

УДК 622.647.2

Р.В. Кирия

## ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*В результате представления системы конвейерного транспорта в виде фрактала получен алгоритм определения ее пропускной способности. Полученные результаты проверялись с помощью имитационного моделирования на ЭВМ.*

*Ключевые слова: система конвейерного транспорта, пропускная способность, фрактал.*

Системы конвейерного транспорта горных предприятий имеют сложную разветвленную структуру, включающую в себя участки как с последовательным, так и с параллельным соединением элементов, что значительно усложняет определение их пропускной способности. Поэтому определить пропускную способность такой системы является сложной задачей.

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], А.М. Половко [6].

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.

В работе [6] изложены различные аналитические методы, а также методы имитационного статистического моделирования определения надежности сложных систем, состоящих из большого количества элементов. К аналитическим методам, прежде всего, относятся логико-вероятностные методы, методы, основанные на теории случайных процессов, декомпозиции, асимптотические и эвристические методы, а также аналитико-статистические.

Однако, все описанные в работе [6] методы определения надежности и пропускной способности очень сложны и требуют большого количества времени расчета на ПЭВМ.

Следовательно, до настоящего времени не существует достаточно простых методов расчета надежности и пропускной способности систем конвейерного 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 [7].

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)  $K_n$  [8], 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 коэффициента пропускной способности – метод декомпозиции [6-8]. 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 конвейерной 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 требует большого объема вычислительных работ, которые практически невозможно автоматизировать на ЭВМ.

Для решения этой проблемы систему конвейерного транспорта сводят к древовидному фракталу [9] (рис. 1). Каждый элемент этого фрактала может представлять собой один конвейер или подсистему последовательно соединенных конвейеров с соответствующими параметрами  $\lambda, \mu$ .

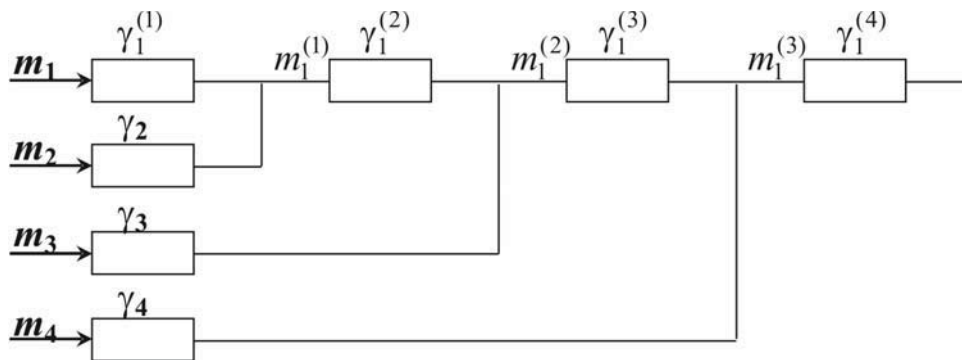


Рис. 1 – Структурная схема системы подземного конвейерного транспорта угольной шахты

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 [10], 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 [11], 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, полученные 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.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Спиваковский, А.О. Карьерный конвейерный транспорт / А.О. Спиваковский, М.Г. Потапов, Г.В. Приседский. - М.: Недра, 1979. - 264 с.
2. Шахмейстер Л.Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев. - М.: Машиностроение, 1983. - 256 с.
3. Монастырский В.Ф. Повышение эффективности работы конвейерных линий ЦПТ в условиях горных предприятий / В.Ф. Монастырский, Р.В. Кирия [и др]. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 1994. - №1. - С. 44-46.
4. Климов Б.Г. К расчету параметров надежности конвейерных линий с применением ЭВМ / Б.Г. Климов, В.Я. Богословский // *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. Половко А.М. Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Буров. - Санкт-Петербург: «БХВ-Петербург», 2008. - 704 с.
7. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1978. - 400 с.
8. Справочник надежности технических систем. Под ред. И.А. Ушакова. - М.: Радио и связь, 1985. - 608 с.
9. Шредер Н. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая. - Ижевск.: НИЦ, 2005. - 528 с.
10. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерное приложение / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. - М.: Высшая школа, 2000. - 480 с.
11. Эндрени Дж. Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 336 с.