

## АНАЛИЗ И ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА РИСКОВ ПРОСТОЕВ КАРЬЕРНОГО КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА

*К.В. Литвиненко, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Украина*

Представлена методика анализа рисков на основе диаграммного подхода. Предложена процедура численной оценки рисков с использованием метода стохастического сетевого GERT - моделирования.

**Вступление.** Главная цель производственного анализа – своевременное получение достоверной информации об эффективности функционирования системы, необходимой для выработки, обоснования и реализации рациональных эксплуатационных решений. Количественной мерой качества эксплуатация, надежности, безопасности и т.д. системы служит риск.

При анализе и прогнозировании производственно-технологических систем все более важное место занимает риск - ориентированная методология. В международных стандартах ISO эта тема представлена документами:

ISO 12100:2010 «Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction»;

ISO/TR 14121-2:2007 «Safety of machinery – Risk assessment – Part 2: Practical guidance and examples of methods»;

ISO 31000:2009 «Risk management – Principles and guidelines»;

ISO/IEC 31010:2009 «Risk management – Risk assessment techniques».

В Российской Федерации была выпущена серия стандартов ГОСТ Р 51901 «Менеджмент риска», в том числе для анализа риска производственно-технологических систем:

ГОСТ Р 51901.1-2002 «Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем»;

ГОСТ Р 51901.12-2007 «Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов»;

ГОСТ Р 51901.13-2005 «Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей»;

ГОСТ Р 51901.14-2007 «Менеджмент риска. Структурная схема надежности и булевы методы» и др.

К сожалению, в системе стандартов Украины не представлены стандарты по управлению рисками производственно - технологическими процессами горнотранспортной системы.

**Постановка задачи.** Горнотранспортная система карьера рассматривается как производственно-технологическая система, обеспечивающая эффективное функционирование в течение длительного промежутка времени. Таким образом, некорректная работа (недостижение заложенных расчетных характеристик, работа на ограничительных пределах параметров и т.д.) крайне нежелательны. В случае если это все же произошло, то время на поиски и устранение причин низкой эффективности эксплуатации должны быть минимальным.

Под риском в литературе понимается угроза частичной или полной потери эффективности производственной деятельности в результате действия некоторых неблагоприятных факторов [1,2,3]. В абсолютном выражении риск определяется величиной возможных потерь в стоимостном выражении; в относительном – риск есть величина возможных потерь, отнесенных к одному из показателей: себестоимость, стоимость, прибыль. Для предотвращения потерь следует на основании некоторого критерия оценить степень риска и стремиться снизить его до более низкого уровня, уменьшая степень отрицательного воздействия на конечный результат. В качестве критерия при рисковом анализе участков горнотранспортной системы выступает потеря производительности горнотранспортного оборудования по времени. В данной работе предлагается метод анализа и численной оценки рисков конвейерного транспорта как локального критерия прогнозируемой величины простоев и убытков.

**Цель работы.** В работе предложена методика анализа и расчета количественных значений риска простоев основе диаграммы «причин и результатов» и процедур потоковых графов.

**Основной материал.** *Диаграммный подход.* Результат функционирования системы зависит от многочисленных случайных факторов. Отношения, действующие между результатом и факторами, могут быть охарактеризованы как причина – следствие. Анализ риска сложных технических систем требует системного структурного подхода к анализу причин, влияющих на величину риска. Удобной и доступной формой для проведения такого анализа является диаграмма «причин – результатов». Так как величины финансовых убытков напрямую зависят от простоев оборудования производственно - технологической системы, то выяснение причин простоев и их степень влияния являются одним из важных моментов при анализе риска. Успешность диаграммного анализа причин простоев дает возможность в дальнейшем осуществлять правильное ситуационное и календарное планирование процедур по снижению рисков и соответственно убытков предприятия.

Перед построением диаграммы для анализа риска необходимо осуществить все неблагоприятные факторы, оказывающие влияние на производственно - технологический процесс. Привлечение мнений специалистов и сбор статистической информации являются главнейшими шагами на первом этапе составления диаграммы. Из множества определенных неблагоприятных факторов необходимо логически выделить наиболее важные факторы по своему влиянию на величину риска. На данном этапе возможно установление определенной иерархической структуры на множестве определенных факторов. Некоторые из идентифицированных второстепенных факторов могут представлять структурные элементы главнейших факторов. Качество проведения данного этапа является очень важным, так как выпадение из рассмотрения некоторых неучтенных факторов может серьезно повлиять на оценочное значение величины риска.

Если система или процесс достаточно сложны, то необходимо разделить его на составные части или подпроцессы, в которых происходит достаточно независимое функционирование элементов. В противном случае диаграмма может оказаться большой и сложной, что затруднит процесс анализа риска и последующего принятия решения.

Так как в инженерном расчете нужно стремиться к получению количественного значения величины риска, то для построения диаграммы необходимо стремиться к объективной оценке величины причина – результат. Для этого необходимо, чтобы влияние негативных факторов было измеримым, то есть их можно было оценить. Если это невозможно сделать на основе статистических данных, то нужно попытаться сделать это на основе экспертной оценки [4,5], возможно и не полагаясь на собственное субъективное мнение, или попытаться найти факторы – заменители.

При комплексном анализе и численной оценке риска конвейерных линий важно установить все источники простоев системы, их соответствующее вероятностное влияние на работоспособность и выполнение плановых показателей по перемещению горной массы.

Построение диаграммы «причин и результатов» (рис. 1) позволяет выявить и систематизировать основные источники рисков в конвейерной линии карьера.

Изучение и обработка данных неисправностей при транспортировании горной массы конвейерными линиями Полтавского ГОКа позволила установить процентное отношение причин возникновения простоев (таблица).

*Численный анализ.* В классическом определении риск  $R$  понимается как скалярное произведение двух векторов: вектора величин стоимостных оценок потерь  $A_i, i=1,2,\dots,n$ , и вектора вероятностей их реализации  $p_i, i=1,2,\dots,n$  при реализации принятого решения

$$R = \sum_{i=1}^n A_i p_i = A_i p^i, \quad (1)$$

где  $A_i p^i$  - есть тензорная свертка [2,3].



Рис 1. Диаграмма «причин и результатов» для анализа и оценки рисков простоев конвейерной системы карьера.

Таблица

Причины и процентные показатели простоев ленточных конвейерных линий на предприятиях по добыче полезных ископаемых открытым способом

Причины простоев	%
общие простои конвейерных линий	100
неисправности механической части	9,15
ремонт ленты	8,02
устранение схода ленты	2,1
замена роликовых опор	1,38
ремонт привода	0,4
ремонт маслостанции	0,1
ремонт тормозов	0,6
ремонт натяжной станции	0,22
ремонт бортовых уплотнений и течек	0,02
неисправности разгрузочной тележки	0,01
неисправности электрической части	1,94
срабатывание токовой защиты	1,4
повреждение изоляции двигателя	0
отсутствие электроэнергии	0,17
срабатывание аппаратуры контроля	1,87
осмотр оборудования и текущий ремонт	9,22
забивка рудой течек	2,47
уборка россыпи горной массы	0,25
неисправности дробилки	10,43
плановые ремонты	35,32
простои из-за отсутствия руды	6,25
простои из-за обогатительной фабрики	8,68

Принимая стохастическую модель описания неопределенности, и учитывая многофакторность и взаимную независимость факторов диаграммы, исчислять риск  $R$  возможно построением штрафной функции в виде скалярного произведения двух векторов [2,3]: вектора величин стоимостных оценок факторов диаграммы  $A_i, i=1,2,\dots, n$ , и вектора вероятностей их реализации  $p_i(K_{ij}), i,j=1,2,\dots, n$

$$R = \sum_{i,j=1}^n A_i p_i(K_{ij}) = A_i p^i(K_{ij}), \quad (2)$$

где  $K_{ij}$  - сочетание множества неблагоприятных факторов диаграммы,

$A_i p^i(K_{ij})$  - тензорная свертка.

Применение процедур стохастического (GERT) моделирования [6]. Рассмотрим дугу стохастической сети с вероятностью реализации  $P$ , и параметром дуги  $A'$  (рис.2).



Рис.2 Дуга стохастической сети с вероятностью  $P$  и параметром  $A'$

Тогда данная ветвь эквивалентна двум стохастическим ветвям последовательного соединения рис.3.

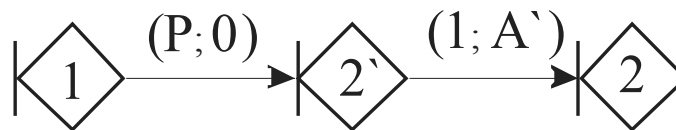


Рис.3 Сеть, эквивалентная дуге рис. 2

Вторую ветвь последовательного соединения (рис. 3) можно представить в виде множества параллельных ветвей с вероятностями  $D_k$  и соответствующими параметрами  $A_k$  (рис.4),

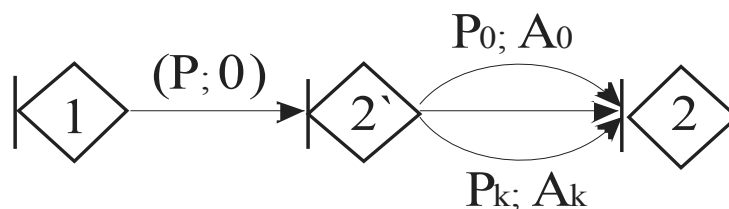


Рис.4 Последовательная сеть, эквивалентная сети на рис.3

где  $1 = P_0 + \dots + D_k$  и каждый из параметров  $A_k$  подчиняются некоторому вероятностному распределению. Для диаграммы «причин – результатов» и рис.4 легко усмотреть соответствующую аналогию. Вероятность  $D_k$  простоя системы по элементам диаграммы может быть вычислена, а величина потерь  $A_k$  – есть вероятностные потери (потери не только от простоя оборудования, но и затраты на устранение соответствующих неисправностей). Поэтому, каждому из главных факторов диаграммы «причин – результатов» рис.1 может быть

поставлена в соответствие  $W_i(S)$  - функция случайной величины (*сигнальную рисковую функцию*) с параметрами  $D_i, A_k(S)$ , определяется как

$$W_i = p_i \cdot \dot{A}_k(S) = p_i \cdot e^{SA_i(S)}, \quad (3)$$

где  $p_i$  - вероятность возникновения простоя конвейерной линии,

$\dot{A}_k(S) = e^{SA_i(S)}$  - производящая функция моментов вероятностных финансовых потерь.

Так как для реальных конвейерных линий факторы диаграммы подчинены различным видам распределений, то нахождение вида производящих функций моментов для  $e^{SA_i(S)}$  сигнальной рискованной функции (3) производится в соответствии с теорией GERT – моделирования [6].

Исходя из процедур стохастических сетей, получаем выражение для вычисления функции, эквивалентной по параметру для диаграммы с произвольным  $n$ -м количеством главных факторов

$$W_E = \frac{1}{P_0 + P_1 + \dots + P_n} \cdot [P_0 A_0(s) + P_1 \dot{A}_1(S) + \dots + P_n \dot{A}_n(S)] \quad (4)$$

Равенство (4) позволит оценить величину риска для диаграммы «причин – результатов» как по отдельным группам неблагоприятных факторов, так в целом по всей диаграмме.

**Выводы.** Задача выявления и количественной оценки рисков конвейерных линий на карьерах является важнейшим условием обеспечения эффективности функционирования горно-транспортной системы как единого целого. Таким образом, предложенная методика анализа и численной оценки рисков простоев конвейерного транспорта позволит достаточно точно численно определить причины, вероятные потери на данном этапе функционирования конвейерных линий. Учет рискованного фактора при эксплуатации и оперативном управлении позволит реализовать преимущества конвейерного транспорта наиболее полно. Предложенный подход является универсальным и может быть применен для анализа схем различной компоновки конвейерных линий.

#### Список литературы

1. Костерев, В.В. Надежность технических систем и управление риском [Текст] учеб. пособие / В.В. Костерев. – М.: МИФИ, 2008. – 280 с.
2. Мушик, Э., Мюллер, П. Методы принятия технических решений [Текст]: пер. с нем.- М.: Мир, 1987. – 198с.
3. Рогальский, Ф.Б. Математические методы анализа экономических систем [Текст]. Книга 1. Теоретические основы. / Ф.Б. Рогальский, Я.Е. Курилович, А.А. Цокурченко.- К.: Наук. думка, 2001.- 435 с.
4. Бешелев, С.Д. Экспертные оценки [Текст] / С.Д. Бешелев., Ф.Г. Гурвич – М.: Наука, 1973. – 161с.
5. Литвак, Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа [Текст] / Б.Г. Литвак. – М.: Радио и связь, 1982. - 184с.
6. Филипс, Д., Гарсия-Диас А. Методы анализа сетей [Текст]: пер. с англ.- М.: Мир, 1984. – 496с.