

## ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ РИСКА ТРАВМАТИЗМА ШАХТЕРОВ ПРИ ОГРАНИЧЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

*Выполнен обзор методов оценки риска в различных отраслях промышленности. Установлена возможность использования метода «дерева событий» и «таблиц истинности» для анализа и вероятностного расчёта риска травматизма подземных рабочих угольных шахт при ограниченности исходных данных. Предложена вероятностная модель «дерева событий», предусматривающая оценку риска для дискретных событий. Произведено обобщение риска для получения общей оценки.*

**Ключевые слова:** травматизм, риск, дерево событий, таблица истинности.

Среди ведущих угледобывающих стран мира Украина занимает одно из первых мест по количеству травмированных и погибших в шахте работников. На состояние уровня безопасности труда на шахтах Украины, а особенно в Донбассе, сказывается как сложные горно-геологические условия (85 % шахт – опасные по газу, 60 % – по взрывчатости угольной пыли, 45 % – по газодинамическим явлениям, 22 % – по самовозгоранию угля), так и неудовлетворительное состояние шахтного фонда, недостаточный уровень механизации тяжелого и опасного труда шахтеров, неудовлетворительный уровень организации работ и дисциплины труда.

По данным МакНИИ за период с 2001 г. по 2013 г. в на угольных шахтах Украины произошло 2409 несчастных случаев со смертельным исходом. На шахтном транспорте и подъеме погибло 455 человек (18,89% от общего количества). Основные причины травматизма являются:

- эксплуатация физически и морально изношенного транспортного и подъемного оборудования;
- отсутствие модернизации предприятий в связи с отсутствием финансовых средств;
- нарушение безопасной технологии работ;
- езда работниками шахт для передвижения по горным выработкам грузовых транспортных средств;
- нарушение трудовой и производственной дисциплины и т. д.

Статистическая динамика уровня профессионального риска горнорабочих угольной промышленности Украины за период с 1958 по 2010 г.г. приведена в табл. 1 [1].

Таблица 1 – Динамика уровня профессионального риска горнорабочих угольных шахт Украины

Период	Временной интервал, годы	Вариации показателей		
		Профессиональный риск, $\times 10^{-3}$	Годовой объём добычи угля, млн. тонн	Коэффициенты «0» травматизма на 1млн т.

				угля
1	1958 – 1957	1,41 – 0,69	164,2 – 199,0	6,74 – 2,49
2	1968 - 1976	0,69 – 0,56	199,0 – 217,1	2,49 – 1,72
3	1977 - 1980	0,56 – 0,64	217,1 – 197,9	1,72 – 2,29
4	1981 - 1988	0,64 – 0,40	197,1 – 191,9	2,29 – 1,59
5	1989 - 1991	0,40 – 0,42	191,9 – 135,1	1,59 – 2,23
6	1998	0,56	71,0	4,72
7	2000	0,50	72,0	3,81
8	2006	0,46	82,2	2,14
9	2008	0,42	77,7	1,96
10	2010	0,4	80,8	2,01

Методы оценки риска развивались от наиболее простого – статистического, применяемого при наличии достаточной статистической информации, к более сложным теоретико-вероятностным и аналитическим методам. Необходимость в них возникла тогда, когда приобрели актуальность вопросы оценки рисков редких аварий с тяжелыми последствиями на потенциально опасных объектах техносферы [2, 3].

Основные методы оценки рисков и область их применения в зависимости от наличия статистической информации и математических моделей приведены на (рис. 1). Когда поставлена конкретная задача расчета риска, то наиболее предпочтительным при наличии достаточной статистики является, конечно же, статистический метод, так как практика – критерий истины. Данная схема была предложена Я.Д. Вишняковым и Н.Н Радавым [2].

Статистический метод применяют при минимальном числе допущений, но при этом необходим большой объем статистической информации. Объем наблюдений должен превышать некоторую величину  $N$  зависящую от оцениваемой вероятности, при этом число реализовавшихся негативных событий за один год должно быть больше 100. Большинство методов оценки рисков, основанных на конкретных статистических данных основаны на законах теории вероятностей [3].



Рис. 1 – Области применения основных методов оценки показателя риска типа вероятности в зависимости от наличия статистической информации и математических моделей

Для оценки и анализа риска на опасных производственных объектах и угольных шахтах в частности, существует несколько методов, которые рассмотрены ниже.

*Методы проверочного листа и "Что будет, если...?"* или их комбинация относятся к группе методов качественных оценок опасности, основанных на изучении соответствия условий эксплуатации объекта или проекта требованиям промышленной безопасности. Результатом реализации метода проверочного листа является перечень вопросов и ответов о соответствии опасного производственного объекта требованиям промышленной безопасности и указания по их обеспечению.

Метод проверочного листа отличается от "Что будет, если...?" более обширным представлением исходной информации и результатов о последствиях нарушений безопасности.

Эти методы наиболее просты (особенно при обеспечении их вспомогательными формами, унифицированными бланками, облегчающими на практике проведение анализа и представление результатов).

Метод анализа видов и последствий отказов (АВПО) применяется для качественного анализа опасности рассматриваемой технической системы. Существенной чертой этого метода является рассмотрение каждого элемента составной части системы (технологической схемы шахты) на предмет того, как он стал, или мог бы стать, неисправным (вид и причина отказа) и какое было бы воздействие отказа на техническую систему.

Анализ видов и последствий отказа можно расширить до количественного анализа: анализ видов, последствий и критичности отказов (АВПКО). В этом случае каждый вид отказа ранжируется с учетом двух составляющих критичности - вероятности (или частоты) и тяжести последствий отказа. Определение параметров критичности необходимо для выработки рекомендаций и приоритетности мер безопасности.

Результаты анализа представляются в виде таблиц с перечнем оборудования, видов и причин возможных отказов, с частотой, последствиями, критичностью, средствами обнаружения неисправности (сигнализаторы, приборы контроля и т. п.) и рекомендациями по уменьшению опасности.

Систему классификации отказов по критериям вероятности тяжести последствий следует конкретизировать для каждого объекта или технического устройства с учетом его специфики, определяя категории критичности.

Дж. Хенли [3] рекомендует использовать следующие категории критичности.

Категория 1: Отказ, потенциально приводящий к жертвам.

Категория 2: Отказ, потенциально приводящий к невыполнению основной задачи.

Категория 3: Отказ, приводящий к задержкам или потере работоспособности.

Категория 4: Отказ, приводящий к дополнительному, незапланированному обслуживанию.

Методом анализа опасности и работоспособности (АОР) исследуются опасности отклонений технологических параметров (температуры, давления и

пр.) от регламентных режимов. АОР по сложности и качеству результатов соответствует уровню АВПО, АВПКО.

Результаты анализа представляются на специальных технологических листах (таблицах). Степень опасности отклонений может быть определена количественно путем оценки вероятности и тяжести последствий рассматриваемой ситуации по критериям критичности аналогично методу АВПКО.

Практика показывает, что крупные аварии, как правило, характеризуются комбинацией случайных событий, возникающих с различной частотой на разных стадиях возникновения и развития аварии (отказы оборудования, ошибки человека, нерасчетные внешние воздействия, разрушение, внезапный выброс метана на шахте, воспламенение, взрыв и т.д.). Для выявления причинно-следственных связей между этими событиями используют логико-графические методы анализа с помощью “деревьев событий” [3].

При анализе “деревьев отказов” (АНО) [2, 3] выявляются комбинации отказов (неполадок) оборудования, инцидентов, ошибок персонала и нерасчетных внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящие к головному событию (аварийной ситуации). Метод используется для анализа возможных причин возникновения аварийных ситуаций и расчета их частот (на основе известных частот исходных событий) при наличии ограниченных данных. Для этого достаточно установить (определить) риск по интегральному показателю (например: по показателям травматизма с летальным исходом). Интегральный показатель учитывает влияние всего множества факторов как технологических так и психологических без их конкретизации.

Анализ “дерева событий” (АДС) – алгоритм построения последовательности событий используется также для анализа развития аварийной ситуации. Частота развития аварийной ситуации является результатом умножения частоты основного события на условную вероятность конечного. Методы количественного анализа риска, как правило, характеризуются результатами расчетов нескольких показателей риска, и могут включать один или несколько вышеупомянутых методов (или использовать их результаты).

Построение дерева событий требует последовательного решения поставленных задач, высокой квалификации исполнителей, большого объема информации по аварийности, надежности оборудования, выполнения экспертных работ, учета особенностей окружающей местности, метеоусловий, времени пребывания людей в опасных зонах и других факторов.

В связи с этим, особую актуальность обретают вопросы оценки риска травматизма шахтёров вероятностным методом при ограниченном объеме исходных данных [2, 5, 6].

Пример дерева событий для исследования травматизма работников угольных шахт приведен на рис. 2.

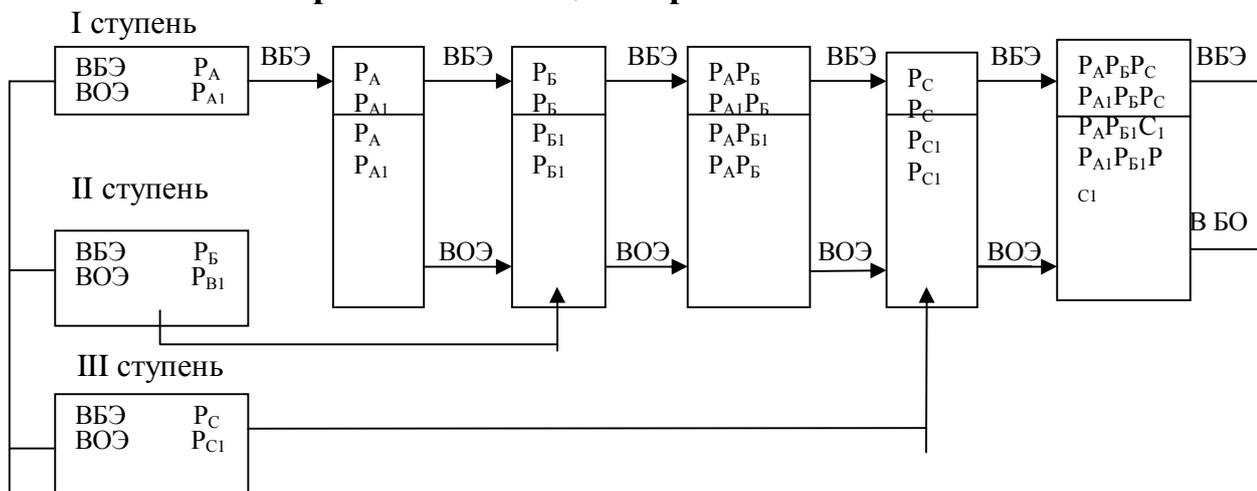
Последовательность проведения оценки предусматривает проведения ряда операций [2, 3]:

- построения блок-схемы вероятностной оценки риска;
- построения дерева событий;
- расчёта таблицы истинности.



Рис. 2 – Основное дерево событий

### Блок-схема вероятностной оценки риска



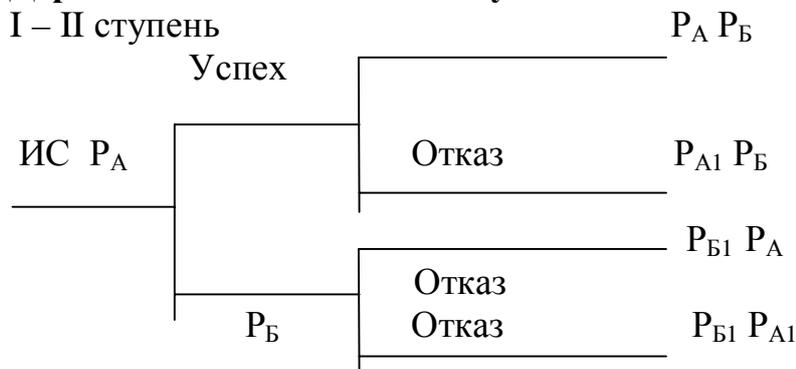
где ВБЭ – вероятность безопасной эксплуатации;

ВОЭ – вероятность опасной эксплуатации (отказ);

$P_A, P_B, P_C$  – ВБЭ;  $P_{A1}, P_{B1}, \dots$  – ВОЭ.

В соответствии с блок-схемой строится дерево событий с учётом дискретности оценок: спуск (подъём) в шахту (из шахты) + передвижение к месту работы и обратно (I и II ступеней и III ступени).

### Дерево событий для I и II ступеней

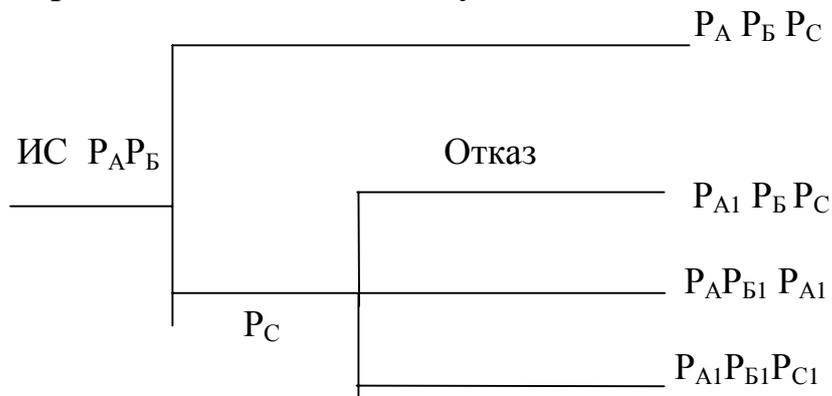


ИС – инициирующее событие.

### Расчёт таблицы истинности для I и II ступеней

Состояние безопасности I ступени	Состояние безопасности II ступени	Вероятность работоспособного состоян. системы	Вероятность отказа системы
Безопасно $P_A$	Безопасно $P_B$	$P_A P_B$	$P_{A1} P_B$ $P_A P_{B1}$ $P_{A1} P_{B1}$
Не безопасно $P_{A1}$	Безопасно $P_B$		
Безопасно $P_A$	Не безопасно $P_{B1}$		
Не безопасно $P_{A1}$	Не безопасно $P_{B1}$		
Суммарная величина		$P_A P_B$	$\sum_{i=1}^n P_{Ai} P_{Bi}$

### Дерево событий для III ступени



### Расчёт таблицы истинности для I и II ступеней

Состояние безопасности I ступени	Состояние безопасности II ступени	Вероятность работоспособного состоян. системы	Вероятность отказа системы
Безопасно $P_A P_B$	Безопасно $P_C$	$P_A P_B P_C$	$P_{A1} P_B P_C$ $P_A P_{B1} P_{C1}$ $P_{A1} P_{B1} P_{C1}$
Небезопасно $P_{A1} P_B$	Безопасно $P_C$		
Безопасно $P_A P_{B1}$	Небезопасно $P_{C1}$		
Небезопасно $P_{A1} P_{B1}$	Небезопасно $P_{C1}$		
Суммарная величина		$\prod_{i=1}^n P_{Ai} P_{Bi} P_{Ci}$	$\sum_{i=1}^n P_{Ai} P_{Bi} P_{Ci}$

Вероятностный анализ риска позволяет оценивать и сравнивать различные опасности по единым показателям, что делает его наиболее эффективным:

- на стадии проектирования и строительства шахты;
- при обосновании и оптимизации мер безопасности;
- при оценке опасности крупных аварий на опасных производственных объектах, имеющих однотипные технические устройства (например, магистральные трубопроводы);
- при комплексной оценке опасностей аварий для людей, имущества и окружающей природной среды.

## **Выводы.**

1. Уровень производственного травматизма и аварийности на шахтах Украины один из самых высоких в мире. Это предопределяет необходимость дальнейшего совершенствования методов анализа и оценки травматизма. Правильный выбор метода оценки риска и использование его на практике позволит снизить уровень производственно-обусловленного травматизма на шахтах Украины до уровня передовых угледобывающих стран мира.

2. Выполнен обзор методов оценки риска в различных отраслях промышленности. Установлена возможность использования метода «дерева событий» и «таблиц истинности» для анализа и вероятностного расчёта риска при ограниченности исходных данных.

3. Предложена вероятностная дискретная модель «дерева событий», предусматривающая оценку риска травматизма на этапе трёх ступеней дискретных событий: I ступень – спуск (подъём) по стволу; II ступень – передвижение к месту работы; III ступень – место работы. Произведено обобщение риска на всех трёх ступенях для получения общей оценки.

## **Список литературы:**

1. Александров С.Н., Булгаков Ю.Ф., Яйло В.В. Охрана труда в угольной промышленности: Учебное пособие для студентов горных специальностей высших учебных заведений/ Под общей ред. Ю.Ф. Булгакова.- Донецк: РИА ДонНИИ, 2012.- 480 с.

2. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков. Учеб. пособие для студентов. – 2-е изд. испр., - М.: Изд. центр «Академия», 2008. – 368 с.

3. Хенли Э., Дж., Кумамото Х. Надёжность технологических систем и оценка риска. Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1984. – 528с., ил.

4. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов РД 03-418-01 (утв. Постановлением Госгортехнадзора РФ от 10.07.2001г. № 30). – 25с.

5. Овчаренко В.Л., Николюк А.Д. О критерии оценки опасности труда основных профессий рабочих угольных шахт. Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: Сб. науч. тр./МакНИИ. Макеевка-Донбасс. 2005.

6. Комплексная оценка риска забойщиков на крутых пластах. Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: Сб. науч. тр. Вып. 18/МакНИИ. Макеевка-Донбасс. 2006.