

Уточнение методов расчета грузопотоков конвейерных транспортных систем угольных шахт

О.А. Агафонов¹, Н.Б. Афонина²✉

¹ ООО «Южная угольная компания», г. Москва, Российская Федерация

² Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация

✉ afoninanb20@gmail.com

Резюме: Производительность горного предприятия ограничивается возможностью транспортной подсистемы, повышение эффективности которой является актуальной научно-практической задачей. Изучение процессов формирования и преобразования грузопотоков позволяет уточнить методику проектирования систем непрерывного транспорта. Нормативная методика выбора ленточных конвейеров базируется на представлении о грузопотоках как о нормально распределенных случайных величинах, при этом в качестве основного показателя используется точечная величина – коэффициент неравномерности. Возникают сомнения в методической оправданности такого подхода. Нормальный закон распределения в классическом варианте адекватно описывает случайную величину, изменяющуюся в бесконечных пределах, а реальные шахтные грузопотоки конвейерных линий представляют собой случайные величины с двусторонними ограничениями. Большинство задач по установлению расчетных диапазонов грузопотоков может быть решено на основе использования опытно установленных функций распределения (или плотности вероятностей) случайных величин грузопотоков.

Опираясь на публикации последних лет, а также на собственные экспериментальные исследования, предлагаем описывать грузопотоки кусочно-линейными функциями плотности вероятностей, в частности треугольными, а суммирование грузопотоков производить на основе общих теоретических положений классической теории вероятностей. В статье решена частная задача нахождения аналитического решения суммы двух случайных грузопотоков, заданных треугольными законами распределения, выполнено сравнение результатов численного интегрирования плотностей вероятностей грузопотоков.

Ключевые слова: шахтный грузопоток, методы прогнозирования, ленточный конвейер, плотность распределения грузопотока, функция распределения грузопотока, суммирование случайных грузопотоков

Для цитирования: Агафонов О.А., Афонина Н.Б. Уточнение методов расчета грузопотоков конвейерных транспортных систем угольных шахт. *Горная промышленность*. 2023;(6):89–94. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-89-94>

Refinement of methods for calculating the material flows of conveyor transportation systems in coal mines

O.A. Agafonov¹, N.B. Afonina² ✉

¹ South coal company, Moscow, Russian Federation

² Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

✉ afoninanb20@gmail.com

Abstract: Productivity of a mining enterprise is limited by the possibility of its transportation subsystem, which efficiency improvement is an urgent scientific and practical task. Studying the processes of formation and transformation of material flows allows us to clarify the design methodology of continuous haulage systems. The normative methodology of belt conveyors selection is based on treating the material flows as normally distributed random variables, with the point value, i.e. the irregularity coefficient, being used as the main indicator. There are doubts in methodological justification of such an approach. The normal law of distribution in the classical variant adequately describes a random variable changing within infinite limits, and real mine material flows via the conveyor lines are random variables with unilateral constraints. The majority of tasks on finding the design ranges of material flows can be solved using experimentally established distribution functions (or probability density functions) of random quantities of material flows.

Based on the publications in recent years, as well as on our own experimental studies, it is proposed to describe material flows by piecewise linear probability density functions, in particular the triangular ones, and to summarize material flows on the basis of general theoretical provisions of classical probability theory. The paper solves a particular problem of finding an analytical solution of the sum of two random material flows defined by the triangular distribution laws and compares the results of numerical integration of the probability densities of the material flows.

Keywords: material flow in mine, forecasting methods, belt conveyor, material flow distribution density, material flow distribution function, summing-up of random material flows

For citation: Agafonov O.A., Afonina N.B. Refinement of methods for calculating the material flows of conveyor transportation systems in coal mines. *Russian Mining Industry*. 2023;(6):89–94. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-89-94>

Введение

Удаление горной массы, состоящее из погрузки и транспортирования, – одна из важнейших составляющих технологического процесса горного предприятия, ведущего добычу полезных ископаемых подземным способом, или при строительстве подземных сооружений. Для построения высокоэффективных конвейерных систем необходимы научно обоснованные методы решения частных задач, описывающих формирование и технологическую трансформацию случайных грузопотоков:

- описание статистических закономерностей возникновения и развития грузопотоков в первичных звеньях – в очистных и подготовительных забоях;
- распределение грузопотока по протяжённости конвейерной установки и расчёт его вероятностных характеристик;
- суммирование грузопотоков с известными вероятностными характеристиками и получение результирующих показателей на выходе;
- трансформация вероятностных характеристик грузопотока при прохождении через аккумулирующую ёмкость.

Транспортные системы современных шахт часто имеют высокую разветвленность, протяжённость и работают с высокой нагрузкой. При этом надёжность конвейерной системы как системы с последовательно включёнными элементами чрезвычайно сильно зависит от надёжности каждого элемента (конвейер, бункер, перегрузочные устройства), которая, в свою очередь, определяется правильным учётом и прогнозированием изменения характеристик шахтных грузопотоков.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями процессов формирования грузопотоков и вопросами проектирования конвейерных установок занимались многие учёные на протяжении последних десятилетий. Установлено, что забойные грузопотоки являются случайными несимметричными функциями времени и существенно отличаются от нормального закона распределения. При расчёте возможной нагрузки на очистной забой, как правило, принимаются средние значения влияющих факторов. Но в современных длинных и высокопроизводительных лавах близкий к максимальному грузопоток формируется в течение длительного времени. В этом случае выбор принимающего подлавного конвейера по стандартной методике не гарантирует от аварийных перегрузов.

Используемые в настоящее время подходы к проектированию конвейерных транспортных систем [1–5] не в полной мере учитывают изменившиеся условия работы, необходим учёт фактических вероятностных параметров шахтных грузопотоков в современных шахтах.

Анализ существующих методик проектирования шахтных конвейерных систем

Современная теория формирования и преобразования грузопотоков базируется на представлении о том, что исходные случайные грузопотоки за чистое время работы добычных и проходческих машин имеют нормальное распределение. Для таких грузопотоков разработаны методы расчёта при их различных преобразованиях.

Основные задачи оценки величины грузопотоков при их перемещении по объектам конвейерной транспортной системы сводятся к частным вариантам: группировки, разгруппировки потоков, осреднения в период перемещения груза по длине конвейера и в промежуточных ёмкостях. Перечисленные задачи в отраслевой методике [3] решаются

путём введения и преобразования коэффициентов неравномерности отдельных грузопотоков. Коэффициент неравномерности грузопотока в течение 1 мин чистого машинного времени определён следующим образом:

$$K_1 = \frac{a_{max}}{a_1}, \tag{1}$$

где a_{max} – максимальный минутный грузопоток, поступающий на конвейер, т/мин; a_1 – средний минутный грузопоток, поступающий на конвейер, т/мин.

Рассмотрим общие подходы, используемые в отраслевой методике при формировании значения суммарного грузопотока.

При слиянии n грузопотоков, поступающих на сборную транспортную систему, суммарный минутный грузопоток за все время его формирования $a_{max\Sigma}$ предлагается определять по формуле [5]:

$$a_{max\Sigma} = \sum_{i=1}^n a_{avg,i} + n_\sigma \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}, \tag{2}$$

где $a_{avg,i}$ – средний грузопоток, поступающий из i -й магистралей; n_σ – вероятностный параметр; σ_i – среднее квадратическое отклонение минутного грузопотока за время поступления из каждого забоя, подающего груз на сборный конвейер.

Значение n_σ рекомендовано принимать в функции числа забоев, подающих груз на сборную выработку. Для $n \in [2-4]$:

$$n_\sigma = 2,1 - 0,25(n - 2). \tag{3}$$

Значение σ для каждого входного грузопотока рекомендуется рассчитывать по формуле:

$$\sigma = \frac{a_{max} - a_{avg}}{2,33}. \tag{4}$$

Рассматриваемая методика приводится в исходных документах по проектированию конвейерных транспортных систем [3] без ссылок на источники формирования этой информации. Судя по использованию в отраслевой методике параметров распределения a_{avg} и σ , за основу принимается нормальное распределение случайных величин входящих грузопотоков. В соответствии со свойствами нормального распределения максимальное значение случайной величины a_{max} определяется «правилом трёх сигм», т.е. может быть достигнуто по (2) при значении $n_\sigma = 3$. При этом вероятность достижения такого значения составляет около 0,001. Что же касается принятого в отраслевой методике значения $n_\sigma = 2,1$, то вероятность его реализации составит около 0,013. В доступной литературе отсутствует доказательная база выбора значения n_σ . Другим ограничением, введённым без должных обоснований, является расчётное значение среднего квадратического отклонения для каждого из суммируемых потоков, вычисляемое по (4). Введённая в расчёт величина квантиля нормального распределения $n_\sigma = 2,33$ также не имеет обоснования.

Частным случаем рассматриваемой методики является слияние n одинаковых потоков, имеющих одинаковую среднюю производительность и одинаковую неравномерность k_0 . Неравномерность k_Σ суммарного потока при измерении его в том же мерном интервале будет равна:

$$k_\Sigma = 1 + \frac{k_0 - 1}{\sqrt{n}}. \tag{5}$$

Таким образом, согласно существующим представлениям, положенным в основу современной теории выбора

параметров конвейерных установок, чем больше потоков объединяется, тем меньше неравномерность суммарного потока.

Выбор конвейерной установки для конкретных условий эксплуатации согласно существующей методике производится в два этапа: на первом этапе по максимальному грузопотоку выбираются ширина конвейерной ленты и скорость ее движения, т.е. приёмная способность конвейерной установки; а на втором этапе – по расчётному грузопотоку определяется максимально допустимая длина конвейерной установки.

Расчётный грузопоток, т/ч, определяется следующим образом:

$$Q_p = 60 \cdot a_1 \cdot K_L, \quad (6)$$

где K_L – коэффициент неравномерности грузопотока за время прохождения груза по всей длине конвейера:

$$K_L = 1 + (K_1 - 1) \cdot \sqrt{\frac{1}{\tau_L}}, \quad (7)$$

где τ_L – время прохождения груза по всей длине конвейера, мин:

$$\tau_L = \frac{L_k}{60 \cdot v_k}, \quad (8)$$

где L_k – длина конвейерной установки, м; v_k – скорость движения конвейерной ленты, м/с.

С учетом (7) и (8),

$$K_L = 1 + (K_1 - 1) \sqrt{\frac{60 \cdot v_k}{L_k}}. \quad (9)$$

Таким образом, расчётный грузопоток для тягового расчёта конвейерной установки можно определить по формуле:

$$Q_p = 60 \cdot \frac{a_{\max}}{K_1} \left[1 + (K_1 - 1) \cdot \sqrt{\frac{60 \cdot v_k}{L_k}} \right]. \quad (10)$$

Данная формула имеет неявное ограничение сверху в виде приёмной способности, и если его не учитывать, то возможны варианты, при которых величина расчётной производительности превысит максимально возможный поступающий на конвейер грузопоток (рис. 1), что не имеет физического смысла.

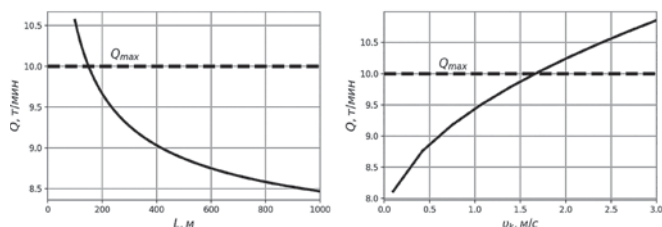


Рис. 1
Зависимость эксплуатационной производительности от длины и скорости конвейера (например, $Q_{\max} = 10$ т/мин; $K_n = 1,33$; $v_k = 2,5$ м/с)

Fig. 1
Dependence of operating capacity on conveyor length and speed (e.g., $Q_{\max} = 10$ t/min; $K_n = 1.33$; $v_k = 2.5$ m/s)

В последнее десятилетие разными исследователями [6–11] установлено, что важнейшее значение для обоснованного выбора типоразмера конвейера и эксплуатационного проверочного расчёта имеют характеристики

грузопотоков с вероятностными характеристиками, существенно отличающимися от нормального закона распределения.

Возможность обоснованного применения изложенного выше «классического» подхода к описанию современных грузопотоков из энерговооруженных угольных забоев вызывает существенные возражения.

Экспериментальные исследования

С целью получения интегральных характеристик формирования грузопотоков на шахте «Садкинская» были проведены производственные замеры грузопотока из очистного забоя длиной 300 м и вынимаемой мощностью пласта 2,08 м, оснащенного комбайном КДК-500. Методика и результаты данных экспериментов приведены в [12].

В результате проведённых опытов были построены функциональные характеристики грузопотока от комбайна в лаве (рис. 2) и установлено, что закон распределения грузопотоков значительно отличается от нормального. В первом приближении возможна их аппроксимация до треугольного закона распределения [12].

Аналитическое решение плотности суммарного грузопотока

Для получения аналитического решения [13] суммирования шахтных грузопотоков с треугольными функциями распределения был рассмотрен упрощённый вариант: суммирование двух одинаковых случайных величин

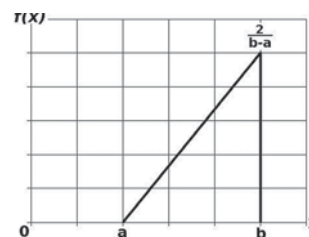


Рис. 2
Функция плотности распределения грузопотока треугольной формы

Fig. 2
Density distribution function in the material flow of triangular shape

с плотностями вероятностей, представленными на рис. 2. Плотность вероятностей:

$$f_1(x) = f_2(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)^2}, & x \in [a, b]; \\ 0, & x \notin [a, b]. \end{cases} \quad (11)$$

Тогда плотность вероятностей суммы двух «треугольных» грузопотоков можно определить через интеграл свёртки [13; 14]:

$$g(z) = \frac{4}{(b-a)^4} \int_{M_1(z)}^{M_2(z)} (x-a)(z-x-a) dx, \quad (12)$$

где $M_1(z)$ и $M_2(z)$ – область определения подынтегральных функций, за пределами которых функция равна нулю.

Полученное решение [13] не зависит от формы функции плотности распределения и его можно использовать для суммирования двух грузопотоков, описываемых одинаковыми кусочно-линейными функциями (необязательно треугольными). Однако данное решение довольно гро-

моздко и зависит от интервала определения суммарной функции:

- на интервале $z \in [2a, a + b]$:

$$g(z) = \frac{2(z-2a)^3}{3(b-a)^4}, \tag{13}$$

- и на интервале $z \in [a + b, 2b]$:

$$g(z) = \frac{2(2b+z)(6a^2-6az-2b^2+2bz+z^2)}{3(a-b)^4}. \tag{14}$$

На рис. 3 приведены результаты применения аналитического и численного решения задачи суммирования двух грузопотоков, распределенных по треугольному закону распределения.

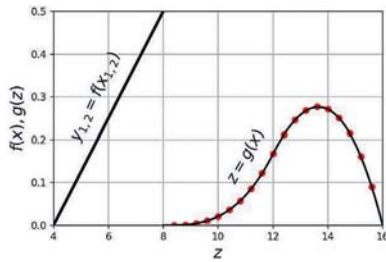


Рис. 3
Функция плотности исходных грузопотоков $y_{1,2}$ и суммарная функция плотности z , точками отмечено численное решение

Fig. 3
The density function of the original material flows $y_{1,2}$ and the total density function z , the dots indicate the numerical solution

Интересно сравнить дискретные случайные величины, распределенные нормально и по треугольному закону (данные взяты из производственных наблюдений). При одинаковом математическом ожидании в 7,5 т/мин треугольное распределение имеет максимум вероятности грузопотока на большем значении на 8 т/мин. Также отличаются максимальные значения и их вероятности.

В существующих методиках математическое ожидание в качестве среднего грузопотока используется при определении коэффициента неравномерности. Там же используется максимальный грузопоток. Для реальных грузопотоков более правдоподобным может быть использование наиболее вероятного грузопотока, т.е. моды распределения, что приводит к уменьшению коэффициента неравномерности и предъявляет повышенные требования к пропускной способности проектируемой конвейерной системы (рис. 5).

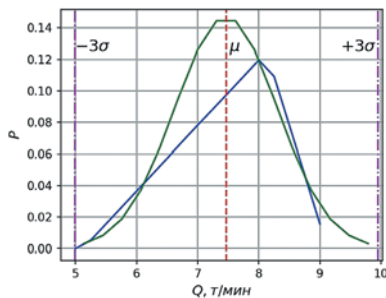


Рис. 4
Функции плотности смоделированных «нормального» и «треугольного» грузопотоков

Fig. 4
Density functions of the modeled "normal" and "triangular" material flows

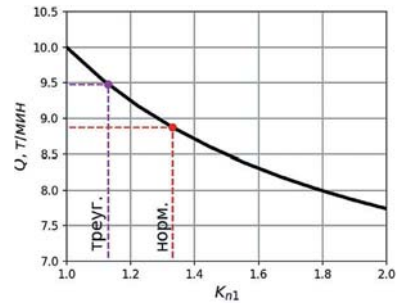


Рис. 5
Выбор скорости движения ленты (приемной способности) в зависимости от коэффициента неравномерности при разных законах распределения грузопотоков

Fig. 5
Selection of belt speed (receiving capacity) depending on the non-uniformity coefficient at different laws of the material flow distribution

Численное решение имеет неоспоримое преимущество перед аналитическим в том, что позволяет получать результат суммирования функций, описывающих грузопотоки с любыми законами распределения [14].

Численное имитационное моделирование

Для получения множества решений, описывающих поведение грузопотока с течением времени при транспортировании его по конвейеру, выполнено имитационное численное моделирование с параметрами распределения грузопотока, полученными в производственных замерах.

Средняя погонная нагрузка конвейера в течение времени Δ :

$$P_{гр.ср} = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R P_{гр.i} = \frac{60 \cdot \gamma}{v_k} \sum_{i=1}^R q_i, \tag{15}$$

где R – количество порций груза на конвейере:

$$R = \frac{L_k}{v_k \cdot \Delta t}. \tag{16}$$

Из результатов моделирования (рис. 6) видно, что средний грузопоток по длине конвейера практически не зависит от длины транспортирования, а определяется только средним значением поступающего грузопотока, что противоречит соотношению (10). При этом распределение порций груза на конвейере за период имитационного моделирования существенно отличается от нормального (рис. 7).

Действительно, если рассматривать ленточный конвейер с загрузкой в начале и разгрузкой в конце установки, отсутствием промежуточных погрузочно-разгрузочных операций, то порции груза, поступающие на конвейер с задержкой, равной времени транспортирования их до разгрузки, не изменяются (за исключением незначительного естественного осыпания с уменьшением угла откоса).

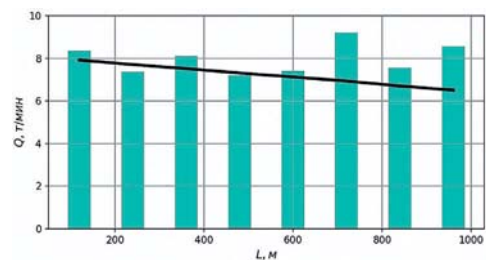


Рис. 6
Результат имитационного моделирования загрузки конвейера по длине

Fig. 6
Result of simulation modeling of conveyor loading lengthwise

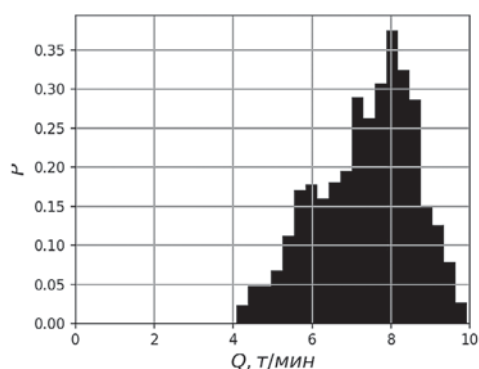


Рис. 7
Распределение значений порций груза, поступающего на конвейер по результатам имитационного моделирования

Fig. 7
Value distribution of material portions entering the conveyor based on the simulation modeling results

При этом большую роль играет согласование приемной скорости конвейера и питающего этот конвейер устройства (лавный конвейер, ковш погрузчика и т. д.). Возможны следующие варианты соотношений:

1) $v_k = v_n$ – скорости совпадают, грузопоток на выходе конвейера совпадает с грузопотоком на выходе питающего конвейера устройства;

2) $v_k > v_n$ – скорость ленты конвейера выше, значит поступающий груз «растягивается» по ленте на любом рассматриваемом отрезке времени, и грузопоток на выходе конвейера уменьшается;

3) $v_k < v_n$ – скорость ленты конвейера ниже, значит поступающие новые порции груза в каждый момент времени будут частично суммироваться с порцией груза с предыдущего момента времени, и грузопоток на выходе конвейера возрастает.

Выводы

Применяемые в отраслевой методике проектирования конвейерных транспортных систем положения о нормальном распределении случайных величин грузопотоков и точечном значении максимальных грузопотоков, вычисляемых с использованием коэффициента неравномерности, не имеют достаточных обоснований в известной литературе.

Для решения всей совокупности задач, необходимых для обоснованного выбора конвейеров по их пропускной способности и проверки их тяговых возможностей, необходима достоверно установленная информация о функциях распределения (или плотности вероятностей) исходных грузопотоков, формируемых в очистных и подготовительных забоях; эта информация позволит установить аналогичные функциональные показатели при слиянии потоков, распределении массы груза вдоль става конвейера и при прохождении потока через бункер.

Впервые грузопотоки, формирующиеся в очистных и подготовительных забоях шахты, описаны с помощью кусочно-линейной треугольной функции, что позволяет адекватно отобразить реальные транспортные конвейерные процессы. Такое представление грузопотоков дает возможность с принципиально новых позиций рассмотреть все базовые вопросы выбора и проверочного расчета линейных (одиночных) и сборных конвейеров.

Дальнейшие исследования закономерностей формирования случайных грузопотоков конвейерной системы требуют на новой методической основе решения актуальных задач распределения транспортируемого материала по протяженности конвейера и прохождения грузопотока через аккумулялирующие емкости.

Список литературы

1. Мерцалов Р.В. Исследования подземных грузопотоков и установление способов повышения эффективности использования шахтных конвейеров: дисс. ... канд. техн. наук. М.; 1968. 167 с.
2. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г., Лобачева А.К. Динамика грузопотоков и регулирование скорости ленточного конвейера. М.; 1972. 163 с.
3. Основные положения по проектированию подземного транспорта для новых и действующих угольных шахт. М.: ИГД им. А.А. Скочинского; 1986. 356 с. Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293726/4293726136.pdf>
4. Пейсахович Г.Я. (ред.) Методики расчета и выбора оборудования подземного транспорта угольных шахт на стадии ТЭО. М.: ЦентрОГипроШахт; 1980. 47 с. Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293736/4293736806.pdf>
5. Пейсахович Г.Я., Романов И.П. (ред.). Подземный транспорт шахт и рудников. Справочник. М.: Недра; 1985. 565 с.
6. Дьяченко В.П. Влияние параметров случайного грузопотока на выбор типоразмера конвейерной ленты. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005;(1):272–274.
7. Дьяченко В.П. Прогнозирование величины случайных забойных грузопотоков угольных шахт. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009;(S16):199–208.
8. Кондрахин В.П., Стадник Н.И., Белицкий П.В. Статистический анализ эксплуатационных параметров шахтного ленточного конвейера. Наукові праці донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-електромеханічна. 2013;(2):140–150.
9. Semenchenko A., Stadnik M., Belitsky P., Semenchenko D., Stepanenko O. The impact of an uneven loading of a belt conveyor on the loading of drive motors and energy consumption in transportation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016;4(1):42–51.
10. Реутов А.А. Имитационное моделирование ступенчатого регулирования скорости конвейера. Проблемы недропользования. 2017;(2):26–32. <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2017.02.026>
11. Дмитриева В.В., Сизин П.Е. Корреляционный анализ и методы моделирования случайного грузопотока, поступающего на сборный конвейер. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018;(10):145–155. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-10-0-145-155>

12. Агафонов О.А. Экспериментальные исследования грузопотока в очистном забое ООО «Шахтоуправление «Садкинское». В кн.: *Современные прикладные исследования: Материалы третьей национальной науч.-практ. конф., г. Шахты, 16–19 апреля 2019 г.* Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова; 2019. С. 71–76.
13. Agafonov O.A., Khazanovich G.S., Otrokov A.V. An analytical solution to the problem of summing two freight flows given by triangular distributions. In: *2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), October 6–9, 2020.* Vladivostok; 2020, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/FarEastCon50210.2020.9271499>
14. Агафонов О.А., Otrokov A.V. Численное решение проблемы суммирования непрерывных грузопотоков с произвольным распределением. В кн.: Емельянов Н.В., Кетова К.В. (ред.) *Научные исследования и инновации: сборник статей 10-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Саратов, 27 июля 2021 г.* Саратов: НОО «Цифровая наука»; 2021. С. 87–95.

References

1. Mertsalov R.V. *Study of underground freight traffics and finding ways to improve the efficiency of use of mining conveyors* [Candidate's thesis]. Moscow; 1968. 167 p. (In Russ.)
2. Shakhmeyster L.G., Dmitriev V.G., Lobacheva A.K. *Dynamics of freight traffic and regulating of the speed of a belt conveyor.* Moscow; 1972. 163 p. (In Russ.)
3. *Key provisions for the design of underground transport for new and existing coal mines.* Moscow: Institute of Mining named after A. A. Skochinsky; 1986. 356 p. (In Russ.) Available at: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293726/4293726136.pdf>
4. Peisakhovich G.Ya. (ed.) *Methods for calculating and selecting equipment for underground transport of coal mines at the stage of the Feasibility Study.* Moscow: TsentroGiproShakht; 1981. 47 p. (In Russ.) Available at: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293736/4293736806.pdf>
5. Peisakhovich G.Ya., Romanov I.P. (eds). *Underground transport of coalmines and metalmines.* Moscow: Nedra; 1985. 565 p. (In Russ.)
6. Dyachenko V.P. Influence of the parameters of random cargo flow on the choice of the standard size of the conveyor belt. *Mining Informational and Analytical Bulletin.* 2005;(1):272–274. (In Russ.)
7. Dyachenko V.P. Forecasting of the probable mineral stream by coal – pits. *Mining Informational and Analytical Bulletin.* 2009;(S16):199–208. (In Russ.)
8. Kondrakhin V.P., Stadnik N.I., Belitsky P.V. Statistical analysis of mine belt conveyor operating parameters. *Naukovi Pratsi Donetskogo Natsionalnogo Tekhnichnogo Universitetu. Seriya: Girnicho-Elektromekhanichna.* 2013;(2):140–150. (In Russ.)
9. Semenchenko A., Stadnik M., Belitsky P., Semenchenko D., Stepanenko O. The impact of an uneven loading of a belt conveyor on the loading of drive motors and energy consumption in transportation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2016;4(1):42–51.
10. Reutov A.A. Simulation of the conveyor speed step control. *Problems of Subsoil Use.* 2017;(2):26–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2017.02.026>
11. Dmitrieva V.V., Sizin P.E. Correlation analysis and method of modeling random load flow on collecting conveyor. *Mining Informational and Analytical Bulletin.* 2018;(10):145–155. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-10-0-145-155>
12. Agafonov O.A. Experimental study traffic in a breakage face ООО “Colliery group “Sadkinskaya”. In: *Contemporary Applied Research: Proceedings of the Third National Scientific and Practical Conference, Shakhty, April 16–19, 2019.* Novocherkassk: Platov South-Russian State Polytechnic University; 2019, pp. 71–76. (In Russ.)
13. Agafonov O.A., Khazanovich G.S., Otrokov A.V. An analytical solution to the problem of summing two freight flows given by triangular distributions. In: *2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), October 6–9, 2020.* Vladivostok; 2020, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/FarEastCon50210.2020.9271499>
14. Agafonov O.A., Otrokov A.V. Numerical solution of the problem of summation of continuous freight flows with an arbitrary distribution. In: Emelyanov N.V., Ketova K.V. (eds) *Research and Innovations: Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference, Saratov, July 27, 2021.* Saratov: NOO “Tsifrovaya nauka”; 2021, pp. 87–95. (In Russ.)

Информация об авторах

Агафонов Олег Анатольевич – технический директор, ООО «Южная угольная компания», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: aoa04@yandex.ru
Афонина Наталия Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация; e-mail: myshxa@gmail.com

Information about the authors

Oleg A. Agafonov – Technical Director, South Coal Company, Moscow, Russian Federation; e-mail: aoa04@yandex.ru
Natalia B. Afonina – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Mining Engineering, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation; e-mail: afoninanb20@gmail.com

Article info

Received: 21.09.2023
 Revised: 24.10.2023
 Accepted: 24.10.2023

Информация о статье

Поступила в редакцию: 21.09.2023
 Поступила после рецензирования: 24.10.2023
 Принята к публикации: 24.10.2023