грузопотоков на магистральном конвейерном транспорте ПСП «Шахта «Павлоградская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» // Горная электромеханика. — 2012. — № 88. — С. 107–111.

13. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: Учебник для вузов. 6-е изд. стер. — М.: Высшая школа, 1999. — 576 с.

14. Галкин В. И., Дмитриев В. Г., Дьяченко В. П., Запенин И. В., Шешко Е. Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. — М.: изд-во «Горная книга», 2011. — 545 с. **ИВАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Дмитриева Валерия Валерьевна — кандидат технических наук, доцент, e-mail: dm-valeriya@yandex.ru, РГУ Нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Сизин Павел Евгеньевич — кандидат физико-математических наук, доцент, e-mail: mstranger@list.ru, ИБО НИТУ «МИСиС».

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 9, pp. 211–219.

Determination of load per unit length of belt conveyor under discrete three-level rate control

Dmitrieva V.V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), 119991, Moscow, Russia, e-mail: dm-valeriya@yandex.ru,

Sizin P.E., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor, Institute of Basic Education, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: mstranger@list.ru.

Abstract. The problem on determination of average load per unit length of belt conveyor is discussed for the case of discrete belt rate control. The belt rate has three levels determined from the condition of minimal average belt rate and no spillage. The formulas for estimation of mathematical expectation of load per unit length are obtained. It is found that with this approach to belt rate control, the value of load per unit length makes round 75% of design load. The analytical calculation of mathematical expectation is exemplified in terms of load per unit length at the preset engineering data of belt conveyor. The load formation on belt conveyor is modeled. In the model, the load flow is represented as a normally distributed random signal with the pre-assigned characteristics. The belt rate control is implemented in terms of elements of mathematical logic. The modeling results coincide with the analytical calculation data. The resultant solutions can be used for the synthesis of a control system of the main belt rate against the inlet load flow size.

Key words: belt conveyor, random load flow, discrete rate control, load per unit length, average load per unit length, computer modeling.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-211-219

REFERENCES

1. Bahke T. Dimensioning and application of belt conveyors with intermediate belt drive (T-T System). *Bulk Solids Handling*. 1982. no 1. pp. 47–57.

2. Jennings A., Perrone P., Cornet J. Case study: correcting control problems on Essroc's multidrive station, horizontally curved conveyor. *Transactions of the Society for Mining, Metallurgy and Exploration*. 2013. Vol. 334. pp. 472–476.

3. Helix delta-T Horizontal Curves. *Helix Technologies*, 2017. URL: <http://www.helixtech.com.au/T6ConvHorizCurves.aspx> (date of address: 15.07.2017).

4. Pang Y., Lodewijks G. Pipe belt conveyor statics Comparison of simulation results and measurements. *Bulk Solids Handling*. 2013, no 1, pp. 52–56.
5. Shakhmeyer L. G., Dmitriev V. G., Lobacheva A. K. *Dinamika gruzopotokov i regulirovanie skorosti lentochnogo konveyera* [Dynamics of freight traffic and regulating of the speed of a belt conveyor], Moscow, izd. MGI, 1974, 45 p.
6. Shakhmeyer L. G., Dmitriev V. G. *Veroyatnostnye metody rascheta transportiruyushchikh mashin* [Probabilistic methods for calculating transporting machines], Moscow, Mashinostroenie, 1983, 265 p.
7. Dmitriev V. G., Verzhanskiy A. P. *Osnovy teorii lentochnykh konveyerov* [Grounds of the belt conveyor theory], Moscow, izd-vo «Gornaya kniga», 2017, 590 p.
8. Dmitrieva V. V. *Razrabotka i issledovanie sistemy avtomaticheskoy stabilizatsii pogonnoy nagruzki magistral'nogo konveyera* [Development and research of the system of automatic stabilization of linear load of the main conveyor], Candidate's thesis, Moscow, 2005, 162 p.
9. Dmitrieva V. V., Polyakova T. Yu. *Modelirovanie sluchaynogo shakhtnogo gruzopotoka v PPP Matlab* [Modelling of random mining traffic in AP Matlab], Moscow, izd-vo «Gornaya kniga», 2009, 27 p.
10. Dmitrieva V. V., Sizin P. E. *Teoreticheskiy analiz i modelirovanie summarnogo stokhasticheskogo gruzopotoka ot dvukh nezavisimyykh lav na magistral'nyy konveyer* [Theoretical analysis and simulation of summary stochastic freight traffic from two independent coalfaces on the main conveyor]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 9, pp. 190. [In Russ].
11. D'yachenko V. P. *Metody opisaniya velichiny sluchaynogo gruzopotoka lentochnykh konveyerov gornyykh predpriyatiy na osnove ee empiricheskikh raspredeleniy* [Methods of describing of the random freight traffic value of the band conveyors of mining enterprises on the basis of its empirical distributions]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2007, no 3, pp. 287–289. [In Russ].
12. Prokuda V. M., Mishanskiy Yu. A., Protzenko S. N. *Issledovanie i otsenka gruzopotokov na magistral'nom konveyernom transporte PSP «Shakhta «Pavlogradskaya» PAO «DTEK Pavlogradugol'»* [Investigation and evaluation of the freight traffic on the magistral conveyor transport of the PSP «Mine «Pavlogradskaya» PAO «DTEK»]. *Gornaya elektromekhanika*. 2012, no 88, pp. 107–111. [In Russ].
13. Venttsel' E. S. *Teoriya veroyatnostey: Uchebnik dlya vuzov. 6-e izd.* [Probability theory: Textbook for high schools. 6th edition], Moscow, Vysshaya shkola, 1999, 576 p.
14. Galkin V. I., Dmitriev V. G., D'yachenko V. P., Zapenin I. V., Sheshko E. E. *Sovremennaya teoriya lentochnykh konveyerov gornyykh predpriyatiy* [Modern theory of the belt conveyors of mining enterprises], Moscow, izd-vo «Gornaya kniga», 2011, 545 p.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

НАДЕЖНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СУЭК (2018, № 5, СБ 20, 42 с.)

Коллектив авторов

Руководство СУЭК неотступно ведет линию на повышение безопасности труда персонала компании. Помимо постоянных технологических и технических улучшений производства и условий труда ведется непрерывная работа по повышению квалификации персонала, культуры производства, вовлечению персонала в процесс совершенствования методологического обеспечения безопасности труда. В настоящей брошюре представлен подход к значительному повышению безопасности труда посредством повышения безотказности функционирования системы обеспечения безопасности труда.

Ключевые слова: система обеспечения безопасности труда, безотказность функционирования системы, надежное обеспечение безопасности труда, закон.

RELIABLE SAFETY AT SUEK ENTERPRISES

Team of authors

Guide SUEK relentlessly pursuing a line on increasing the safety of company personnel. In addition to constant technological and technical improvements in production and working conditions, continuous work is being carried out to improve the skills of personnel, culture of production, involvement of personnel in the process of improving the methodological support of labor safety. This brochure presents an approach to significantly improve occupational safety by improving the reliability of the operation of the safety system.

Key words: system of labor safety, reliability of system operation, reliable safety of labor, law.