

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН И ЧИСЛА ОПТИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛЕНТЫ КОНВЕЙЕРА

В.В. Дмитриева<sup>1</sup>, П.Е. Сизин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> РГУ Нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Москва, Россия, e-mail: dm-valeriya@yandex.ru

<sup>2</sup> ИБО НИТУ «МИСиС»

**Аннотация:** Рассмотрен один из способов повышения эффективности использования шахтного ленточного конвейера. Поскольку поступающие на конвейер грузопотоки являются неравномерными, движение конвейера с постоянной скоростью приводит к увеличению стоимости транспортирования полезного ископаемого. Уменьшить затраты на транспортировку можно согласуя скорость движения ленты конвейера с величиной минутного грузопотока. Делать это можно непрерывно и дискретно. При дискретном регулировании скорость движения ленты изменяется скачкообразно при достижении грузопотоком определенного уровня. Таким образом, определение количества таких уровней и их величины — основные задачи, решение которых необходимо при синтезе дискретной САУ скоростью ленты. Предложен способ расчета оптимальных величин пороговых значений грузопотока, при которых должно происходить переключение скорости. Эти уровни получены из условий минимальности средней скорости конвейера и обеспечения максимальной производительности выемочной машины. Для различного количества уровней дискретного регулирования оценивалось качество регулирования. Это делалось по величине математического ожидания отношения погонной нагрузки, полученной с использованием регулирования скорости, к номинальной погонной нагрузке. Сделан вывод о том, что нецелесообразно увеличивать количество уровней регулирования более четырех, так как качество регулирования с увеличением количества уровней растет незначительно. Существенного роста качества регулирования можно добиться, применяя в расчетах модификацию нормального распределения, а именно его усеченную форму.

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, случайный грузопоток, нормальное распределение, дискретное регулирование скорости, погонная нагрузка, оптимальные уровни переключения скорости, качество регулирования.

**Для цитирования:** Дмитриева В. В., Сизин П. Е. Определение величин и числа оптимальных уровней переключения скорости движения ленты конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 6. — С. 147–155. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-147-155.

### Value and number of optimal gear change levels for conveyor belt velocity

V.V. Dmitrieva<sup>1</sup>, P.E. Sizin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russia, e-mail: dm-valeriya@yandex.ru

<sup>2</sup> Institute of Basic Education, National University of Science and Technology «MI SiS», Moscow, Russia

**Abstract:** The article addresses an approach to improvement of mine belt conveyor efficiency. Transported material enters conveyor nonuniformly, and, therefore, conveying at constant velocity results in increased cost of transportation. The haul cost can be cut down through accommodation of the

© В.В. Дмитриева, П.Е. Сизин. 2019.

conveyor belt velocity and transportation volume per minute. The haulage regulation can be continuous and discrete. In the discrete regulation, the belt velocity is changed stepwise as soon as the material flow volume reaches a certain level. Thus, determination of the number and values of such levels is a key problem to be solved in order to synthesize a discrete automatic control of belt velocity. The calculation method is proposed for optimal threshold values of material flow volume to trigger the belt velocity change. The gear change levels are obtained from the conditions of minimum average velocity of belt and maximum productiveness of mining machine. The regulation quality is assessed for different number of the discrete regulation levels. The assessment is implemented by mathematical expectation of ratio between the unit load with velocity regulation and the rated unit load. The authors arrive to a conclusion on inexpediency of more than four gear change levels since regulation quality grows insignificantly with an increase in their number. On the other hand, considerable improvement in regulation quality is achievable through calculations with modified Gaussian distribution, namely, truncated distribution.

**Key words:** belt conveyor, random material flow, Gaussian distribution, discrete velocity regulation, unit load, optimal gear change levels, regulation quality.

**For citation:** Dmitrieva V. V., Sizin P. E. Value and number of optimal gear change levels for conveyor belt velocity. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(6):147-155. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-147-155.

## Введение

Низкая эффективность использования конвейерных линий в настоящее время обусловлена тем, что поступающие на ленточные конвейеры от горных машин грузопотоки являются существенно неравномерными [1], а по существующей в настоящее время методике, разработанной в ИГД им. А.А. Скочинского для угольных и сланцевых шахт ширина ленты конвейера выбирается по величине максимального минутного грузопотока из лавы [2, 3]. Однако, такой грузопоток появляется на конвейере в среднем около 3–5% общего времени работы, поэтому в остальное 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) [4]. Для мониторинга состояния ленты конвейера предлагается установка дополнительного оборудования [5].

Эти потери становятся еще более ощутимыми в случае современных конвейеров, длина которых измеряется километрами [6], или при соединении нескольких

конвейеров [7]. Описанная проблема является актуальной для конвейеров различной конструкции, в том числе и трубчатых [8]. Существенного повышения экономической эффективности можно добиться путем согласования режимов работы и параметров ленточного конвейера с фактическим входным грузопотоком [9].

В этой статье мы рассмотрим дискретное регулирование, принцип которого основан на скачкообразном изменении скорости ленты при достижении входным грузопотоком определенных пороговых значений. Систему управления в этом случае можно рассматривать как разомкнутую, без обратных связей. Назовем пороговые значения уровнями переключения  $Q_i$ . Один из основных вопросов при таком регулировании скорости представляет определение средней погонной нагрузки на конвейере при выбранном алгоритме управления, поскольку по величине погонной нагрузки  $q(t)$  можно оценивать степень использования ленточного конвейера [10]. 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 0,03 Гц, а максимальная частота в спектре грузопотока  $\omega_{\max} = 0,003$  Гц, на порядок ниже [11].

### Алгоритм дискретного регулирования

Для обеспечения постоянной площади сечения груза на ленте алгоритм должен задаваться 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  $Q_2 < Q(t)$ :

$$v(t) = \begin{cases} v_1, & \text{при } Q(t) \leq Q_1 \\ v_2, & \text{при } Q_1 < Q(t) \leq Q_2 \\ v_3, & \text{при } Q_2 < Q(t) \end{cases} \quad (1)$$

Заметим, что нижний уровень скорости не должен быть нулевой. Полная остановка и затем пуск многокилометровой ленты влекут значительные энергетические затраты и увеличивают износ

механизмов [12]. Рассмотрим задачу выбора оптимальных уровней регулирования. При ее решении необходимо выполнить следующие условия [13]:

- конвейер должен обеспечить максимальную технически возможную производительность выемочной машины;
- средняя скорость движения ленты  $v_{\text{ср}}$  должна быть минимальна.

Рассмотрим сначала двухступенчатое регулирование со ступенями регулирования  $v_1$  и  $v_2$ , находящимися в следующем соотношении:  $0 < v_1 < v_2$ . Расчетная скорость ленты связана с производительностью соотношением:

$$v_{\text{рас}} = Q_{\text{рас}} / C, \text{ м/с} \quad (2)$$

где  $C$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от площади сечения груза на ленте, насыпного веса груза. Следовательно,

$$v_1 = Q_1 / C; v_2 = Q_2 / C. \quad (3)$$

При регулировании движения ленты в зависимости от величины грузопотока скорость является величиной переменной, что обеспечивает приблизительно постоянную величину загрузки конвейера [14].

Для обеспечения постоянной площади сечения груза на ленте регулирование

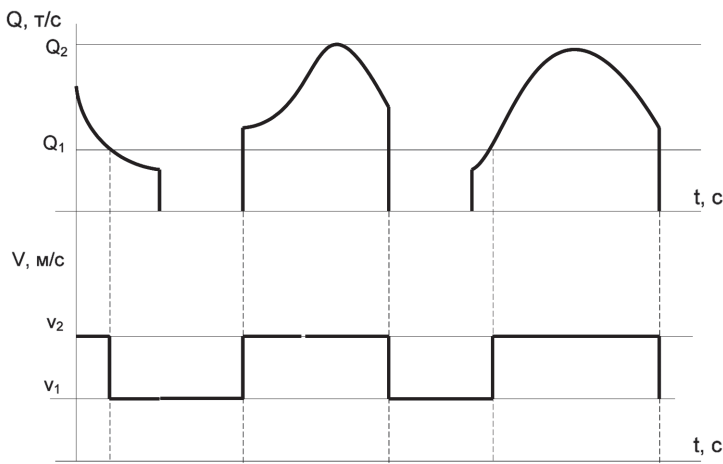


Рис. 1. Движение ленты на разных скоростях в зависимости от  $Q(t)$

Fig. 1. Belt movement at different speeds depending on  $Q(t)$

должно осуществляться согласно (1), как это представлено на рис. 1.

### Определение оптимальных уровней переключений

Переключение конвейера с меньшей скорости на большую происходит при достижении выемочной машиной производительности, которую может обеспечить конвейер, работающий на данной ступени скорости. Будем считать, что верхний уровень известен, он соответствует максимальному грузопотоку из данной лавы, следовательно, скорость  $v_2$  — максимальная скорость движения ленты. Грузопоток угля является случайной величиной, следовательно, работа конвейера со скоростью  $v_1$  — случайное событие. Вероятность этого события:

$$P_{v=v_1} = P\{Q \leq Q_1\} = F(Cv_1). \quad (4)$$

Вероятность работы конвейера на большей скорости:

$$P_{v=v_2} = P\{Q_1 < Q \leq Q_2\} = 1 - F(Cv_1), \quad (5)$$

где  $F(Q) = \int_{-\infty}^Q f(t) dt$  — интегральная функция распределения величины  $Q(t)$ ;  $f(Q)$  — плотность распределения вероятности грузопотока.

Если известна величина  $f(Q)$ , то математическое ожидание средней скорости конвейера определяется по формуле:

$$m_{v_{cp}} = v_1 P(Q < Q_1) + v_2 P(Q > Q_1) = \frac{1}{C} \left[ Q_1 \int_{-\infty}^{Q_1} f(Q) dQ + Q_2 \int_{Q_1}^{\infty} f(Q) dQ \right] \quad (6)$$

Бесконечные пределы интегрирования здесь введены условно, для удобства работы с нормальным распределением. Ясно, что грузопоток неотрицателен и ограничен сверху возможностями добычной машины.

Ранее было сказано, что при рациональном выборе уровней переключения

скорости ленты, средняя скорость  $v_{cp}$  должна быть минимальной. Это условие приводит к минимизации (6) по переменной  $Q_1$ . Производная

$$\frac{dm_{v_{cp}}}{dQ_1} = \frac{1}{C} \left[ \int_{-\infty}^{Q_1} f(Q) dQ + Q_1 f(Q_1) - Q_2 f(Q_1) \right] \quad (7)$$

имеет единственный нуль, определяемый соотношением

$$Q_2 - Q_1 = \frac{F(Q_1)}{f(Q_1)} \quad (8)$$

Это равенство позволяет определить оптимальный уровень  $Q_1$  — точку минимума математического ожидания средней скорости.

Распределение интенсивности грузопотока — нормальное с известными математическим ожиданием  $m_Q$  и дисперсией  $D_Q$ , плотность распределения вероятности

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

Для удобства работы с безразмерными величинами введем вспомогательные переменные  $x_1$  и  $x_2$ , и запишем:

$$x_2 - x_1 = \frac{F(x_1)}{\varphi(x_1)}, \quad (9)$$

где  $x_1 = \frac{Q_1 - m_Q}{\sigma}$ ;  $x_2 = \frac{Q_2 - m_Q}{\sigma}$ ;

$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$  — плотность нормированного распределения величины  $x$ ;

$F(x) = \int_{-\infty}^x \varphi(t) dt = \frac{1}{2} + \Phi(x)$  — функция нор-

мированного нормального распределения величины  $x$  [15].

Отметим, что (9) — трансцендентное уравнение:  $\varphi(x)$  содержит экспоненту, а  $F(x_1)$  вообще не выражается через элементарные функции. Уравнение решается численными методами, строится график зависимости  $x_1$  от  $x_2$ . Очевидно,

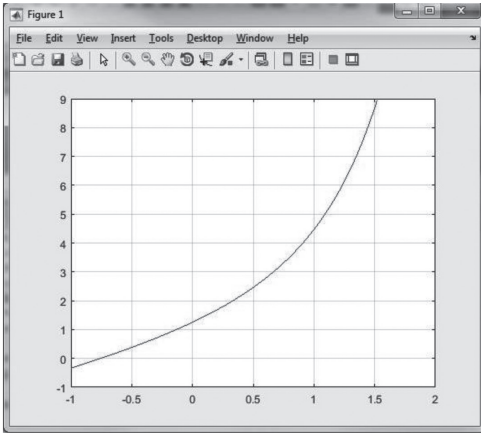


Рис. 2. Зависимость вспомогательных переменных  $x_2(x_1)$   
 Fig. 2. Dependence of auxiliary variables  $x_2(x_1)$

что для каждого  $x_2$  решение уравнения единственно: при положительных  $x_1$  левая его часть является убывающей функцией, а правая – возрастающей.

В Matlabe построена зависимость

$$x_2 - x_1 = \frac{F(x_1)}{\varphi(x_1)},$$

которая затем преобразована в зависимость  $x_2(x_1)$ , график которой представлен на рис. 2. Значение аргумента  $x_2$  целесообразно выбирать близким 3, так как это соответствует вероятности превышения грузопотоком значения уровня  $Q_2$ , равной приблизительно 0,00135.

Аналогичная ситуация возникает и для большего числа уровней дискретного регулирования. Рассмотрим трехступенчатое регулирование с заданным верхним уровнем  $Q_3$  и неизвестными  $Q_1$  и  $Q_2$ . Ступени скорости выбираются  $0 < v_1 < v_2 < v_3$ . В этом случае

$$m_{v_{cp}} = \frac{1}{C} \left[ Q_1 \int_{-\infty}^{Q_1} f(Q) dQ + Q_2 \int_{Q_1}^{Q_2} f(Q) dQ + Q_3 \int_{Q_2}^{\infty} f(Q) dQ \right]. \quad (10)$$

Приравнивая к нулю частные производные (10) по  $Q_1$  и  $Q_2$ , получаем систему уравнений

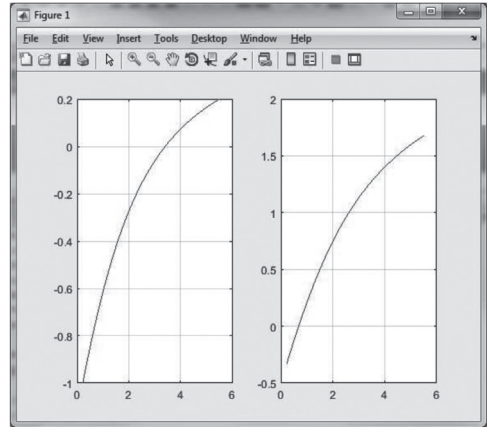


Рис. 3. Зависимости вспомогательных переменных  $x_1(x_3)$  и  $x_2(x_3)$   
 Fig. 3. Dependences of auxiliary variables  $x_1(x_3)$  and  $x_2(x_3)$

$$\begin{cases} Q_2 - Q_1 = \frac{F(Q_1)}{f(Q_1)} \\ Q_3 - Q_2 = \frac{F(Q_2) - F(Q_1)}{f(Q_2)} \end{cases}. \quad (11)$$

Решение системы (11) возможно лишь численными методами. Выразим  $Q_2$  из первого уравнения системы:

$$Q_2 = Q_1 + \frac{F(Q_1)}{f(Q_1)}$$

и проведя описанную замену переменных, получим выражение для  $Q_3$ :

$$Q_3 = Q_1 + \frac{F(Q_1)}{f(Q_1)} + \frac{F\left(Q_1 + \frac{F(Q_1)}{f(Q_1)}\right) - F(Q_1)}{f\left(Q_1 + \frac{F(Q_1)}{f(Q_1)}\right)} \quad (12)$$

После введения вспомогательных переменных эти уравнения были использованы для построения Matlabe зависимостей вспомогательных переменных  $x_1(x_3)$  и  $x_2(x_3)$ , которые представлены на рис. 3.

Для четырехуровневого регулирования зафиксируем верхний уровень  $Q_4$ . Система уравнений принимает вид (мы сразу используем переменные  $x_i$ ):

$$\begin{cases} x_2 - x_1 = \frac{F(x_1)}{\varphi(x_1)} \\ x_3 - x_2 = \frac{F(x_2) - F(x_1)}{\varphi(x_2)} \\ x_2 - x_1 = \frac{F(x_3) - F(x_2)}{\varphi(x_3)} \end{cases} \quad (13)$$

Для следующих уровней система модифицируется аналогично: каждый раз добавляется уравнение вида

$$x_i - x_{i-1} = \frac{F(x_{i-1}) - F(x_{i-2})}{\varphi(x_{i-1})} \quad (14)$$

Анализ этих систем в общем виде затруднителен. Он особенно осложняется в том случае, поскольку мы задаем верхний уровень, тогда значения ниже лежащих уровней являются решениями трансцендентных уравнений. Приведем некоторые численные результаты, позволяющие оценить качество управления в рассматриваемой системе.

### Оценка качества регулирования

Оценим качество предлагаемого регулирования при различном количестве уровней. Вначале рассмотрим трехуровневое регулирование. Распределение величины грузопотока будем полагать нормальным. Введем выражение для математического ожидания отношения погонной нагрузки, полученной с использованием регулирования скорости, к номинальной погонной нагрузке:

$$\eta = \frac{1}{Q_1} \int_{-\infty}^{Q_1} Q f(Q) dQ + \frac{1}{Q_2} \int_{Q_1}^{Q_2} Q f(Q) dQ + \frac{1}{Q_3} \int_{Q_2}^{\infty} Q f(Q) dQ \quad (15)$$

Номинальная нагрузка достигается, когда величина грузопотока достигает

пороговых уровней  $Q_1, Q_2, Q_3$ , а скорость переключается. В работах [10, 14, 16, 17] были получены экспериментальные характеристики грузопотока, например,  $M_Q(t) = 2,37$  т/мин,  $\sigma_Q(t) = 0,94$  т/мин. Примем для простоты оценок  $M_Q(t) = 3$ ,  $\sigma_Q(t) = 1$ , в безразмерных единицах. Для верхнего уровня  $x_3 = 3$  с помощью численных методов были получены значения  $x_1 = -0,064$ ,  $x_2 = 1,128$ , и для величины (15), характеризующей качество управления,  $\eta = 0,78$ . Некоторого увеличения  $\eta$  можно добиться, уменьшая  $x_3$ . Например, для  $x_3 = 2$  найдено  $\eta = 0,82$ . Но в этом случае придется мириться с просыпаниями, вероятность которых при  $x_3 = 2$  равна  $0,5 - \Phi(2) = 0,0228$ .

В работе [18] отмечается, что нормальное распределение недостаточно корректно описывает наблюдающиеся грузопотоки ввиду наличия бесконечных «хвостов», отсутствующих на практике. Одним из вариантов модификации нормального распределения является его усеченная форма с плотностью распределения

$$f(x) = \frac{\varphi(x) - \varphi(\Delta)}{2\Phi(\Delta) - 2\Delta\varphi(\Delta)}, \quad |x| \leq \Delta, \quad (16)$$

У этого распределения отсутствуют «хвосты»: полагается  $f(x) = 0$  при  $|x| > \Delta$ . Повторяя вычисления для усеченного нормального распределения с  $M_Q(t) = 3$ ,  $\Delta = 2$ , получаем  $\eta = 0,83$ , т.е. в случае усеченного варианта распределения качество управления также несколько возрастает.

Все предыдущие результаты получены для очень неравномерных грузопотоков. В случае  $M_Q(t) = 3$  грузопоток меняется, вообще говоря, от 1 до 5. Примерно так же обстоит дело и с изначальным нормальным распределением. Если относительный разброс грузопотока (характеризуемый отношением  $\sigma/M_Q$ ) уменьшается, качество управления возрастает. Рассмотрим величину

$$1 - \eta = \int_{-\infty}^{Q_1} \frac{Q_1 - Q}{Q_1} f(Q) dQ + \int_{Q_1}^{Q_2} \frac{Q_2 - Q}{Q_2} f(Q) dQ + \int_{Q_2}^{\infty} \frac{Q_3 - Q}{Q_3} f(Q) dQ = M \left( \frac{Q_i - Q}{Q_i} \right)$$

характеризующую относительное отклонение величины грузопотока от соответствующего ей уровня регулирования. В аргументе математического ожидания числитель, вообще говоря, пропорционален  $\sigma$ , а знаменатель —  $M_Q$ . Тогда вся дробь пропорциональна  $\sigma/M_Q$ . И действительно, для  $M_Q(t) = 6$ ,  $\sigma_Q(t) = 1$  численный эксперимент дает  $\eta = 0,91$ , а  $1 - \eta = 0,09$  — в два раза меньше, чем для  $M_Q(t) = 3$ ,  $\sigma_Q(t) = 1$ . Если имеется возможность сделать грузопоток более равномерным, например, используя накопительные бункеры, качество управления также очевидно возрастает. Следует, однако, отметить, что чем равномернее грузопоток, тем меньше отношение  $\sigma/M_Q$ , тем меньше в прин-

ципе экономия, получаемая с помощью регулирования скорости.

Для грузопотоков с высокой неравномерностью эффективным может оказаться многоуровневое регулирование. Вновь используем простые модельные данные  $M_Q(t) = 3$ ,  $\sigma_Q(t) = 1$ . Для четырех уровней скорости, принимая верхний равным  $x_4 = 3$ , получим:  $x_1 = -0,465$ ,  $x_2 = 0,431$ ,  $x_3 = 1,383$ , и  $\eta = 0,825$ . Качество управления, как видим, заметно возросло в сравнении с  $\eta = 0,78$  для трех уровней регулирования.

### Выводы

Применение дискретного регулирования скорости даже при небольшом числе уровней переключения позволяет существенно повысить эффективность использования ленточного конвейера за счет уменьшения его средней скорости. Средняя погонная нагрузка при этом, напротив, возрастает, приближаясь к номинальной. Это приближение особенно сильно выражено при малой неравномерности 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. *Дмитриев В. Г., Вержанский А. П.* Основы теории ленточных конвейеров. — М.: изд-во «Горная книга», 2017. — 590 с.
3. *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.
4. *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.
5. *Mumtaj S., Dhamodharan K., Hari Prasad K., Kamesh Gautham B.* Automatic control and protection of Coal Conveyor System using PIC, *Annals of Civil and Environmental Engineering*. 04 May 2018. Pp. 1–10. Heghten Science, DOI: 10.29328/journal.acee.1001009.
6. *Helix delta-T Horizontal Curves / Helix Technologies*, 2017. URL: <http://www.helixtech.com.au/T6ConvHorizCurves.aspx> (date of address: 15.07.2017).
7. *Keerthika R., Jagadeeswari M.* Coal conveyor belt fault detection and control in thermal power plant using PLC and SCADA // *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)* Vol. 4 Issue 4, April 2015.
8. *Pang Y., Lodewijks G.* Pipe belt conveyor statics — Comparison of simulation results and measurements // *Bulk Solids Handling*. 2013, no 1, pp. 52–56.
9. *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.



10. Дмитриева В. В., Сизин П. Е. Определение погонной нагрузки на ленточном конвейере при дискретном трехуровневом регулировании скорости // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 9. — С. 211–219.

11. Мерцалов Р. В. Исследования подземных грузопотоков и установление способов повышения эффективности использования шахтных конвейеров. Диссертация на соискание ученой степени к. т. н., М., 1968

12. R. Vinoth Kumar, Sakthivel V.P., Ruban J, Imran Khan S., Vignesh M. Microcontroller Based Automatic Control & Smart Protection of Coal Conveyor System. National Conference on Emerging Trends in Electronics, Instrumentation, Automation & Control (ETEIAC-17) organized by Department of EIE, Karpagam College of Engineering, 15th Mar 2017, p. 1–7. Special Issue Published in International Journal of Trend in Research and Development (IJTRD), www.ijtrd.com.

13. Шахмейстер Л. Г., Дмитриев В. Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин. — М.: Машиностроение, 1983. — 265 с.

14. Дмитриева В. В., Сизин П. Е. Корреляционный анализ и методы моделирования случайного грузопотока, поступающего на сборный конвейер // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 10. — С. 145–155.

15. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: Учебник для вузов, 2-е изд. стер. — М.: Высшая школа, 2000. — 480 с.

16. Брагин В. В., Шевелев А. Л., Ларичкин Л. Д. Формирование грузопотоков угля из комплексно-механизированных забоев // Сборник научных трудов ассоциации «Кузбасуглетехнология». — 1992. — № 5. — С. 16–29.

17. Кондрахин В. П., Стадник Н. И., Белицкий П. В. Статистический анализ эксплуатационных параметров шахтного ленточного конвейера // Сборник научных трудов Донецкого национального технического университета. — 2013. — Выпуск 2(26). — С. 140–150.

18. 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. **ПТБ**

## 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. Dmitriev V. G., Verzhanskiy A. P. *Osnovy teorii lentochnykh konveyerov* [Grounds of the belt conveyor theory], Moscow, izd-vo «Gornaya kniga», 2017, 590 p.

3. 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.

4. 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.

5. Mumtaj S., Dhamodharan K., Hari Prasad K., Kamesh Gautham B. *Automatic control and protection of Coal Conveyor System using PIC*, *Annals of Civil and Environmental Engineering*. 04 May 2018. Pp. 1–10. Heghten Science, DOI: 10.29328/journal.acee.1001009.

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

7. Keerthika R., Jagadeeswari M. Coal conveyor belt fault detection and control in thermal power plant using PLC and SCADA. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)* Vol. 4 Issue 4, April 2015.

8. Pang Y., Lodewijks G. Pipe belt conveyor statics — Comparison of simulation results and measurements. *Bulk Solids Handling*. 2013, no 1, pp. 52–56.

9. 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.

10. Dmitrieva V. V., Sizin P. E. Determination of the running load on the canvas of the belt conveyor for discrete three-level speed regulation. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018, no 9, pp. 211–219. [In Russ].



11. Mertsalov R.V. *Issledovaniya podzemnykh gruzopotokov i ustanovlenie sposobov povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya shakhtnykh konveyerov* [Study of underground freight traffic and finding ways to improve the efficiency of use of mining conveyors], Candidate's thesis, Moscow, 1968

12. R. Vinoth Kumar, Sakthivel V.P., Ruban J, Imran Khan S., Vignesh M. Microcontroller Based Automatic Control & Smart Protection of Coal Conveyor System. National Conference on Emerging Trends in Electronics, Instrumentation, Automation & Control (ETEIAC-17) organized by Department of EIE, Karpagam College of Engineering, 15th Mar 2017, p. 1–7. Special Issue Published in *International Journal of Trend in Research and Development (IJTRD)*, www.ijtrd.com.

13. Shakhmeyer L. G., Dmitriev V. G. *Veroyatnostnye metody rascheta transportiruyushchikh mashin* [Probabilistic methods for calculating transporting machines], Moscow, Mashinostroenie, 1983, 265 p.

14. Dmitrieva V.V., Sizin P.E. Correlation analysis and methods of modeling of random traffic on the main conveyor. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018, no 10, pp. 145–155. [In Russ].

15. Venttsel' E. S., Ovcharov L. A. *Teoriya veroyatnostey i ee inzhenernye prilozheniya: Uchebnik dlya vuzov, 2-e izd.* [Probability theory and its engineering applications: Textbook for high schools, 2nd edition], Moscow, Vysshaya shkola, 2000, 480 p.

16. Bragin V.V., SHevelev A.L., Larichkin L.D. Formation of coal freight traffic from a fully mechanized faces. *Sbornik nauchnykh trudov assotsiatsii «Kuzbasugletekhnologiya»*. 1992, no 5, pp. 16–29. [In Russ].

17. Kondrakhin V.P., Stadnik N.I, Belitskiy P.V. Statistical analysis of the exploitation parameters of the mine band conveyor. *Sbornik nauchnykh trudov Donetskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta*. 2013. Issue 2(26), pp. 140–150. [In Russ].

18. D'yachenko V. P. 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].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дмитриева Валерия Валерьевна – канд. техн. наук, доцент,  
РГУ Нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина,  
e-mail: dm-valeriya@yandex.ru,

Сизин Павел Евгеньевич – канд. физ.-мат. наук, доцент,  
ИБО НИТУ «МИСиС», e-mail: mstranger@list.ru,

Для контактов: Дмитриева В.В., e-mail: dm-valeriya@yandex.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.V. Dmitrieva, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,  
Gubkin Russian State University of Oil and Gas  
(National Research University),

119991, Moscow, Russia, e-mail: dm-valeriya@yandex.ru,

P.E. Sizin, Cand. Sci. (Phys. Mathem.), e-mail: mstranger@list.ru,  
Institute of Basic Education,

National University of Science and Technology «MISiS»,  
119049, Moscow, Russia.

Corresponding author: V.V. Dmitrieva, e-mail: dm-valeriya@yandex.ru.

