

УДК 519.8:622.271

© К.В. Литвиненко

## ГЕРТ - МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ ПРОСТОЕВ НА ТРАНСПОРТНОМ ЦИКЛЕ АВТОСАМОСВАЛА

Предложен сетевой подход к определению количественной характеристики рисков на транспортном цикле автосамосвала, как локального критерия прогнозируемой величины простоев и убытков. Построенная стохастическая сетевая модель технологического процесса транспортирования горной массы позволяет применить формальные методы ГЕРТ – моделирования для выполнения численных расчетов.

Запропоновано мережний підхід до визначення кількісної характеристики ризиків на транспортному циклі автосамоскиду, як локального критерію прогнозованої величини простоїв і збитків. Побудована стохастична мережна модель технологічного процесу транспортування гірської маси дозволяє застосувати формальні методи ГЕРТ - моделювання для виконання чисельних розрахунків.

We propose a network-based approach to determining the risk profile in the transport cycle of the dump, as the local criterion predicted magnitude of the stiles and losses. Constructing a stochastic network model of the process of transportation of rock allows to apply formal methods GERT - modeling for numerical calculations.

**Вступление.** Эффективность управления горнотранспортными работами в значительной степени зависит от меры полноты анализа производственных ситуаций в карьере. Вследствие вероятностного характера большинства параметров транспортного процесса в карьере, качественная и количественная оценка эффективности функционирования данной подсистемы без привлечения формальных методов затруднена.

В идеальном случае каждая транспортная единица при выполнении всех рейсов не должна простаивать. Однако при невозможности предусмотреть регламент всех работ, возможные поломки и влияние человеческого фактора, имеет место стохастичность процессов погрузки – разгрузки и движения транспортных средств. В работах [1,2] предложены формальные методы анализа для оптимизации функционирования транспорта в глубоких карьерах. Однако практическая необходимость качественного улучшения функционирования транспортной подсистемы на глубоких и сверхглубоких карьерах требует разработки новых эффективных математических методов для выполнения ситуационного анализа.

Рисковый анализ является одним из методов нахождения «узких» мест в цепи «забой – ДОФ», внутри которых следует искать оптимальный вариант управляющих воздействий.

**Постановка задачи.** Под риском в литературе понимается угроза частичной или полной потери эффективности производственной деятельности в результате действия некоторых неблагоприятных факторов [3,4,5]. 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 определения количественной характеристики рисков транспортных единиц, как локального критерия прогнозируемой величины простоев и убытков.

**Цель работы.** В работе предложена методика расчета количественных значений риска простоев автомобильного звена в одном транспортном цикле на основе процедур стохастических графов.

**Основной материал и результаты.** 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 [3].

Для рискового анализа производственных систем и комплексов, представленных сетевыми структурами, подход (1) не применим. Адекватной альтернативой, по нашему мнению, является трактовка риска как произведения математического ожидания случайной величины неблагоприятного события на величину стоимостной оценки события

$$R = A_i E[x_i], \quad (2)$$

где  $E[x_i]$  - математическое ожидание величины  $x_i$ .

Такое определение риска подходит для применения в сетевых математических моделях со стохастической структурой и позволит оценивать численно величину риска.

*Анализ технологического процесса.* Элементом горнотранспортной системы глубоких карьеров являются автомобильные звенья, транспортирующие горную массу от забойных экскаваторов до перегрузочных пунктов (перегрузочных эстакад, приемных устройств дробилок, бункерных устройств). В направлении забоя автотранспорт движется порожняком, а в направлении разгрузочного пункта – загруженным. Выбор места загрузки в забое определяется диспетчерской службой или жестким закреплением автосамосвала за экскаватором.

Время продолжительности единичного транспортного цикла автосамосвала  $T$  представляет собой сумму

$$T = t_{\text{погр}} + t_{\text{движ}} + t_{\text{разгр}} \quad (3)$$

где  $t_{\text{погр}}$  - время погрузки автосамосвала;  $t_{\text{движ}}$  - время движения автосамосвала из забоя к разгрузочному пункту;  $t_{\text{разгр}}$  - время погрузки автосамосвала на разгрузочном пункте.

Известно, что слагаемые равенства (3) определяются аналитическими выражениями

$$t_{\text{погр}} = \frac{V_{\text{сам}}}{n_{\text{э}} \cdot V_{\text{к.э}}}$$

где  $V_{\text{сам}}$  - объем кузова автосамосвала,  $V_{\text{к.э}}$  - объем ковша экскаватора,  $n_{\text{э}}$  - количество ковшей экскаватора для загрузки автосамосвала;

$$t_{\text{движ}} = \frac{L_{\text{тр}}}{V_{\text{авт}}}$$

где  $L_{\text{тр}}$  - расстояние транспортирования автосамосвалами,  $V_{\text{авт}}$  - скорость автосамосвала;

$$t_{\text{разгр}} = t_{\text{ман}} + t_{\text{отвала}}$$

где  $t_{\text{ман}}$  - время маневра автосамосвала,  $t_{\text{отвала}}$  - время разгрузки горной массы из кузова автосамосвала.

Таким образом, аналитическое выражение времени продолжительности единичного транспортного цикла автосамосвала имеет вид

$$T = \frac{V_{\text{сам}}}{n_{\text{э}} \cdot V_{\text{к.э}}} + \frac{L_{\text{тр}}}{V_{\text{авт}}} + t_{\text{ман}} + t_{\text{отвала}} \quad (4)$$

Однако равенство (4), являясь детерминированным выражением, не учитывает непроизводительных простоев автосамосвалов при технологических процессах. Простои автотранспорта возникают в местах погрузки, разгрузки и по ходу движения (в случае слияния дорог, поломок и пр.). Таким образом в выражение (4), вместо введения некоторых коэффициентов неравномерности, можно добавить слагаемое  $t_{\text{простоев}}$ , значение которого для каждого этапа разработки карьера может быть вычислено достаточно точно.

Технологическая операция перемещения горной массы автосамосвалом от погрузочного оборудования в забое до перегрузочного пункта может быть представлена графически в виде направленного графа. При этом множество дуг графа представляют собой процессы, а множество узлов – состояния элемента. Исходя из того, что технологический процесс имеет четкую последовательность операций, то и последовательность простоев в цикле транспортирования следует в соответствии логикой процесса. Так как риск по дугам графа обладает свойством аддитивности, следовательно, к построенному графу можно применить процедуры ГЕРТ – моделирования для выявления рисков, связанных с выполнением всей сети.

*Формализация сети.* Определим существующие процессы и операции транспортировки горной массы отдельным автосамосвалом. Обозначим  $S_i$ ;  $i \in N$  - состояния автосамосвала, а через функцию  $W_{ij}$ ;  $i, j \in N$  - процессы простоя автомобиля на этапах транспортирования. При этом,  $S_i$  - будут соответствовать узлам сетевой модели и не иметь временной протяженности,  $W_{ij}$  - соответствуют дугам сетевой модели и иметь временную протяженность.

$W$ - функция случайной величины определяется как [6]

$$W_{ij} = p_{ij} \cdot M_{ij}, \quad (5)$$

где  $p_{ij}$  - вероятность возникновения операции простоя автосамосвала,  $M_{ij}$  - производящая функция моментов длительности операции простоя автосамосвала.

Декартовое произведение элементов состояний представляет собой множество пар, мощностью 4 (табл. 1).

Таблица 1

Описание обозначений состояний (узлов) сетевой модели

Состояние	Загрузка автосамосвала	Положение автомобиля
$S_1$	Нет	Около погрузочного устройства
$S_2$	Да	Около погрузочного устройства
$S_3$	Да	Около разгрузочного пункта
$S_4$	Нет	Около разгрузочного пункта

*Топология сети.* Логический анализ технологического процесса перемещения горной массы с помощью автотранспорта позволяет определить возможные простои транспортной единицы в процессе функционирования. Сетевая стохастическая модель единичного транспортного цикла при любом способе закрепления автосамосвала за погрузочным устройством представлена на рис. 1.

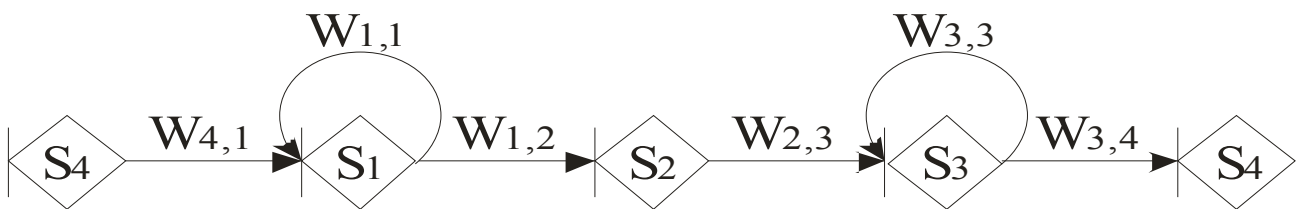


Рис. 1. Сетевая стохастическая модель единичного транспортного цикла автосамосвала

*Вероятностное описание простоев на одном цикле.* Простои автосамосвала по элементам единичного транспортного цикла, как случайные величины, подчинены определенному закону распределения. Хронометрический анализ простоев на цикле транспортирования автосамосвала БелАЗ-75121 за смену на карьере Полтавского ГОКа позволил установить следующие распределения простоев и вероятности  $p_i$  их возникновения на основе критерия согласия Колмогорова (табл. 2).

Описание обозначений дуг (операции простоя) сетевой стохастической модели

Обозначение операции простоя	Описание операции простоя	Вероятность возникновения операции простоя, $p_{ij}$	Параметры распределения операции	Вид распределения операции простоя
$W_{1,1}$	Ожидание погрузки у погрузчика	0,35	$\sigma_{1,1} = 1,5$ $\mu_{1,1} = 7$	Нормальный $p_{1,1} \exp\left(s\sigma_{1,1} - \frac{1}{2}s^2\mu_{1,1}^2\right)$
$W_{1,2}$	Простои в процессе загрузки автомобиля	0,1	$a_{1,2} = 2$	Экспоненциальный $p_{1,2} a_{1,2} (a_{1,2} - s)^{-1}$
$W_{2,3}$	Простои при движении с грузом от погрузчика к разгрузочному пункту	0,1	$a_{2,3} = 2,75$ $b_{2,3} = 0,06$	Гамма $p_{2,3} \left(1 - \frac{s}{a_{2,3}}\right)^{-b_{2,3}}$
$W_{3,3}$	Ожидание начала процесса разгрузки на разгрузочном пункте	0,45	$\sigma_{3,3} = 3$ $\mu_{3,3} = 6$	Нормальный $p_{3,3} \exp\left(s\sigma_{3,3} - \frac{1}{2}s^2\mu_{3,3}^2\right)$
$W_{3,4}$	Простои в процессе разгрузки на разгрузочном пункте	0,03	$a_{3,4} = 1,5$	Экспоненциальный $p_{3,4} a_{3,4} (a_{3,4} - s)^{-1}$
$W_{4,1}$	Движение от разгрузочного пункта в забой к погрузчику	0,09	$a_{4,1} = 2,75$ $b_{4,1} = 0,06$	Гамма $p_{4,1} \left(1 - \frac{s}{a_{4,1}}\right)^{-b_{4,1}}$

*Топологическое уравнение Мейсона для сети.* Для определения численного значения рисков на транспортном цикле (2) необходимо вычисление математического ожидания времени простоя. Для определения  $W_E$  – функции, эквивалентной стохастической сети (рис.1), введем дополнительную дугу  $W_A$ , соединяющую начальный и конечный узел сети (рис. 2) для получения замкнутого графа.

Под петлей понимают связанную последовательность ориентированных ветвей, каждый узел которых является общим ровно для двух ветвей. Порядок петли  $L_m$  определяется как множество  $m$  не связанных между собой петель первого порядка. Определим множества петель для стохастической сетевой модели.

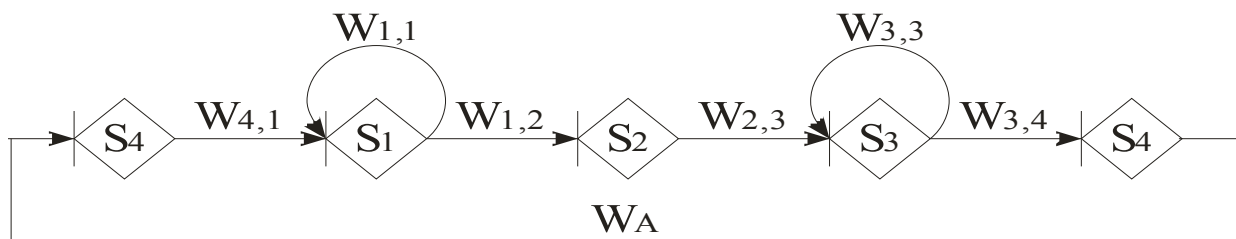


Рис. 2. Сетевая модель единичного транспортного цикла автосамосвала

Множество петель первого порядка есть трехэлементное множество  $L_1 = \{W_{1,1}; W_{3,3}; W_{1,2} W_{2,3} W_{3,4} W_A W_{4,1}\}$ .

Множество петель второго порядка есть одноэлементное множество  $L_2 = \{W_{1,1} W_{3,3}\}$ .

Топологическое уравнение Мейсона для замкнутых графов имеет вид [6]

$$H = 1 - \sum T(L_1) + \sum T(L_2) + \dots + (-1)^m \sum T(L_m) + \dots = 0. \quad (6)$$

Подставляя в уравнение (6) множества элементов  $L_m$ , получаем выражение

$$H = 1 - W_{1,1} - W_{3,3} - W_{4,1} \cdot W_{1,2} \cdot W_{2,3} \cdot W_{3,4} W_A + W_{1,1} \cdot W_{3,3} = 0 \quad (7)$$

Из равенства (7) после преобразований получаем равенство для функции вспомогательной дуги  $W_A$

$$W_A = \frac{1 - W_{1,1} - W_{3,3} + W_{1,1} \cdot W_{3,3}}{W_{4,1} \cdot W_{1,2} \cdot W_{2,3} \cdot W_{3,4}}. \quad (8)$$

Учитывая, что  $1 - W_A \cdot W_E = 0$ , получаем функцию  $W_E = \frac{1}{W_A}$ , эквивалентную сети на рис. 2

$$W_E = \frac{W_{4,1} \cdot W_{1,2} \cdot W_{2,3} \cdot W_{3,4}}{1 - W_{1,1} - W_{3,3} + W_{1,1} \cdot W_{3,3}}. \quad (9)$$

Подстановка в равенство (8) соответствующих выражений из табл. 2 дает аналитическое выражение для нахождения функции, эквивалентной по параметру всей стохастической сетевой модели.

*Численное определение математического ожидания.* Для нахождения численного значения математического ожидания простоев на одном транспортном цикле автосамосвала учтем, что

$$W_E(S) = p_E \cdot M_E(S). \quad (10)$$

Так как  $p_E = W_E(0)$ , то производящая функция моментов  $M_E(S)$  может быть найдена как отношение

$$M_E(S) = \frac{W_E(S)}{W_E(0)}. \quad (11)$$

Математическое ожидание может быть вычислено как 1-я частная производная по  $s$  функции  $M_E$

$$E[t] = \mu_{1E} = \left. \frac{\partial M_E(s)}{\partial s} \right|_{s=0}. \quad (12)$$

Вычисление значения математического ожидания (12) времени простоя автосамосвала на одном транспортном цикле для функции (9) дает

$$E[t] = 4,47(\text{мин}).$$

Так как количество рейсов автосамосвала БелАЗ-75121 за смену на карьере Полтавского ГОКа равно 19, то ожидание времени простоев для одной машиносмены составляет

$$t_{\text{простоев}} = 19 \cdot E[t] = 84,93(\text{мин}).$$

Если величина убытка простоя транспортной единицы за минуту рабочей смены равна

$$A = \frac{C}{480},$$

где  $C$  – стоимостная величина машиносмены.

Ожидаемый риск машиносмены в соответствии с (2) будет равен

$$R = \frac{C \cdot 84,93}{480}.$$

**Выводы.** Представлен новый подход к определению риска, позволяющий применить методы стохастического сетевого моделирования к анализу производственной системы. В рамках ГЕРТ – модели построена универсальная рискованная сетевая структура по параметру простоя единичного транспортного цикла автосамосвала, позволяющая достаточно точно определить численные характеристик величин простоев и убытков.

Полученные данные могут быть использованы при планировании сменного состава автосамосвалов, работающих на одном уступе, а также с целью оптимизации использования оборудования и снижения стоимости транспортировки горной массы в карьерах.

Предложенный подход обладает универсальностью и подходит для карьеров любых видов и любого списочного состава автопарка предприятия.

Все численные расчеты в работе выполнены с использованием пакета программ для математических расчетов Mathcad.

#### Список литературы

1. Дриженко, А.Ю. Открытая разработка железных руд Украины [Текст]/А.Ю. Дриженко, Г.В. Козенко, А.А. Рыкус.- Полтава: Полтавський літератор, 2009.- 452 с.
2. Литвиненко, К.В. Оптимизация взаимодействия звеньев комбинированного транспорта при открытой разработке полезных ископаемых/ Литвиненко К.В. // Науковий вісник На-

ціонального гірничого університету. Науково-технічний журнал / Національний гірничий університет – Вип.3. – Дніпропетровськ: ДВНЗ НГУ. - 2012. – С.41- 44.

3.Рогальский, Ф.Б. Математические методы анализа экономических систем [Текст]. Книга 1. Теоретические основы. / Ф.Б. Рогальский, Я.Е. Курилович, А.А. Цокуренок.- К.: Наук. думка, 2001.- 435 с.

4.Костерев, В.В. Надежность технических систем и управление риском [Текст] учеб. пособие / В.В. Костерев. – М.: МИФИ, 2008. – 280 с.

5.Мушик, Э., Мюллер, П. Методы принятия технических решений [Текст]: пер. с нем.- М.: Мир, 1987. – 198 с.

6. Филипс, Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей [Текст]: пер. с англ.- М.: Мир, 1984. – 496 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженком А.Ю.  
Надійшла до редакції 27.11.2012*

УДК 624.131.23

© Н.В. Зуєвська

## **ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ІНТЕНСИФІКАЦІЮ ПРОСІДАННЯ ЛЕСОВИХ ҐРУНТІВ**

Розглядаються причини інтенсифікації процесів просідання в лесових ґрунтах при замочуванні їх водою з підвищеною температурою.

Рассматриваются причины интенсификации просадочных процессов в лесовых ґрунтах при замачивании их водой повышенной температуры.

In the article reasons are examined intensification of settling processes in loessial soils at a soakage by their water of enhanceable temperature.

**Вступ.** Значна територія України складається з лесових ґрунтів різного ступеня просадності. Практика міського будівництва та експлуатації підземних мереж в умовах інтенсифікації забудов міст та одночасного старіння підземних комунікацій в останні роки внесла суттєві корективи у вибір системи протипросадних заходів в зв'язку з проявом нового - гідротермального фактора впливу, який навіть в умовно непросадних лесових масивах провокує небезпечні деформаційні процеси.

В зв'язку з цим розвиток наукових основ деформування просадних лесових масивів під дією температурного фактора є актуальною науково-технічною проблемою.

**Сучасний стан питання.** До недавнього часу в будівництві процес замочування лесових ґрунтів розглядався без урахування температури води.

За останнє десятиріччя в літературі почали відмічатися випадки підвищення очікуваних просідань внаслідок впливу температурного чинника. Так, науковці з Алтайського державного технічного університету [ 1 ] в своїх роботах відмічають збільшення в м.Барнаулі випадків деформацій основ будинків 20-30-річного віку, які, як раніше вважалось, за довгі роки експлуатації стоять