

ли, показали, что кольцевой уступ позволяет достигнуть более равномерного распределения скорости воздушного потока, и тем самым обеспечить эффективное всасывание практически по всей площади приёмного отверстия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование промышленной вентиляции: Справочник / Торговников Б. М., Табачник В. Е., Ефанов Е. М. – Киев: Будівельник, 1983. – 256 с.
2. Волков О. Д. Проектирование вентиляции промышленного здания (Учеб. пособие). – Х.: Выща шк. Изд-во при ХГУ, 1989. – 240 с.: ил.
3. Самарский А. А., Попов Ю. П. Вычислительный эксперимент. – М.: Наука, 1988. – 279 с.

УДК 622.647.2

Д.Д. Брагинец, ведущий инженер,  
Т.Ф. Мищенко, мл. науч. сотр.,  
ИГТМ НАН Украины

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМ ПОДЗЕМНОГО КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

У результаті застосування методу декомпозиції й подання системи конвеєрного транспорту у вигляді фрактала отримано алгоритм визначення її пропускної здатності. Отримані результати перевірялися за допомогою імітаційного моделювання на ЕОМ.

### **DETERMINATION OF COEFFICIENT OF CARRYING CAPACITY OF THE SYSTEMS OF UNDERGROUND CONVEYER TRANSPORT OF COAL MINES**

As a result of application of method of decomposition and presentation of the system of conveyor transport in a fractal form the algorithm of determination of its carrying capacity is got. The obtained results were checked up by the imitating computer modeling.

Опыт эксплуатации угольных шахт показал, что одним из главных факторов, снижающих эффективность их работы, является недостаточная пропускная способность системы подземного конвейерного транспорта, связанная с простоями конвейерного оборудования.

Поэтому при проектировании систем подземного конвейерного транспорта необходимо уметь определять ее реальную производительность с учетом простоев конвейерного оборудования, другими словами, на стадии эскизного проектирования системы транспорта определить ее пропускную способность.

Обычно системы подземного конвейерного транспорта имеют сложную разветвленную структуру, включающую в себя участки как с последовательным, так и с параллельным соединением элементов, что значительно усложняет определение их пропускной способности (рис. 1).

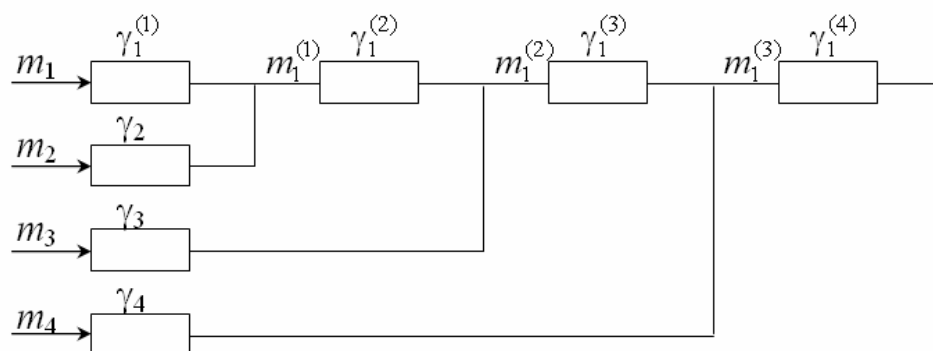


Рис. 1 – Структурная схема системы подземного конвейерного транспорта угольной шахты

Вопросами расчета надежности и пропускной способности систем конвейерного транспорта занимались А.О. Спиваковский, М.Г. Потапов, Г.В. Приседский [1], Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев [2], В.Ф. Монастырский, Р.В. Кирия [3], Б.Г. Климов, В.Я. Богословский [4], П.Г. Степанов [5].

В работе [1] с помощью модели марковского случайного процесса найдена пропускная способность простейших систем транспорта с последовательным и параллельным соединением элементов и их комбинаций, состоящих из трех элементов. В результате получены аналитические зависимости только для частных случаев.

В работах [2-3] найден коэффициент готовности системы транспорта, состоящей из двух параллельных линий с переключением потока с одной линии на другую. При этом в работе [3] учитывалась надежность перегрузочных узлов.

В работе [4] приводится методика расчета коэффициента готовности системы подземного конвейерного транспорта, состоящей из двух попарно параллельных конвейерных линий, транспортирующих груз на общую линию магистральных конвейеров. Эта методика основывается на формуле коэффициента готовности последовательно соединенных элементов. При этом среднее время восстановления разветвленных участков определяется по формуле параллельного соединения элементов.

Недостатком работы является отсутствие конкретного алгоритма расчета коэффициента готовности и пропускной способности системы. Кроме того, в работе не сказано, для какого закона распределения времени работы и простоев конвейеров применима эта методика.

В работе [5] изложен метод имитационного моделирования систем конвейерного транспорта угольных шахт с любой разветвленной структурой, при этом система разбивалась на функциональные структурные блоки, для которых определялись показатели надежности и эффективности. Однако использовать этот метод для создания концепции синтеза систем конвейерного транспорта затруднительно.

Следовательно, до настоящего времени не существует достаточно простых методов расчета надежности и пропускной способности систем транспорта со сложной разветвленной структурой.

В данной работе предложен метод и алгоритм расчета пропускной способности систем транспорта со сложной и разветвленной структурой при любых заданных законах распределения времени работы и простоев конвейеров.

Эффективность функционирования конвейерной линии характеризуется ее пропускной способностью, т.е. максимальным количеством груза, которое может пропустить конвейерная линия в единицу времени при определенном состоянии ее элементов [6].

Пропускная способность является случайной величиной и зависит от состояния системы конвейерного транспорта, которое определяется комбинацией исправных и неисправных элементов.

Показателем эффективности работы системы конвейерного транспорта является коэффициент пропускной способности (коэффициент сохранения эффективности)  $K_n$  [7], определяемый по формуле

$$K_n = \frac{Q_{cp}}{Q_T},$$

где  $Q_T$  – теоретическая производительность всей системы, равная ее производительности при условии непрерывной работы всех элементов,  $Q_T = \sum_{i=1}^n m_i$ ;  $m_i$

– средняя теоретическая производительность  $i$ -го очистного забоя;  $Q_{cp}$  – среднее значение пропускной способности системы конвейерного транспорта.

Среднее значение пропускной способности можно определить как

$$Q_{cp} = \sum_{i=0}^m P_k Q_k,$$

где  $m$  – количество возможных состояний системы;  $Q_k$  – значение пропускной способности, соответствующее определенному состоянию системы конвейерного транспорта,  $Q_0 = Q_T$  – производительность системы в случае работы всех элементов;  $P_k$  – вероятность пребывания системы в состоянии со значением пропускной способности  $Q_k$ .

Так как вероятность пребывания системы конвейерного транспорта в определенном состоянии зависит от надежности оборудования, то и коэффициент  $K_n$  зависит от надежности работы конвейеров.

Если предположить, что периоды работы и простоев конвейеров распределены по экспоненциальному закону, то процесс функционирования системы конвейерного транспорта описывается марковским процессом с непрерывным временем и дискретным множеством фазных состояний. Однако описать марковским процессом систему подземного конвейерного транспорта угольных шахт практически невозможно из-за большого количества конвейеров и ее сложной разветвленной структуры.

Поэтому на практике применяют приближенный метод определения ко-

эфициента пропускной способности, при этом систему конвейерного транспорта разбивают на подсистемы с последовательным и параллельным соединением элементов. Для каждой такой подсистемы определяют ее показатели надежности и пропускную способность. В результате система конвейерного транспорта сводится к более простой системе с последовательным или параллельным соединением элементов. Элементами этой системы являются подсистемы с последовательным или параллельным соединением элементов исходной системы конвейерного транспорта. При этом подсистемы с последовательным соединением элементов заменяются эквивалентным элементом со следующими параметрами [1]:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad \gamma_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \gamma_i, \quad \mu_{\Sigma} = \frac{\lambda_{\Sigma}}{\gamma_{\Sigma}},$$

где  $\lambda_i$ ,  $\mu_i$  и  $\gamma_i$  – соответственно параметр потока отказов, параметр потока восстановления и показатель аварийности последовательно соединенных элементов.

Коэффициент пропускной способности такой подсистемы совпадает с коэффициентом готовности последовательного соединения элементов и определяется по формуле [1]

$$K_n = \frac{1}{1 + \gamma_{\Sigma}}.$$

Подсистема с параллельным соединением элементов заменяется эквивалентным элементом с коэффициентом пропускной способности, определяемым по формуле [7]

$$K_n = \frac{\sum_{k=0}^m Q_k P_k}{\sum_{i=1}^n m_i},$$

где  $P_k$ , согласно [1], определяется по формуле

$$P_k = \frac{\prod_{i=1}^r \gamma_i}{\prod_{i=1}^n (1 + \gamma_i)} \quad (r=1, 2, \dots, n),$$

где  $r$  – число неработающих линий;  $\gamma_i$  – коэффициент аварийности  $i$ -ой кон-

вейерной линии.

В последней формуле числитель представляет собой произведение показателей аварийности неработающих линий системы транспорта, находящихся в  $k$ -том состоянии.

В то же время расчет пропускной способности сложной и разветвленной системы подземного конвейерного транспорта выше описанным методом также требует большого объема вычислительных работ, которые практически невозможно автоматизировать на ЭВМ.

Для решения этой проблемы систему конвейерного транспорта сводят к фракталу [8] (см. рис. 1). Каждый элемент этого фрактала может представлять собой один конвейер или подсистему последовательно соединенных конвейеров с соответствующими параметрами  $\lambda$ ,  $\mu$ .

Если предположить, что время работы элементов этой системы намного больше времени их восстановления, т.е.  $\lambda \ll \mu$  ( $\gamma \ll 1$ ), то на выходе с первого уровня фрактала случайный процесс функционирования этой подсистемы можно представить в виде суммы случайных процессов

$$\xi^{(1)} = \xi_1 + \xi_2, \quad (1)$$

где  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  – мгновенные производительности (интенсивности) грузопотоков на выходе из первой и второй конвейерных линий соответственно.

Согласно теореме о среднем суммы случайных величин [9], из (1) имеем

$$M[\xi^{(1)}] = M[\xi_1] + M[\xi_2]. \quad (2)$$

Полагая, что вероятности работы первых двух конвейерных линий фрактала равны  $P_1$  и  $P_2$ , получим

$$M[\xi_1] = m_1 P_1, \quad M[\xi_2] = m_2 P_2, \quad (3)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – средние производительности грузопотоков горной массы, поступающих из лав на первую и вторую конвейерные линии.

Положим, что время работы и простоев элементов системы распределено по показательному закону, тогда имеем [1]

$$P_1 = \frac{1}{1 + \gamma_1}, \quad P_2 = \frac{1}{1 + \gamma_2}, \quad (4)$$

где  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  – коэффициенты аварийности конвейерных линий соответственно.

Подставляя (3) в (2), с учетом (4), получим

$$m_1^{(1)} = M[\xi^{(1)}] = \frac{m_1}{1 + \gamma_1} + \frac{m_2}{1 + \gamma_2}. \quad (5)$$

Аналогично можно получить среднее значение производительности грузопотока на входе каждого  $i$ -го уровня фрактала.

В результате приходим к рекуррентному выражению

$$m_1^{(i)} = \frac{m_1^{(i-1)}}{1 + \gamma_1^{(i)}} + \frac{m_{i+1}}{1 + \gamma_{i+1}}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (6)$$

где  $m_1^{(i-1)}$  – средняя производительность на входе в  $i$ -й уровень фрактала;  $\gamma_1^{(i)}$  – коэффициент аварийности крайнего левого элемента  $i$ -го уровня фрактала (см. рис. 1);  $\gamma_{i+1}$  – коэффициент аварийности  $(i+1)$ -й конвейерной линии;  $m_{i+1}$  – средняя производительность на входе в  $(i+1)$ -ю конвейерную линию.

Коэффициент пропускной способности всей системы конвейерного транспорта определяется по формуле

$$K_n = \frac{m_1^{(n)}}{\sum_{i=1}^n m_i}. \quad (7)$$

Можно показать, что полученные соотношения (6) и (7) имеют место не только в случае показательного закона распределения времени работы и простоев конвейеров, а и для произвольных законов распределения. Действительно, согласно [10], в восстанавливаемых системах с непоказательными законами распределения времени работы и простоев элементов в установившемся режиме поведение элементов системы совпадает с поведением этих же элементов, но имеющих экспоненциальные законы распределения времени их работы и простоев с тем же средним временем их работы и простоя.

Другими словами, процесс функционирования систем конвейерного транспорта с не экспоненциальными законами распределения времени работы и простоя элементов при установившемся режиме работы системы описывается марковским процессом с экспоненциальным законом распределения времени работы и простоя элементов с таким же средним временем их работы и простоев.

Полученные соотношения (6) и (7), определяющие пропускную способность системы конвейерного транспорта, проверялись с помощью имитационного моделирования на ЭВМ.

В таблице 1 приведены результаты расчета коэффициента пропускной способности  $K_n$  системы конвейерного транспорта (см. рис. 1) при  $n = 4$ , произведенные по формулам (6) и (7), и значения этого коэффициента, получен-

ные с помощью имитационного моделирования для различных законов распределения времени работы и простоев элементов этой системы.

Таблица 1 – Значения коэффициента пропускной способности  $K_n$ , полученные в результате теоретического расчета и имитационного моделирования

Закон		$K_n$	
наработка	восстановление	имитация	теория
экспоненциальный	экспоненциальный	0,7338	0,7307
экспоненциальный	нормальный	0,7317	
нормальный	нормальный	0,7389	

Из табл. 1 видно достаточно хорошее совпадение теоретического расчета с результатами имитационного моделирования.

Следовательно, на основе метода декомпозиции и представления системы конвейерного транспорта в виде фрактала разработан алгоритм определения ее пропускной способности для любых законов распределения времени работы и простоев ее элементов. Расчет коэффициента пропускной способности, выполненный по этой методике, с достаточной точностью совпадает с результатами имитационного моделирования для случая, когда коэффициент аварийности конвейеров удовлетворяет условию  $\gamma \ll 1$ . Полученный алгоритм в виде рекуррентного соотношения легко реализуется на ЭВМ, а результаты работы могут быть использованы при проектировании систем конвейерного транспорта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спиваковский А.О., Потапов М.Г., Приседский Г.В. Карьерный конвейерный транспорт. – М.: Недра, 1979. – 264 с.
2. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин. – М.: Машиностроение, 1983. – 256 с.
3. Монастырский В.Ф., Кирия Р.В. и др. Повышение эффективности работы конвейерных линий ЦПТ в условиях горных предприятий // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1994. – №1. – С. 44-46.
4. Климов Б.Г., Богословский В.Я. К расчету параметров надежности конвейерных линий с применением ЭВМ // Изв. вузов. Горный журнал. – 1972. – №11. – С. 91-95.
5. Степанов П.Б. Системы имитационного моделирования и оптимизация горно-транспортных процессов // Изв. вузов. Горный журнал. – 1979. – №1. – С. 74-81.
6. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
7. Справочник надежности технических систем. Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
8. Шредер Н. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая. – Ижевск.: НИЦ, 2005. – 528 с.
9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерное приложение. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.
10. Эндрени Дж. Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.