

тенсивних зміщень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Берлянт А.М. Картография. М.: Аспект Пресс, 2001.– 332 с.
2. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: Изд. Наука, 1977.– 870 с
3. Хил Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики. Для профессионалов. – СПб.: Питер, 2002. –1088 с.
4. Григоренко А.Г. Измерение смещений оползней. – М.: Недра, 1988. – 141 с.

УДК 622.647.2

Канд. техн. наук Р.В. Кирия,
м.н.с. Д.Д. Брагинец, м.н.с. Т.Ф. Мищенко
(ИГТМ НАН Украины)

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УСРЕДНЯЮЩИХ И АККУМУЛИРУЮЩИХ БУНКЕРОВ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЙ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

В роботі викладено алгоритм статистичного моделювання функціонування усереднюючих та акумулюючих бункерів при різних режимах їх роботи. Дано порівняльний аналіз результатів статистичного і математичного моделювання.

IMITATION MODELS OF FUNCTIONING AVERAGING AND ACCUMULATING BUNKERS OF COAL MINE CONVEYER LINES

The algorithm of statistical modeling of functioning of averaging and accumulating bunkers in different operating regimes is expounded. The comparative analysis of results of statistical and mathematical modeling is given.

В настоящее время основным видом транспорта шахт с высоконагруженными лавами является конвейерный транспорт.

Основными факторами, снижающими эффективность работы конвейерных линий, являются их низкая пропускная способность и невысокий коэффициент использования конвейеров по производительности. Это связано с ненадежной работой конвейерного транспорта и значительной неравномерностью поступающих из лав грузопотоков.

Для повышения пропускной способности и коэффициента использования по производительности в конвейерных линиях применяются аккумулярующие и усредняющие бункеры.

Усредняющие бункеры уменьшают неравномерность грузопотока, что позволяет использовать конвейеры с меньшей приемной способностью.

Аккумулярующие бункеры позволяют накапливать некоторое количество груза в случае остановки подбункерной конвейерной линии по различным причинам.

Так как объем усредняющих и аккумулярующих бункеров в шахте ограничен, то возникает задача определения минимального объема, достаточного для выполнения бункерами необходимых функций.

Для решения этой задачи необходимо иметь математические модели процессов функционирования бункеров угольных шахт.

В работах [1-3] были разработаны математические модели функционирования сглаживающих и аккумулирующих бункеров, работающих в схемах с последовательным и параллельным соединением конвейеров. Однако эти модели не проверялись на адекватность. Проверка таких моделей в лабораторных или промышленных условиях на основании статистических данных является практически невыполнимой задачей.

Одним из эффективных способов проверки таких вероятностных моделей на адекватность является метод имитационного моделирования на ЭВМ с помощью датчиков случайных чисел.

Вопросами имитационного моделирования усредняющих и аккумулирующих бункеров занимался ряд исследователей [4-7]. Однако в этих работах при имитационном моделировании функционирования бункеров использовались модели поступающего в бункер грузопотока, состоящего из производства непрерывной и прерывистой составляющих случайного процесса.

При этом непрерывная составляющая этого случайного процесса представляет собой стационарный нормальный случайный процесс с корреляционной функцией, убывающей по экспоненте. А прерывистая составляющая представляет собой прямоугольные импульсы единичной высоты с интервалами поступления и отсутствия груза, распределенными по экспоненциальному закону. Однако, как показывают исследования [4], при имитационном моделировании работы аккумулирующих бункеров неравномерность поступающего грузопотока мало сказывается на характере его функционирования.

Усредняющие бункеры служат в основном для сглаживания неравномерности грузопотока и характеристики его функционирования определяются непрерывной составляющей грузопотока.

Поэтому для имитационного моделирования функционирования сглаживающих бункеров достаточно входящий грузопоток представить в виде непрерывного стационарного нормального процесса (рис. 1), а для имитационного моделирования функционирования аккумулирующих бункеров достаточно входной и выходной грузопоток представить в виде прямоугольных импульсов высотой, равной средней минутной производительности, и интервалов поступления груза и его отсутствия, распределенных по экспоненциальному закону (рис. 2).

В работе [4] приведены результаты имитационного моделирования функционирования аккумулирующего бункера, расположенного в цепи последовательно соединенных конвейеров, и его анализ. При этом анализировалось влияние параметров потоков работы и простоев надбункерной и подбункерной конвейерных линий на максимально возможный объем аккумулирующего бункера. Однако влияние производительности разгрузки аккумулирующего бункера на процесс его функционирования в этой работе не анализировалось.

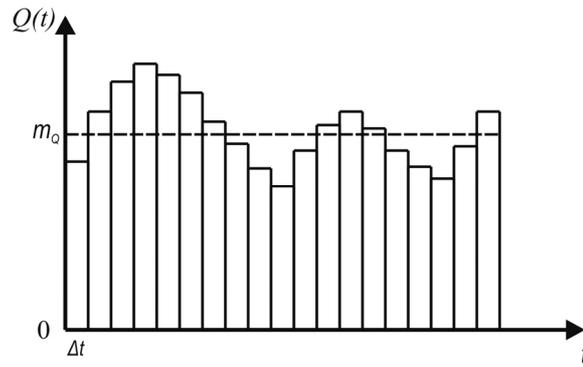


Рис. 1 – График грузопотока поступающего в сглаживающий бункер

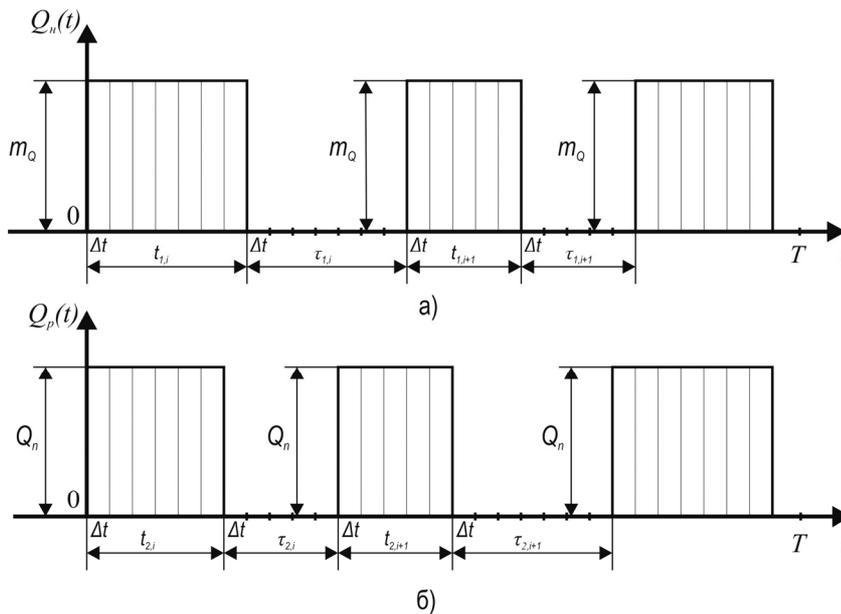


Рис. 2 – Графики поступающего в аккумулярующий бункер грузопотока (а) и выходящего из аккумулярующего бункера грузопотока (б)

Кроме того, в работах [4,7] отсутствует сопоставление результатов имитационного и математического моделирования процессов функционирования сглаживающих и аккумулярующих бункеров.

В данной работе разработаны имитационные модели функционирования усредняющего и аккумулярующего бункера конвейерных линий угольных шахт и проведен сравнительный анализ результатов имитационного и математического моделирования

Рассмотрим работу усредняющего бункера. Предположим, что поступающий в бункер грузопоток $Q(t)$ описывается непрерывным нормальным случайным процессом с математическим ожиданием m_Q , средним квадратическим отклонением σ_Q и корреляционной функцией, равной [8]

$$R_Q(\tau) = \sigma_Q^2 e^{-\alpha\tau}, \tag{1}$$

где α – параметр корреляционной функции.

Этот процесс является марковским нормальным стационарным процессом Орнштейна-Уленбека $\eta(t)$ [9].

Если математическое ожидание этого процесса равно нулю, т.е. $M[\eta(t)] = 0$, то, согласно [10], имитация этого процесса осуществляется по формуле

$$\eta_{k+1} = e^{-\alpha\Delta t} \eta_k + \sigma_Q \sqrt{1 - e^{-2\alpha\Delta t}} v_{k+1}, \quad (k=1, 2, \dots, n), \quad (2)$$

где $\eta_1 = \sigma_Q v_1$; $\Delta t = T/n$ – шаг имитации; T – время работы бункера; n – количество точек имитации процесса; v_i – независимые, нормально распределенные величины с нулевым средним и единичной дисперсией, т.е. $M[v_k] = 0$, $D[v_k] = 1$, которые определяются по формуле

$$v_k = \sum_{i=1}^{12} r_i - 6,$$

где r_i – независимые, равномерно распределенные в интервале $(0,1)$ величины, определяемые с помощью датчика случайных чисел.

В результате поступающий в бункер грузопоток представляет собой ступенчатую случайную функцию со столбцами, имеющими одинаковое основание Δt , и высотой, равной $m_Q + \eta_k$.

Порции поступающего в бункер груза за интервалы времени $[t_k, t_k + \Delta t]$ ($t_k = k\Delta t$) определяются по формуле

$$\xi_k = (m_Q + \eta_k) \Delta t, \quad (k=1, 2, \dots, n). \quad (3)$$

Обозначим через Q_n минутную производительность выгружаемого из бункера грузопотока, которая не меняется во времени; а через $V(t)$ обозначим количество груза, находящегося в момент времени t в бункере.

Рассмотрим четыре режима работы сглаживающего бункера при его работе в линии последовательно соединенных конвейеров.

1) Надбункерный и подбункерный конвейеры работают постоянно. В этом случае текущее значение объема груза в бункере V в момент времени $t_k = k\Delta t$ имитируется согласно алгоритму

$$V_k = V_{k-1} + \xi_k - Q_n \Delta t, \quad (k=1, 2, \dots, n), \quad (4)$$

при этом если $V_k < 0$, то $V_k = 0$.

2) Надбункерный конвейер останавливается, если количество груза в бункере достигает предельного максимального значения V_{\max} , а подбункерный конвейер работает постоянно. В этом случае текущее значение объема груза в бункере V в момент времени t_k определяется по формуле (4). При этом

если $V_k > V_{\max}$, то $V_{k+1} = V_k - Q_n \Delta t$;
 если $V_k < 0$, то $V_k = 0$ и $V_{k+1} = V_k + \xi_{k+1} - Q_n \Delta t$.

3) Надбункерный конвейер останавливается, если количество груза в бункере достигает предельного максимального значения V_{\max} , а подбункерный конвейер останавливается, если количество груза в бункере достигает предельного минимального значения V_{\min} . В этом случае текущее значение объема груза в бункере V в момент времени t_k определяется по формуле (4). При этом

если $V_k > V_{\max}$, то $V_{k+1} = V_k - Q_n \Delta t$;
 если $V_k < V_{\min}$, то $V_{k+1} = V_k + \xi_{k+1}$,
 если $V_k < V_{\min}$ и $V_k < 0$, то $V_k = 0$ и $V_{k+1} = V_k + \xi_{k+1}$.

4) Надбункерный конвейер не останавливается, а при достижении объема груза в бункере предельного максимального значения V_{\max} включается подбункерный конвейер. Если объем груза в бункере становится меньше минимального значения V_{\min} , то подбункерный конвейер останавливается. В этом случае текущее значение объема груза в бункере V в момент времени t_k имитируется согласно алгоритму

$$V_k = V_{k-1} + \xi_k, (k=1,2,\dots,n).$$

При этом если $V_k > V_{\max}$, то $V_{k+1} = V_k + \xi_{k+1} - Q_n \Delta t$;
 если $V_k < V_{\min}$, то $V_{k+1} = V_k + \xi_{k+1}$.

Для каждого случая проводилось N количеств имитаций реализаций случайного процесса $V(t)$. Затем, согласно методам математической статистики [11], для каждого момента времени t_k находились: математическое ожидание $M[v(t)]$, дисперсия $D[v(t)]$ и среднее квадратическое отклонение $\sigma(t)$.

При имитационном моделировании функционирования аккумулирующего бункера предполагается, что поступающий в бункер и выходящий из него грузопотоки $Q_n(t)$, $Q_p(t)$ соответственно описываются ступенчатыми функциями с высотой ступеней, равной m_Q в случае поступления груза в бункер и равной Q_n в случае разгрузки бункера (см. рис. 2).

Интервалы времени поступления груза в бункер t_{1i} и интервалы времени отсутствия поступления груза τ_{1i} распределены по экспоненциальному закону. Аналогично интервалы времени, в течение которых бункер разгружается t_{2i} и не разгружается τ_{2i} , также распределены по экспоненциальному закону.

Согласно [12], интервалы времени поступления и отсутствия поступления груза в бункер имитируются по формулам

$$t_{1i} = -\frac{1}{\lambda_1} \ln r_i, \quad \tau_{1i} = -\frac{1}{\mu_1} \ln r_i, \quad (5)$$

где λ_1, μ_1 – интенсивности потоков поступления и отсутствия груза соответ-

ственно; r_i – случайные числа, равномерно распределенные в интервале (0,1).

Аналогично имитируются интервалы времени, в течение которых бункер разгружается t_{2i} и не разгружается τ_{2i} .

$$t_{2i} = -\frac{1}{\lambda_2} \ln r_i, \quad \tau_{2i} = -\frac{1}{\mu_2} \ln r_i, \quad (6)$$

где λ_2, μ_2 – интенсивности потока разгрузки и отсутствия разгрузки бункера соответственно; r_i – случайные числа, равномерно распределенные в интервале (0,1).

Разобъем интервал времени функционирования бункера T на n равных частей длиной $\Delta t = T/n$.

Определим согласно (4), (5) интервалы времени t_{1i}, τ_{1i} для грузопотоков, поступающих в бункер, и интервалы времени t_{2i}, τ_{2i} для грузопотока, выходящего из бункера за некоторый период времени его работы T . Затем вычислим порции груза, поступающие в бункер за интервалы времени $[t_k, t_k + \Delta t]$ ($t_k = k\Delta t$), по формуле

$$\xi_{nk} = m_Q \Delta t, \quad (k=1, 2, \dots, n). \quad (7)$$

Если $\sum_{i=1}^s (t_{1i-1} + \tau_{1i-1}) + t_{1s} < k\Delta t < \sum_{i=1}^s (t_{1i} + \tau_{1i})$, то $m_Q = 0$, где m_Q – средняя производительность грузопотока на входе из надбункерной конвейерной линии; s – число простоев надбункерной конвейерной линии за период времени t .

Также вычислим порции груза, выгружаемые из бункера за интервал времени $[t_k, t_k + \Delta t]$, по формуле

$$\xi_{pk} = Q_n \Delta t, \quad (k=1, 2, \dots, n). \quad (8)$$

Если $\sum_{i=1}^m (t_{2i-1} + \tau_{2i-1}) + t_{2m} < k\Delta t < \sum_{i=1}^m (t_{2i} + \tau_{2i})$, то $Q_n = 0$, где Q_n – производительность разгрузки бункера; m – число простоев подбункерной конвейерной линии за период времени t .

Рассмотрим режимы работы аккумулялирующего бункера при его работе в цепи последовательно соединенных конвейеров. Эти режимы совпадают с ранее рассмотренными режимами работы сглаживающих бункеров.

Тогда для каждого режима работы аккумулялирующего бункера алгоритмы имитации объема количества груза в бункере V в моменты времени t_k представляются в виде:

1) Загрузка работает постоянно, разгрузка работает постоянно.

В этом случае объем материала в бункере V имитируется по формуле

$$V_k = V_{k-1} + \xi_{nk} - \xi_{pk}, (k=1,2,\dots,n), \quad (9)$$

при этом если $V_k < 0$, то $V_k = 0$.

2) Загрузка останавливается, разгрузка работает постоянно.

В этом случае объем материала в бункере V определяется по формуле (9).

При этом если $V_k > V_{\max}$, то $V_{k+1} = V_k - \xi_{pk}$;

если $V_k < 0$, то $V_k = 0$ и $V_{k+1} = V_k + \xi_{nk+1} - \xi_{pk+1}$.

3) Загрузка останавливается, разгрузка останавливается.

В этом случае объем материала в бункере V имитируется согласно (9). При этом если $V_k > V_{\max}$, то $V_{k+1} = V_k - \xi_{pk+1}$;

если $V_k < V_{\min}$, то $V_{k+1} = V_k + \xi_{nk+1}$;

если $V_k < V_{\min}$ и $V_k < 0$, то $V_k = 0$ и $V_{k+1} = V_k + \xi_{nk+1}$.

4) Загрузка не останавливается, разгрузка останавливается.

В этом случае объем материала в бункере V имитируется с помощью алгоритма

$$V_k = V_{k-1} + \xi_{nk}.$$

При этом если $V_k > V_{\max}$, то $V_{k+1} = V_k + \xi_{nk+1} - \xi_{pk+1}$;

если $V_k < V_{\min}$, то $V_{k+1} = V_k + \xi_{nk+1}$.

По результатам имитационного моделирования функционирования аккумулярующего бункера, работающего в линии последовательно соединенных конвейеров, с помощью методов математической статистики [12] получены математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратичное отклонение объема груза в бункере в различные моменты времени t_k .

На рис. 3 и рис 4 показаны графики изменения математического ожидания и среднего квадратического отклонения объема груза в сглаживающем и аккумулярующем бункерах от времени при $m_Q=3,7$ т/мин и степенях сглаживания $\delta=1,2$, $k_n=2$, $\alpha=0,14$ мин⁻¹ для сглаживающего бункера (рис. 3) и при $m_Q=3,7$ т/мин, $Q_n=2$ т/мин, $\lambda_1=0,025$, $\lambda_2=0,017$, $\mu_1=0,061$, $\mu_2=0,069$ для аккумулярующего бункера (рис. 4). На этих же рисунках точками показаны значения математического ожидания и среднего квадратичного отклонения объема груза в бункерах, вычисленные по характеристикам нормального случайного процесса, полученного с помощью математического моделирования процесса функционирования сглаживающего и аккумулярующего бункера [1, 2].

Для сглаживающего бункера

$$M[v(t)] = (m_Q - Q_n)t; \quad (10)$$

$$D[v(t)] = 2\sigma_Q^2 \left(\frac{1}{\alpha^2} e^{-\alpha t} + \frac{t}{\alpha} - \frac{1}{\alpha^2} \right), \quad (11)$$

где $\sigma_Q = \frac{1}{3}m_Q(K_n - 1)$; K_n – коэффициент неравномерности поступающего в бункер грузопотока.

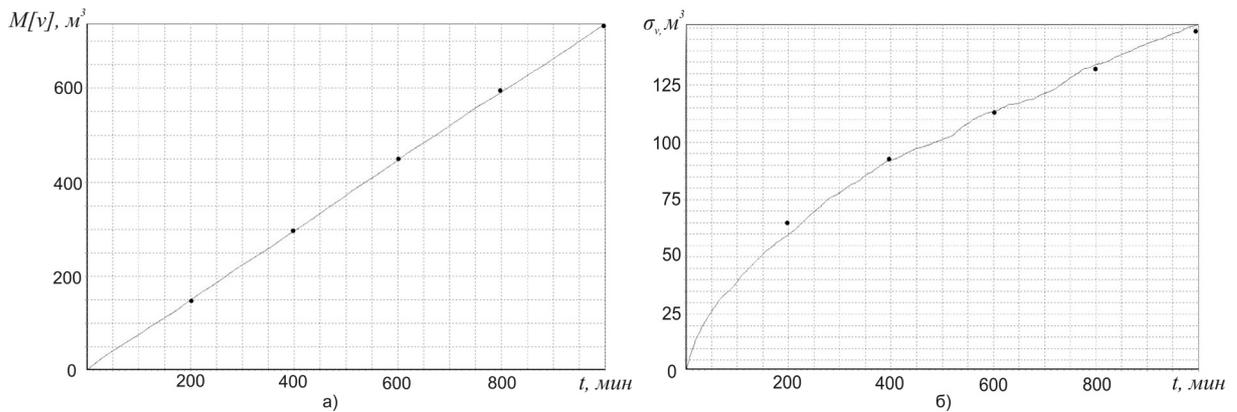


Рис. 3 – Графики зависимости математического ожидания (а) и среднего квадратичного отклонения (б) объема усредняющего бункера от времени ($\Delta t = 1$ мин)

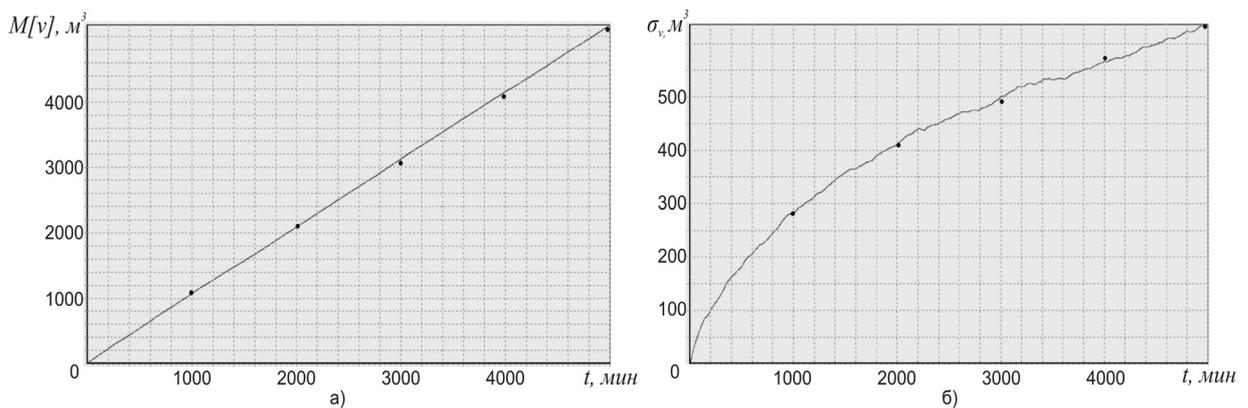


Рис. 4 – Графики зависимости математического ожидания (а) и среднего квадратичного отклонения (б) объема аккумулирующего бункера от времени ($\Delta t = 1$ мин)

Для аккумулирующего бункера

$$M[v(t)] = (m_Q P_1 - Q_n P_2)t, \quad (12)$$

$$\text{где } P_1 = \frac{\mu_1}{\mu_1 + \lambda_1} \text{ и } P_2 = \frac{\mu_2}{\mu_2 + \lambda_2};$$

$$D[v(t)] = D_{v1} + D_{v2}, \quad (13)$$

$$\text{где } D_{v1} = 2m_Q^2 P_1 (1 - P_1) \left(\frac{1}{\alpha_1^2} e^{-\alpha_1 t} + \frac{t}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_1^2} \right);$$

$$D_{v_2} = 2Q_n P_2 (1 - P_2) \left(\frac{1}{\alpha_2^2} e^{-\alpha_2 t} + \frac{t}{\alpha_2} - \frac{1}{\alpha_2^2} \right); \quad \alpha_1 = \lambda_1 + \mu_1; \quad \alpha_2 = \lambda_2 + \mu_2.$$

Из графиков видно, что для указанных значений производительностей поступающего и выгружаемого грузопотоков результаты имитационного моделирования хорошо совпадают с результатами математического моделирования процессов функционирования сглаживающих и аккумулирующих бункеров.

Анализ результатов имитационного моделирования различных режимов работы бункеров показал, что если средняя производительность грузопотока, поступающего в сглаживающий и аккумулирующий бункер, больше средней производительности разгружаемого грузопотока, то объем груза в бункере можно описать нормальными случайными нестационарными процессами с математическим ожиданием и дисперсией, вычисленными по формулам (10)-(13). Если же средняя производительность поступающего в бункер грузопотока близка или меньше производительности разгружаемого грузопотока, то результаты имитационной модели достаточно существенно отличаются от результатов математического моделирования. Это связано с тем, что в математической модели, описывающей функционирование сглаживающего и аккумулирующего бункера, отрицательные значения случайного процесса не обнулялись. В то же время в разработанных имитационных моделях функционирования бункеров отрицательные значения порций груза в бункере обнулялись.

Следовательно, разработаны алгоритмы имитационного моделирования для различных режимов работы сглаживающих и аккумулирующих бункеров, позволяющие исследовать процессы функционирования бункеров в системах подземного конвейерного транспорта угольных шахт, а также определить их характеристики, в частности, пропускную способность и оптимальный объем бункеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирия Р.В. Определение минимального объема сглаживающего бункера / Р.В. Кирия, Д.Д. Брагинец // Збірник наук. праць НГУ. - Дніпропетровськ: РВК НГУ. - 2007. - №27. - С. 88-93.
2. Кирия Р.В. Минимальный объем аккумулирующего бункера / Р.В. Кирия, Д.Д. Брагинец // Геотехническая механика. - Днепропетровск: ИГТМ НАНУ. - 2007. - №69. - С. 43-50.
3. Кирия Р.В. Увеличение пропускной способности конвейерных линий при использовании аккумулирующих бункеров // Геотехническая механика. - Днепропетровск: ИГТМ НАНУ. - 2007. - №68. - С. 158-166.
4. Кузнецов Б.А. Определение промежуточных емкостей в конвейерных системах методом статистического моделирования / Б.А. Кузнецов, А.М. Эрперт // Шахтный и карьерный транспорт. - М.: Недра, 1975. - Вып. 2. - С. 87-92.
5. Пономаренко В.А. Системы подземного транспорта на угольных шахтах / В.А. Пономаренко, Е.Л. Креймер, Г.А. Дунаев и др. - М.: Недра, 1975. - 309 с.
6. Алотин Л.М. Моделирование и расчет транспортных схем горных предприятий / Л.М. Алотин, П.Б. Степанов. - Алма-Ата: Наука, 1979. - 214 с.
7. Саржанов С.Ж. Моделирование процесса усреднения забойных грузопотоков угольных шахт // Шахтный и карьерный транспорт. - М.: Недра, 1980. - Вып. 6. - С. 43-47.
8. Шахмейстер Л.Г. Подземные конвейерные установки / Л.Г. Шахмейстер, Г.И. Солод. - М.: Недра, 1976. - 432 с.
9. Свешников А.А. Прикладные методы случайных функций. - М.: Наука, 1968. - 464 с.
10. Полляк Ю.Г. Вероятностное моделирование на ЭВМ. - М.: Советское радио, 1971 - 222 с.

11. Потапов В.Д. Имитационное моделирование производственных процессов в горной промышленности / В.Д. Потапов, А.Д. Яризов. - М.: Высшая школа, 1981. - 189 с.
 12. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1978 - 400 с.

УДК 622.235

Інж. В.А. Адамов, інж. І.А. Адамов
 (Мін. надзв. ситуацій),
 канд.техн.наук, с.н.с. В.І. Косенко
 (ІГТМ НАН України)

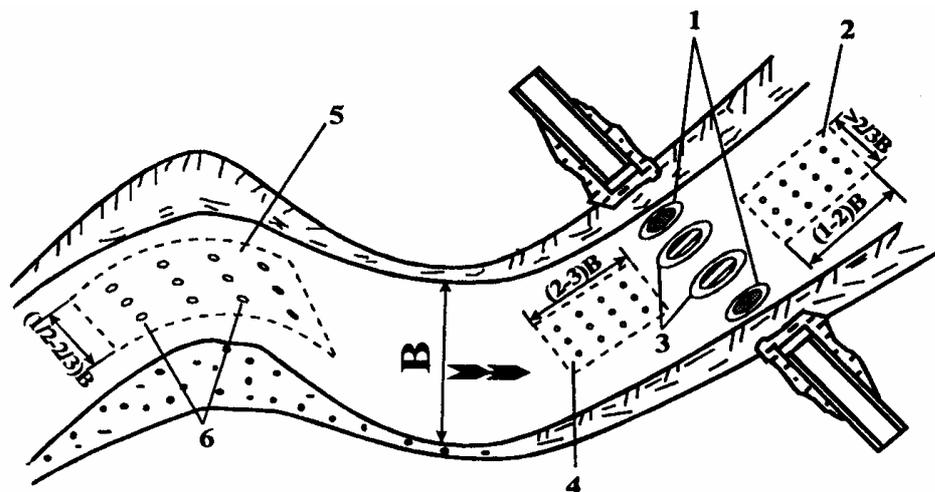
ТЕХНОЛОГІЯ ВИБУХОВИХ РОБІТ ПРИ ЗАХИСТІ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД У ПЕРІОД ЛЬОДОХОДУ

Представлены результаты исследований характера взрывного разрушения льда на реках. Показаны результаты разрушения льда такжекумулятивными зарядами.

TECHNOLOGY OF EXPLOSIVE JOBS AT PROTECTION OF TRANSPORT STRUCTURES IN THE PERIOD ICE

The results of researches of character of explosive destruction of ice on the rivers are submitted. The results of destruction of ice also by cumulative charges are shown.

Вибухові роботи при льодоходах на ріках застосовуються з метою захисту мостів та гідротехнічних споруд (ГТС) від пошкодження льодом, попередження утворення крижаних заторів і їх руйнування, звільнення судів, вмерзлих у лід, і проводки їх через льоди. Мости і гідротехнічні споруди перед початком льодоходу звільняються від крижаного покривала. З верхової і низової сторони об'єкта влаштовуються майни. Їх влаштовують і на ділянках ріки, де можливі затори (мал. 1).



- 1 - опори мостів; 2 - низова майна; 3 - борозни (канави) навколо опор; 4 - верхова майна;
 5 - майна на заторонебезпечній ділянці; 6 - ополонка для опускання зарядів під лід;
 В - ширина ріки

Мал.. 1 – Захист мостів і запобігання заторам на річці