

УДК 622.6:004.942

**Ю.Т. РАЗУМНЫЙ** (д-р техн. наук, проф.),  
**В.Т. ЗАЙКА** (д-р техн. наук, проф.), **В.Н. ПРОКУДА**  
 Государственное высшее учебное заведение  
 «Национальный горный университет»  
[prokudav@gmail.com](mailto:prokudav@gmail.com)

## ФОРМИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА УГЛЯ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА ПО ДАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРУЗОПОТОКОВ ИЗ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ

*Предлагается алгоритм моделирования потока угля из очистного забоя, приводятся результаты его работы в составе имитационной модели транспортной сети шахты.*

**Ключевые слова:** ленточный конвейерный транспорт, моделирование грузопотоков.

**Вступление.** Известно, что при сплошной конвейеризации доставки угля из забоев, конкретные конвейеры на шахтах, в том числе и Западного Донбасса, работают при неравномерных грузопотоках и потому с завышенным в 2-5 раз удельным расходом электроэнергии [1], то есть, не эффективно. Устранить этот недостаток можно с помощью регулируемого привода. Однако его использование на этих установках, находится пока на уровне пилотных проектов и тормозится из-за отсутствия доказательной базы его эффективности, в том числе из-за сложности и трудоемкости получения натуральных данных для исследования.

Наиболее важными в решении этой задачи являются этапы моделирования потоков угля из очистных забоев и оценки характеристик массовых потоков конвейерного транспорта, так как именно по ним может быть определена энергоэффективность работы установок, в том числе, оснащенных регулируемым приводом.

**Описание проблемы.** При описании процесса поступления потока угля из очистного забоя как Марковского выделяют две компоненты [2]: непрерывную и дискретную, позволяющие представить реальный грузопоток как их произведение. Непрерывная компонента является флуктуациями потока вокруг математического ожидания грузопотока на оси машинного времени. Дискретная компонента описывается обобщенной функцией, принимающей два дискретных значения: 0 и 1 [2], которая представляет собой бесконечную сумму единичных и единичных с отрицательным знаком функций.

**Анализ предыдущих исследований.** При существующей технологии моделирования [2] в алгоритмах требуется использовать условные конструкции и дополнительные переменные, что увеличивает время работы программы моделирующей процессы на ЭВМ и усложняет восприятие алгоритмов человеком.

**Идея** моделирования потока угля из очистного забоя заключается в использовании свойств элементарных линейных функций вместе с операторами округления до целых псевдослучайных чисел, имеющих распределение Гаусса, для формирования последующего значения обобщенной функции при известном лишь настоящем.

**Целью исследования** является разработка рационального алгоритма описания процесса поступления грузопотоков из очистных забоев, используя свойства элементарных линейных функций и неразветвленных структур алгоритмов.

**Основной материал.** Грузопоток из лавы определяют как [2]:

$$Q(t) = Q'(t) \cdot Y_Q(t), \quad (1)$$

где  $Q'(t)$  – грузопоток из лавы на оси машинного времени;  $Y_Q(t)$  – дискретный процесс, который может принимать в каждый момент времени лишь два значения –  $Y_Q(t)=0$  и  $Y_Q(t)=1$ .  $Y_Q(t)$  описывается обобщенной функцией, которая представляет собой бесконечную сумму функций Хевисайда, взятых поочередно с положительным и отрицательным знаками. Корреляционные функции этих процессов аппроксимируют зависимостью вида:

$$R_{Q'}(\tau) = \sigma_{Q'}^2 \exp(-\alpha\tau), \quad (2)$$

$$R_Y(\tau) = \mu\lambda(\lambda + \mu)^{-2} \exp[-(\lambda + \mu)|\tau|] \quad (3)$$

Здесь  $\sigma_{Q'}^2$  – дисперсия процесса  $Q'(t)$ ;  $\alpha = 1/\tau_k$  – время корреляции минутной производительности;  $\lambda, \mu$  – математические ожидания (в долях от единицы) наличия и отсутствия грузопотока соответственно, которые в условиях шахты могут быть определены, к примеру, с помощью косвенного метода. Линейный алгоритм, описывающий нахождение  $Q'(t)$  при известном значении величины  $Q'(t-1)$  по выражению (2), приведенному в [2].

Из равенства (3) значение следующего значения реализации обобщенной функции дискретного процесса в прямом виде не следует, а находится следующим образом [2]. Случайные длительности поступления  $t_n$  и отсутствия  $t_0$  грузопотока определяются по выражениям:

$$t_i = -T_i \ln z_i \quad (4)$$

$$t_0 = -T_0 \ln z_i \quad (5)$$

где  $T_n$  и  $T_0$  – среднее время поступления и отсутствия грузопотока. Значение случайной величины  $z$  вычисляются с помощью стандартной программы псевдослучайных чисел, распределенных равномерно в интервале  $[0; 1]$ .

Известен алгоритм нахождения значений дискретной компоненты поступления угля, который подробно описан в [2]. Здесь лишь отметим, что для его работы, кроме значений переменных исходной реализации, необходимы также дополнительные переменные  $t_n$ ,  $t_0$ , выступающие счетчиками времени наличия и отсутствия грузопотока. Так же при каждой реализации обобщенная функция  $Y(t)$  (для удобства здесь и далее это обозначение используется вместо  $Y_Q(t)$ ) является зависимой не только от ее предыдущего значения и флуктуирующей составляющей, но и от переменных, которые на некотором промежутке неслучайно зависят от нескольких предыдущих значений. Случайными будут лишь времена переходов функции  $Y(t)$  из одного дискретного состояния в другое.

По сравнению с описанным в [2], алгоритм, приведенный на рис. 1, позволяет моделировать Марковский процесс, действительно, как процесс без последствия: состояние некоторой системы в настоящий момент времени  $t_0$  однозначно определяет распределение вероятностей будущего развития процесса при  $t_0 < t$ , и информация о прошлом поведении процесса до момента  $t_0$  не влияет на это распределение. То есть, принимается, что события, произошедшие до момента  $t_0$ , никак не влияют на ход процесса после этого момента [4].

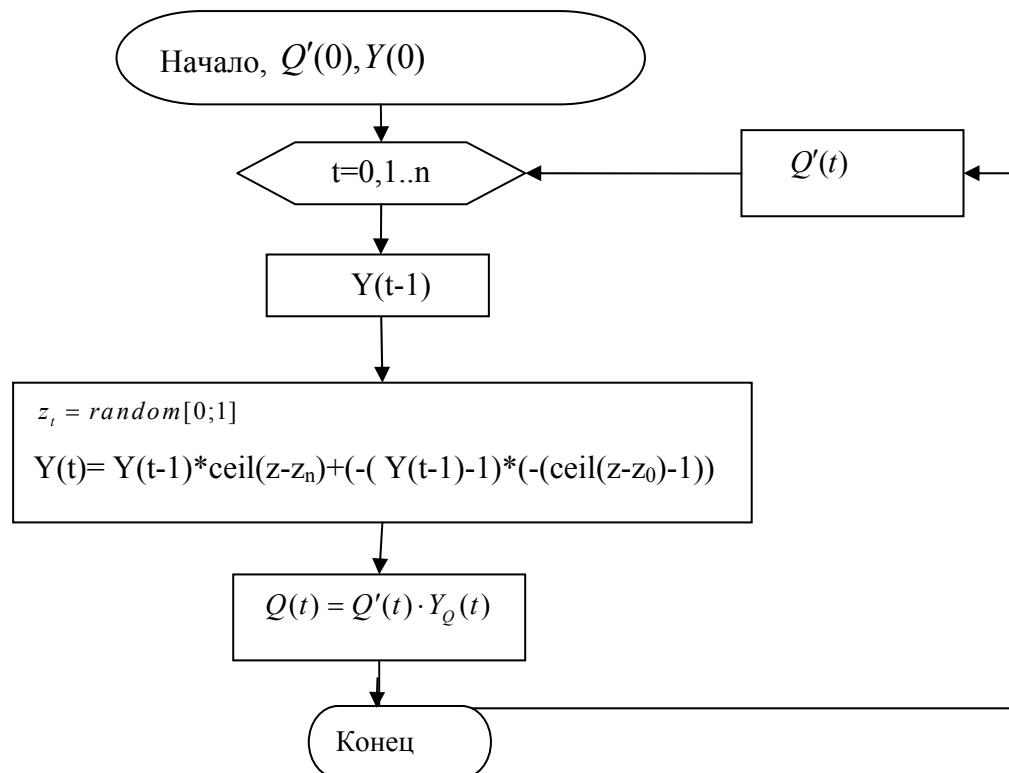


Рисунок 1 – Алгоритм вычисления значений процесса  $Y(t)$  без условных конструкций

В предлагаемом алгоритме (рис. 1) используется свойство линейной функции  $y = -(x-1)$ :  $y=0$  при  $x=1$  и  $y=1$  при  $x=0$ , что позволяет уйти от условных конструкций и не вводить дополнительных переменных. Функция  $Y(t)$  в каждый момент времени может быть равна либо первой части суммы  $Y(t-1)*\text{ceil}(z-z_n)$  либо второй  $-(Y(t-1)-1)*(-(\text{ceil}(z-z_0)-1))$ , так как множители  $Y(t-1)$  и  $-(Y(t-1)-1)$  принимают противоположные двоичные значения при одинаковом значении функции  $Y(t-1)$ . В первой части суммы множитель  $\text{ceil}(z-z_n)$  равен единице при  $z > z_n$ , что определяет вероятность начала интервала отсутствия грузопотока при  $z < z_n$ . Множитель  $-(\text{ceil}(z-z_0)-1)$  во второй части суммы действует диаметрально противоположно, определяя вероятность начала интервала наличия грузопотока. Схема реализации предлагаемого алгоритма в программном пакете MATLAB/Simulink приведена на рис. 2.

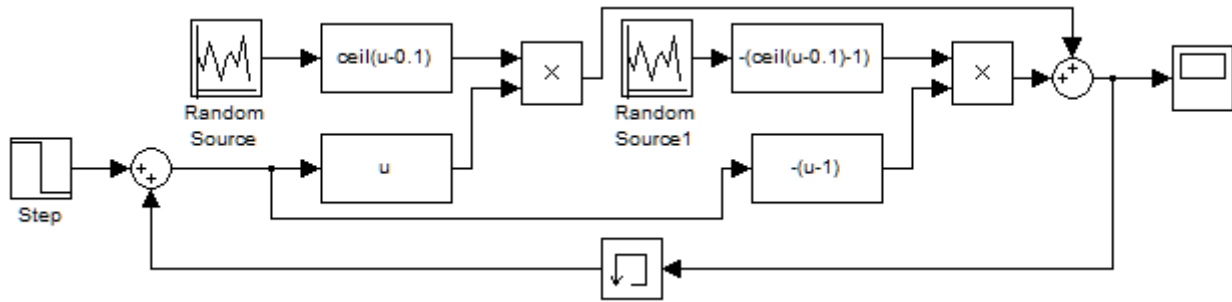




Рисунок 2 – Реализация алгоритма в Simulink.

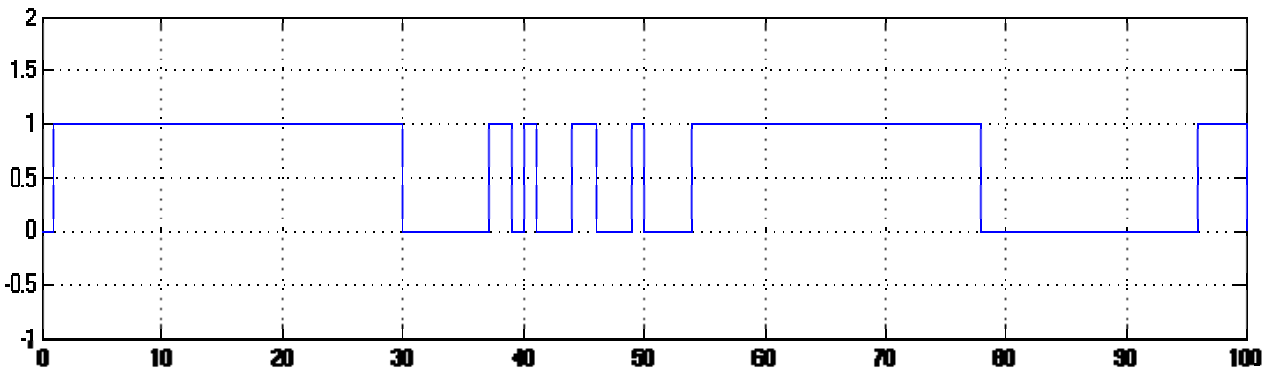
Функция  $\text{ceil}$  (англ. *перекрывать*) позаимствована из языка программного пакета MATLAB, которая означает округление до ближайшего большего целого. Константы  $z_n$  и  $z_0$  соответствуют вероятностям процесса  $Y(t)$  принять значение  $Y(t)=0$  при  $Y(t-1)=1$  и  $Y(t)=1$  при  $Y(t-1)=0$  соответственно и вычисляются по формулам [3]:

$$z_n = p(\tau_n) = \lambda \exp[-\lambda \tau] \quad (6)$$

$$z_0 = p(\tau_0) = \mu \exp[-\mu \tau] \quad (7)$$

где  $\tau$  – время автокорреляции.

Блок  запоминает значение предыдущей реализации. Блок  Step задает значение  $Y(0)=1$ , последующие значения на выходе этого блока равны 0. Блок Random Source генерирует равномерно распределенные случайные значения на интервале  $[0; 1]$ . На рис. 3. представлена одна из случайных реализаций процесса  $Y_Q(t)$  при заданных вероятностях: начала поступления грузопотока при его отсутствии  $z_n = p(\tau_n) = 0,1$  и начала отсутствия грузопотока при его поступлении  $z_0 = p(\tau_0) = 0,1$ .

Рисунок 3 – Реализация случайного процесса  $Y_Q(t)$  для 100 одномоментных значений.

Использование предлагаемого алгоритма покажем на примере моделирования работы  $N$  очистных забоев ( $N = 2$ ) и конвейерной линии из  $M$  ленточных конвейеров ( $M = 4$ ), на которую поступает уголь и которая, по существу, объединяет соответствующие массовые потоки.

Для наглядности принята действующая на шахте «Павлоградская» реальная схема транспорта и данные работы очистных забоев (Lava 563 и Lava 888) за одну рабочую смену (6 часов), рис. 4. При моделировании используется блок генерации распределения массового потока из лавы. Он, как и блок алгоритма вычисления времени поступления/не поступления массового потока, интегрирован в блок «Lava». В модель включены также блоки, имитирующие цепочку ленточных конвейеров (1L100U-1 1 VMHSH, 1L100U PL C5-C8, 2LTP1000-1 PL C5-C8, 2LTP1000-1 PL C8) как звено запаздывания с переменным временем (см. рис. 4). Визуализация моделируемых потоков угля (для каждой лавы и результирующего) осуществляется с помощью специальных программных компонентов (см. рис. 5, поз. Дисплей1, Дисплей2, Дисплей3). На рис. 5-7 приводятся соответствующие потоки, что отображаются с помощью дисплеев.

На рис. 5, 6 приведены потоки угля, смоделированные для каждой лавы. Продолжительность поступления угля из очистных забоев находится в пределах от 3-х до 50-ти минут вероятностью 95 %, а непоступления, с той же вероятностью, от 3-х до 120-ти минут.

На рис.7 показан результирующий поток угля из двух лав, причем для лавы 888 учтено запаздывание, равное времени доставки угля до точки слияния потоков по цепочке из трех конвейеров (см. рис. 4).

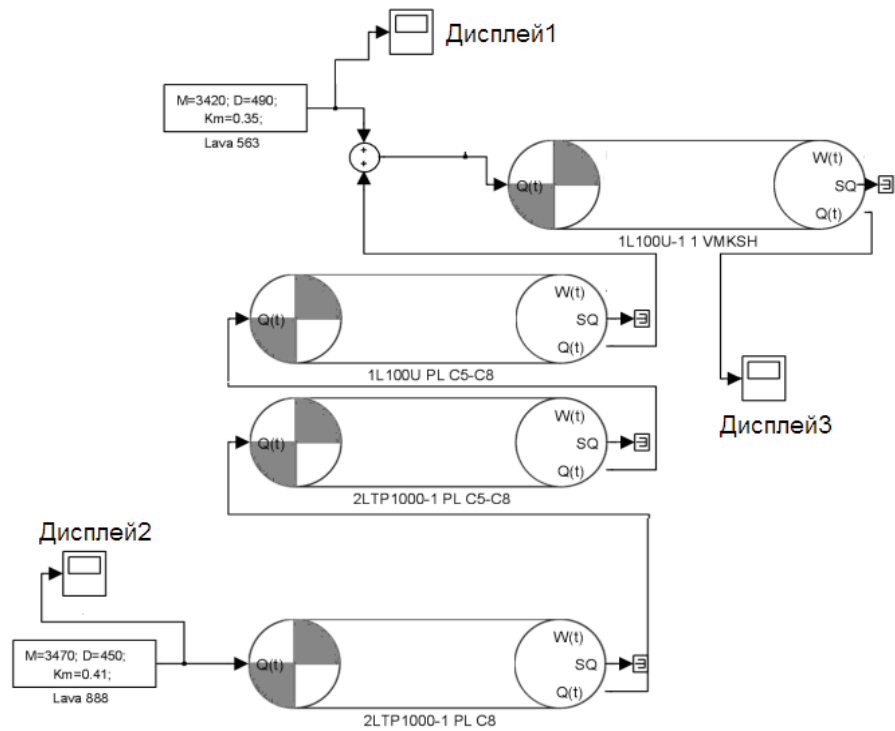


Рисунок 4 – Фрагмент транспортной сети шахты «Павлоградская», смоделированный в среде MATLAB

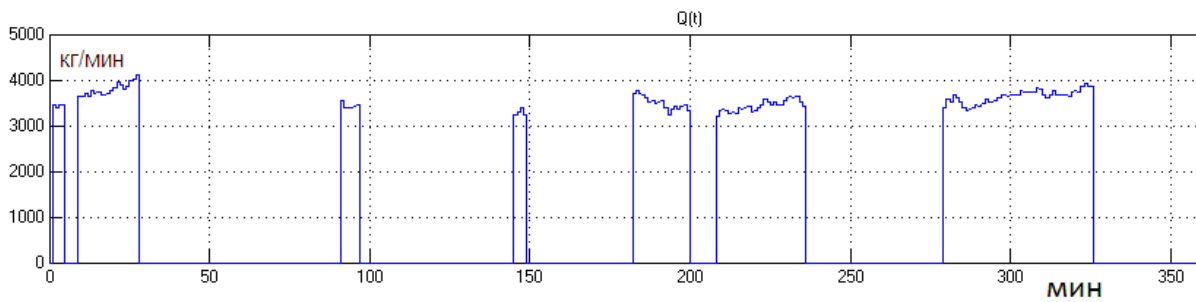


Рисунок 5 – Поток угля за смену из 888-й лавы (Дисплей 2)

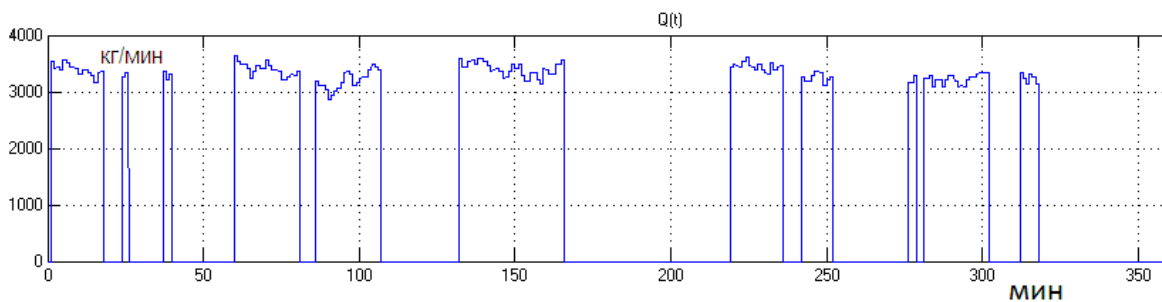


Рисунок 6 – Поток угля за смену из 563-й лавы (Дисплей1)

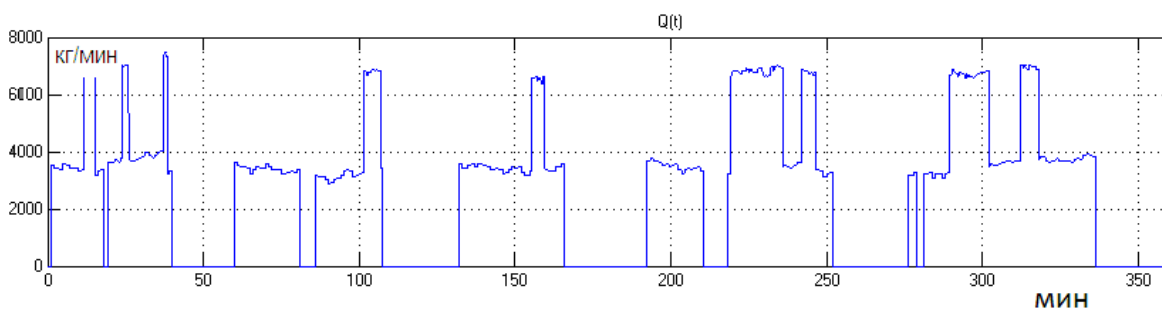


Рисунок 7 – Объединенный массовый поток угля из 563-й и 888-й лавы (Дисплей3)

Анализ результирующего массового потока показывает, что времена непоступления/поступления угля на конвейер изменились. Так вероятность поступления угольного потока из лав 563 и 888 соответственно 0,35 и 0,41 при слиянии увеличилась до 0,62, а время отсутствия угольного потока уменьшилось с 0,75 и 0,59 для каждого потока до 0,38 для результирующего.

**Выводы.** 1. Усовершенствованный алгоритм моделирования временных характеристик грузопотоков из очистных забоев является более простым по сравнению с предложенными ранее, так как содержит меньшее число переменных, операторов, и не содержит нелинейных условных структур. Это достигнуто за счет использования свойств элементарных линейных функций для формирования соответствующих значений обобщенной функции процесса. При моделировании работы двух и более очистных забоев на современных ПК его применение сокращает примерно на треть время получения конечных результатов, что особенно важно при моделировании режимов работы шахтной транспортной сети в целом. При этом точность вычисления характеристик массовых потоков по предложенному алгоритму не ниже, чем по существующему.

2. Предложенный алгоритм в совокупности с косвенным методом определения характеристик потоков угля из очистных забоев открывает возможность в реальном времени оценивать энергоэффективность работы конвейеров и управлять процессами на транспортировании угля, в том числе, по максимуму энергоэффективности, к примеру, средствами регулируемого привода.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Заика В.Т. Модели для контроля энергетической эффективности шахтных магистральных конвейерных установок [Текст] / В.Т. Заика // Науковий вісник НГА України. - Дніпропетровськ: РВК НГА України. – 2000. - № 2. С. 72 – 77.
2. Шахмейстер. Л.Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин [Текст] / Л.Г. Шахмейстер. М., 1983. – 312 с.
3. Шахмейстер. Л.Г. Динамика грузопотоков и регулирование скорости конвейеров [Текст] / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев, А.К. Лобачева, М., 1972. – 106 с.
4. Математический энциклопедический словарь [Текст] / Гл. ред. Ю.В. Прохоров, Ред. кол.: С.И. Адян, Н.С. Бахвалов и др. – М.: Сов. Энциклопедия.- 1988.-847 с.
5. Гельфанд И.М. Обобщенные функции и действия над ними [Текст] / И.М. Гельфанд, Г.И. Шилев. Наука, 1959. – 304 с.

#### REFERENCES

1. Zaika V.T. Model for the energy efficiency control of the main mine of conveyor installations. *Naukoviy visnyk NGA Ukrainy (Scientific Bulletin of the NMU Ukraine)*. 2000; №2: 72 – 77.
2. Shahmeyster. L.G. *Veroyatnostniye metody rascheta transportiruyuschih mashyn* [Probabilistic methods of calculation transporting machines]. Moscow, 1983. 312 p.
3. Shahmeyster. L.G., Dmitriev V.G., Lobacheva A.K. *Dinamyka gruzopotokov i regulirovanie skorosty konveyerov* [The dynamics of freight flows and conveyors speed control]. Moscow, 1972. 106 p.
4. Prokhorov Yu, V., Adian S.I., Bakhvalov N.S. *Matematicheskiy entsiklopedicheskiy slovar* [Encyclopedic Dictionary of Mathematics]. Moscow.: Sov. Entsiklopediya, 1988. 847 p.
5. Gelfand I.M., Shilov G.I. *Obobshchennye funktsyye i deystviya nad nymy* [Generalized functions and operations with them]. Moscow, 1959. 304 p.

Надійшла до редакції 12.03.2013

Рецензент: С.Б. Ковальов

Ю.Т. РАЗУМНИЙ, В.Т. ЗАЙКА, В.М. ПРОКУДА

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»

**Формування характеристик потоку вугілля конвеєрного транспорту за даними моделювання вантажопотоків з очисних вибоїв.** У статті пропонується алгоритм моделювання потоку вугілля з очисного вибою, приводяться результати роботи в складі імітаційної моделі транспортної мережі шахти.

**Ключові слова:** стрічковий конвеєрний транспорт, моделювання вантажопотоків.

U. RAZUMNIY, V. ZAIKA, V. PROKUDA

State Institution of Higher Education «National Mining University»

**Formation Of The Coal Flow Characteristics Of Transport Conveyor According To Freight Traffic Modeling Of Production Faces.** An improved algorithm for modelling the time characteristics of the freight traffic working faces is described in article. Using existing technology simulation algorithms need to use conditional constructions, and other variables, which increases the times of working program simulates the process by computer and complexity algorithms of human perception. The idea of modelling the flow of coal from the working face is to use the properties of elementary linear functions together with the operators of rounding to whole pseudorandom numbers with a Gaussian

distribution for the subsequent value of the generalized function at only a certain present. The proposed algorithm uses a property of a linear function  $y = - (x-1) y = 0$  when  $x = 1$  and  $y = 1$  when  $x = 0$ , which allows you to escape from conventional structures and not introduce additional variables. The function  $Y (t)$  at any given time can be equal to either the first part of the sum  $Y (t-1) * \text{ceil} (z-z_n)$  or the second  $(- (Y (t-1) -1) * (- (\text{ceil} (z -z_0) -1))$ , because the the multipliers  $Y (t-1)$  and  $- (Y (t-1) -1)$  take the opposite binary values for the same value of the function  $Y (t-1)$ . The first part of the sum multiplier  $\text{ceil} (z-z_n)$  is equal to one for  $z > z_n$ , which determines the probability of a lack of freight traffic in the interval  $z < z_n$ . The multiplier  $- (\text{ceil} (z-z_0) -1)$  in the second part of the sum effect diametrically opposed, determining the probability of the start of the interval availability of freight. The algorithm allows to simulate the flow of coal from the working face in the simulation model of the transport network of the mine. The drawings, which are given in the article, show receipts of coal from two working faces and merging these streams after passing through the conveyor chain. In the simulation of two or more working faces on modern PCs use advanced algorithm reduces by about a third the time their outputs, which is particularly important for modeling modes of mine transport network as a whole. The accuracy of the calculation of the characteristics of mass flows of the proposed algorithm is not lower than the existing one. The proposed algorithm combined with the indirect method of determining the flow patterns of coal working faces an opportunity to assess the real-time efficiency of the conveyor and control processes for the transportation of coal, in particular, the maximum energy efficiency, for example, by means of variable speed drive.

**Key words:** *belt conveyor transport, freight traffic modelling.*