

УДК 658.8:622.8:621.31

В порядке обсуждения

**А. В. Ляхомский, О. Н. Синчук**, доктора техн. наук,  
**А. А. Харитонов,**  
**О. Е. Мельник**, канд. техн. наук

### ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРИЧИННО–СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ И ТРАВМ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

***Аннотация.** Изложены результаты исследований по решению задачи идентификации и классификации основных причин травматизма от электрического тока в горнорудных производствах. Приведены логические модели возникновения травмоопасных ситуаций в процессах функционирования системы «человек - железорудное производство - электротехнические комплексы» и возможные опасности поражения электрическим током в этой системе, а также графические изображения опасных состояний на отрезке времени и вероятностная модель реализации поражения электрическим током, которая получена из логической модели. Найдены идентифицированные и ранжированные по значимости причины травм от электрического тока в системе «человек - железорудное производство - электротехнические комплексы».*

***Ключевые слова:** идентификация, причинно-следственная связь, травматизм, логическая модель, вероятностная модель, человеческий фактор*

**A. V. Lyakhomsky, ScD., O. N. Sinchuk, ScD.,**  
**A. A. Kharitonov,**  
**O. E. Melnyk, PhD.**

### IDENTIFICATION OF CAUSE–EFFECT RELATIONSHIPS AND ELECTRICAL ACCIDENTS FACTORS AT IRON-ORE MINES COMPLEXES

***Abstract.** The article represents the results of investigation on identifying and classifying the main reasons of electrical accidents at iron-ore mines complexes. Logical models of appearing hazardous failures in the functioning system "man - mining industry - electrical complexes" and hazard actualization of electric injure in the system, as well as graphic images of hazardous states at time interval and the probabilistic model of hazard actualization of electric injure, which is derived from the logical model are given. Tabulated data on the probabilities of hazardous states and events forming an electric injure received from the data observational at mines "Krivorozhzhelozorudprom" and matrix resulting data of rank about electrical accidents reasons investigation at iron ore mines and pits, hypothesis testing results about statistically significant difference of causes electrical accidents reasons and consistency of experts' judgments.*

***Keywords:** identification, cause - effect relationship, electrical accidents, logical model, probabilistic model, human factor*

**О. В. Ляхомський, О. М. Сінчук**, доктори техн. наук,  
**О. О. Харитонов,**  
**О.Є. Мельник**, канд. техн. наук

### ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРИЧИННО–НАСЛІДКОВИХ ЗВ'ЯЗКІВ ТА ТРАВМ ВІД ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ НА ЗАЛІЗОРУДНИХ ВИРОБНИЦТВАХ

***Анотація.** Викладені результати досліджень щодо вирішення задачі ідентифікації й класифікації основних причин травматизму від електричного струму в гірничорудних виробництвах. Наведені логічні моделі виникнення травмонезбезпечних ситуацій у процесах функціонування системи «людина - гірничорудне виробництво - електротехнічні комплекси» і можливі небезпеки враження електричним струмом у цій системі, а також графічні зображення небезпечних станів на відріжку часу й імовірнісна модель реалізації поразки електричним струмом, яка отримана з логічної моделі. Наведені причини травматизму від електричного струму в системі «людина - залізорудне виробництво - електротехнічні комплекси», які ідентифіковані і проранжировані за важливістю.*

***Ключові слова:** ідентифікація, причинно-наслідковий зв'язок, травматизм, логічна модель, імовірнісна модель, людський фактор*

**Введение.** Вопросы совершенствования системы построения организации безопасных условий труда вообще и в горно-металлургической отрасли в частности в ны-

нешних условиях весьма актуальны и требуют постоянного внимания к себе, в том числе и в направлении мониторинга ситуаций и контроля действенности функционирования системы анализа произошедших несчастных случаев.

© Ляхомский А.В., Синчук О.Н.,  
Харитонов А.А., Мельник О. Е., 2013

**Актуальность.** Использование вероятностно-статистических методов для анализа электротравматизма приводит к получению статистических оценок и законов распределения показателей, его характеризующих. В этой связи при исследовании требуется выполнить оценку статистики и описать законы распределения этих показателей.

Одним из вопросов методики исследования электротравматизма является вопрос об уровне достоверности полученных оценок. С учетом того, что несчастные случаи (НС) являются, с точки зрения сбора статистического материала, достаточно редкими событиями, то к исследованию целесообразно принимать полные выборки по железорудным шахтам.

Процесс возникновения электротравм (ЭТ) характеризуется многообразием явлений, находящихся между собой в причинно-следственных связях. Указанные явления происходят во времени и представляют собой цепь последовательно происходящих событий, в которых каждое из предыдущих событий обуславливает последующие. В этой связи целесообразно для анализа возникновения электротравм применить методологию причинного анализа. Допустимость такого подхода объясняется тем, что понятие причинности применяется в тех случаях, когда реализация одного события оказывается достаточным основанием для ожидания того, что осуществится другое.

Причинная обусловленность приводит к модели события, под которым понимается травмирование электрическим током. Изучение модели позволит понять причины, которые породили электротравму. Еще одним полезным свойством метода причинного анализа является определенная возможность абстрагироваться от физического содержания конкретных явлений, содержащихся в цепи последовательных событий при возникновении электротравмы. В дальнейшем будем учитывать, что при возникновении ЭТ имеют место технические, организационные, социальные, психологические и другие явления.

Для построения причинных моделей происхождения ЭТ необходимо рассмотреть определение причинности и основные положения причинного анализа.

**Цель исследований.** Развитие методологических принципов анализа обстоятельств электротравматизма для устранения его действительных причин в системе «человек – железорудное производство – электротехнические комплексы» («Ч-ГП-ЭТК»).

**Материалы исследований.** Для получения объективной характеристики электротравматизма в последние годы получил распространение системный метод, включающий построение и анализ логических моделей для установления причинно-следственных связей между отдельными факторами и закономерностями, в которых эти факторы проявляются. Системный метод анализа отличается от других методов, главным образом, не научным аппаратом, а упорядоченным, логически обоснованным подходом к исследованию причин электротравматизма.

Путем теоретического обобщения известных работ сформирована логическая модель возникновения травмоопасных нарушений в процессах функционирования системы «Ч-ГП-ЭТК» представленная на рис. 1.

Из этой модели видно, что травмоопасные ситуации возникают в системе при отклонении действий в организации и техническом обеспечении ее функционирования от требований нормативно – технической документации, регламентирующей: условия безопасного взаимодействия человека с производством и электротехническими комплексами; техническое состояние оборудования электроустановок, инструментов, средств защиты оборудования и персонала, с которыми человек взаимодействует в процессе труда и которые должны быть в безопасном состоянии.

Предложенная на рис. 1 логическая модель позволяет установить, в силу каких именно нарушений формируются травмоопасные ситуации при функционировании системы "Ч-ГП-ЭТК".

Для более полного и достоверного выявления причин и условий возникновения травмоопасных ситуаций и порождающих их причинно-следственных деревьев событий предлагается логическая модель реализации опасности поражения электрическим током, представленная на рис. 2. В этой модели все участвующие события выделены в две группы, формирующие опасные действия персо-

нала, и опасные процессы, приводящие к поражению человека электрическим током.

Как хорошо известно, опасными зонами, где может произойти поражение человека, являются: места расположения электрооборудования, машин и механизмов, на корпусах которых возможно появление потенциалов по отношению к земле в результате замыканий на землю и корпуса, обрывов заземляющих проводников и др.; места расположения токоведущих частей в электроустановках, конструктивно защищенных от случайного соприкосновения с ними. Поэтому опасность поражения в этих зонах реализуется лишь в результате неправильных действий управляющей 23 и управляемой 24 систем или в результате скрытых ошибок проекта и монтажа 25. Под управляющей системой понимается круг должностных лиц, который обязан поддерживать функционирование системы «Ч-ГП-ЭТК» в пределах, обеспечивающих безопасное состояние, как ее составляющих, так и всей системы в целом.

Под управляемой системой понимаются люди как участвующие в процессах функционирования системы «Ч-ГП-ЭТК», так и не имеющие отношения к ней, но по каким-то причинам оказавшиеся в опасных зонах. В них формируются два опасных процесса: 6 – прикосновение человека к токоведущей части электроустановки, нормально находящейся под напряжением; 5 – прикосновение к корпусам, оболочкам, конструкциям или попадание в зону растекания тока в грунте, оказавшихся под напряжением в результате возникновения в электроустановке аварийных режимов.

В этом случае опасность поражения создает одновременное существование таких режимов в электроустановке:

– возникновение однофазного замыкания на землю 4 и отказ устройств защитного отключения 13 (защита от однофазных замыканий и защита от утечек), предназначенных для отключения электроустановки при возникновении такого режима, а также отказ защитного заземления 2, предназначенного для снижения до допустимых значений потенциалов в опасных зонах, создаваемых токами утечки из электроустановок как в аварийных, так и нормальных условиях ее работы;

– двухфазное замыкание на корпус или землю 3 и отказ электрических защит от токов короткого замыкания 1, так как такое замыкание является разновидностью короткого замыкания.

Формирование неправильных, опасных действий управляющей и управляемой систем происходит под воздействием человеческого фактора: психофизиологические факторы 14 и организационные факторы 15 (рис. 1). Под их воздействием и происходит нарушение условий безопасного взаимодействия человека с элементами системы «Ч-ГП-ЭТК», предписываемого Правилами безопасности, заключающихся в невыполнении полностью или частично организационных 16 и 17 и технических 18, 19, 20 мероприятий, обеспечивающих безопасность работ в электроустановках. Реализация же событий прикосновения к корпусу 5 или токоведущей части 6 в электротравму возможна при одновременном свершении двух событий, реализующих превышение критериев электробезопасности: 7 – по длительно допустимому току через тело человека  $I_{дл}$ ; 8 – допустимому количеству электричества, протекающему через тело прикоснувшегося человека  $Q_{доп}$ . В свою очередь, события 7 и 8 реализуются в электротравму при свершении следующих событий: 9 – низкое сопротивление изоляции сети относительно земли  $R_{и}$  или низкое сопротивление тела человека  $R_{ч}$ ; 13 – отказ или отсутствие устройств защитного отключения (УЗО); 12 – расстройка компенсации емкостного тока утечки; 11 – недостаточность этой компенсации в случае превышения допустимых для нее значений емкости сети. Расстройка компенсации означает, что ее параметры, например, в результате неправильной установки отпайки компенсирующего дросселя, не соответствуют емкости сети, а недостаточность – это режим превышения фактического значения емкости сети допустимого по технической характеристике компенсирующего устройства. Под отказом УЗО подразумевается не только аппаратный отказ, но и функциональный под воздействием дестабилизирующих внешних факторов.

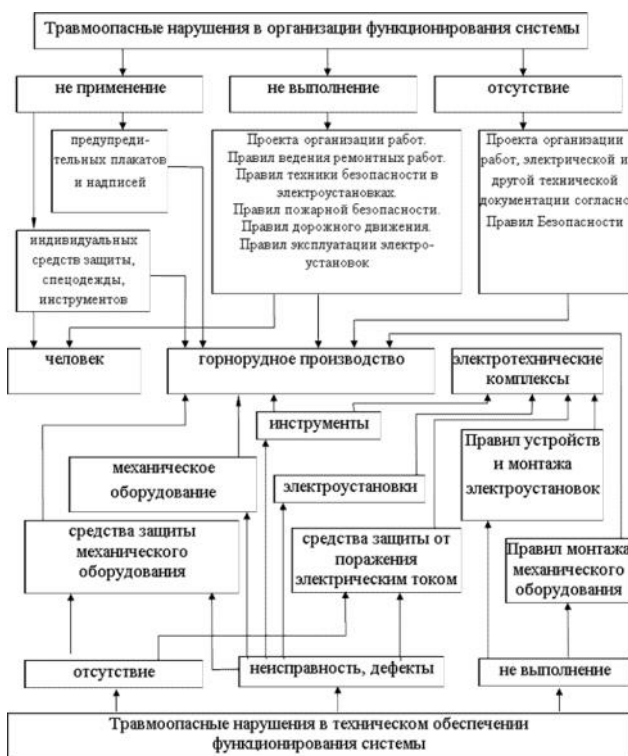


Рис. 1. Логическая модель возникновения травмоопасных нарушений в процессах функционирования системы «человек– горнорудное производство–электротехнические комплексы»

Использование логической модели реализации опасности поражения электрическим током состоит в следующем:

– заменяя события на вероятности их возникновения, переходим к вероятностной модели реализации опасности поражения электрическим током;

– используя математические формулы суммы и произведения вероятностей отдельных составляющих сложных событий, переходим к математической модели поражения током;

– на основании статистического материала определяются вероятности событий в логической модели на рис. 2;

– по математической модели определяется вероятность такого сложного события, как поражение электрическим током и сравнивается ее значение с условно принятым или регламентируемым.

Все случайные события в логической схеме поражения на рис. 2, если их рассматривать в течение большого отрезка времени, то можно принять за потоки опасных событий [7 – 9]. Если их обозначить на отрезке времени, то можно увидеть, что вероятность

попадания того или иного их числа на участок времени зависит от длины этого участка и не зависит от расположения этого участка на оси времени  $(0, t)$  на рис. 3. При большом отрезке времени потоки опасных событий можно рассматривать однородными, т.е. принимать, что плотность потока событий, или так называемая интенсивность – среднее число событий за единицу времени – остается постоянной. Это значит, что вероятностные характеристики потоков события являются однородными по времени. Хотя они могут иметь во времени местные сгущения и разрежения, что не носят закономерный характер, а среднее число событий, попадавших на единичный участок времени, остается постоянным для всего рассматриваемого периода.

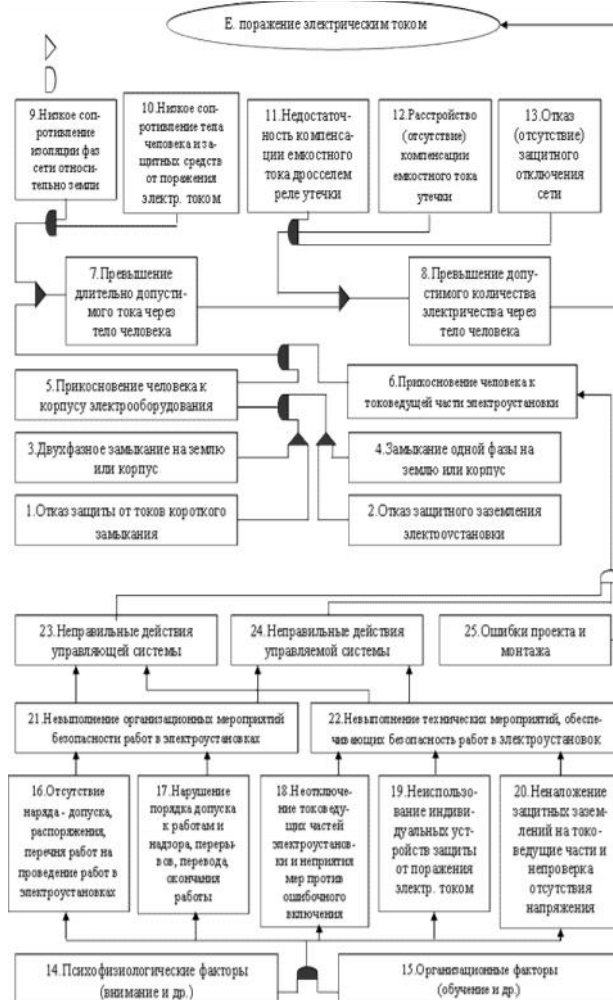


Рис. 2. Логическая модель реализации опасности поражения электрическим током в системе «человек – горнорудное производство – электротехнические комплексы»

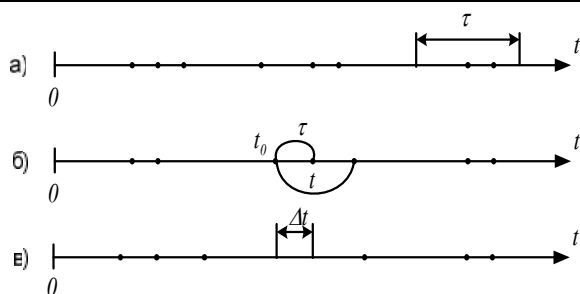


Рис. 3. Графические изображения вероятности возникновения опасных состояний интенсивностью  $\lambda$ , за промежуток времени  $\tau$

Следовательно, в соответствии с этим потоки опасных событий, формирующих поражение электрическим током, можно рассматривать как стационарное [8, 9].

Поражение электрическим током, а также опасные события в логической модели на рис. 2 появляются в последовательные моменты времени независимо друг от друга, т.е. для любых непересекающихся участков времени число событий, попадающих на один из участков времени, не зависит от числа событий, попадавших на другой. Это дает основание считать потоки опасных событий потоками без последствий.

Анализ электротравматизма [1] также показывает, что поражения электрическим током, как правило, не является групповыми случаями, а вероятность одновременного попадания на элементарный участок времени двух и более случаев пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью попадания одного случая (рис. 3).

Поражение электрическим током, а также каждое из опасных событий его формирующих в потоке событий приходят по одному, а не парами, тройками и т.д. Поэтому потоки опасных событий, формирующих электротравму, является ординарными. В работах [13, 14] показано, что если поток событий обладает всеми тремя свойствами (стационарный, без последствий, ординарный), то интенсивность отказов  $\lambda$  – среднее число событий, в единицу времени – является постоянным, то есть  $\lambda = const$ .

Закон Пуассона описывает вероятность возникновения  $m$  раз случайного события, имеющего интенсивность  $\lambda$ , за промежуток времени  $\tau$  [10, 11].

Вероятность попадания события на участок времени (рис. 3, а) выражается формулой:

$$Q_m = \frac{\alpha}{m!} e^{-\alpha}; (m = 0, 1, \dots), \quad (1)$$

где  $\alpha$  – среднее число событий, происходящих на промежуток времени  $\tau$ , т.

е.  $\alpha = \lambda t$ .

При  $m = 0$  вероятность попадания

$$Q_0 = e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Вероятность того, что на промежуток  $t$ , примыкающий к точке  $t_0$  (рис. 3, б) попадет хотя бы одно событие потока, можно представить выражением:

$$F(t) = 1 - Q_0. \quad (3)$$

Закон распределения интервала времени  $T$  между соседними событиями выражается функцией

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}; (t > 0). \quad (4)$$

Плотность распределения случайной величины  $T$

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}; (t > 0). \quad (5)$$

Такой закон называется показательным. Математическое ожидание случайной величины  $T$  (среднее значение)  $m(t)$

$$m(t) = \frac{1}{\lambda}; \quad (6)$$

дисперсия величины  $T$

$$D(t) = \frac{1}{\lambda^2}; \quad (7)$$

среднее квадратичное отклонение случайной величины  $T$

$$\sigma(t) = \sqrt{D(t)} = \frac{1}{\lambda}. \quad (8)$$

Вероятность того, что на промежутке  $\Delta t$  (рис. 3, в) появится какое-то событие потока, т.е. участок не будет "пуст",

$$Q_1(\Delta t) = 1 - Q_0(\Delta t); Q_0(\Delta t) = \frac{\alpha}{0!} e^{-\alpha} = e^{-\lambda \Delta t}. \quad (9)$$

$$Q_1(\Delta t) = 1 - e^{-\lambda \Delta t}. \quad (10)$$

Для практического пользования при разложении в ряд  $e^{-\lambda \Delta t}$  величинами высшего порядка малости можно пренебречь. Тогда  $Q(\Delta t) \approx \lambda \Delta t$ .

Таким образом, можно считать, что вероятность поражения электрическим током или появления какого-либо из опасных состояний на элементарном отрезке времени  $\Delta t$  при-

ближенно равна произведению интенсивности потока  $\lambda$  на величину промежутка  $\Delta t$ .

Для перехода к вероятностной модели поражения электрическим током события логической модели (см. рис. 2) выражаем вероятностями их возникновения. Полученная таким образом вероятностная модель реализации опасности поражения электрическим током представлена на рис. 4. В ней с целью упрощения учет событий, формирующих прикосновение к токоведущей части,  $P_6$  ограничен на первом уровне –  $P_{23}, P_{24}, P_{25}$ . В вероятностной модели приведены вероятностные характеристики сложных событий, полученные из вероятностей сложных событий путем преобразований, выполненных на основании теорем сложения и умножения вероятностей. События в их логической модели (рис. 2) и действия, производимые над их вероятностями, отражены такими индексами соответствующих промежуточных выражений:

$$P_{(1 \text{ и } 3)} = P_1 P_3; \quad (11)$$

$$P_{(2 \text{ и } 4)} = P_2 P_4; \quad (12)$$

$$P_{(9 + 10)} = P_9 + P_{10} - P_9 P_{10}; \quad (13)$$

$$P_{(11+12+13)} = P_{11} + P_{12} + P_{13} - P_1 P_2 - P_2 P_3 - P_1 P_3 + P_{11} P_{12} P_{13}. \quad (14)$$

Из вероятностной модели на рис. 4, проводя соответствующие преобразования на основании теорем о сложении и умножении вероятностей, переходим к математической модели реализации опасности поражения электрическим током  $P_{ЭП}$ :

$$P_{ЭП} = [1 - (1 - P_{ТЧ})(1 - P_{КР})] \cdot P_{(9+10)} \cdot P_7 \cdot P_{(11+12+13)} \cdot P_8, \quad (15)$$

где  $P_{КР}$  – вероятность прикосновения к корпусу;  $P_{КР} = (P_{(1 \text{ и } 3)} + P_{(2 \text{ и } 4)} - P_{(1 \text{ и } 3)} P_{(2 \text{ и } 4)}) P_5$ ;

$P_{ТЧ}$  – вероятность прикосновения и токоведущей части;

$$P_{ТЧ} = P_{23} + P_{24} + P_{25} - P_{23} P_{24} - P_{23} P_{25} - P_{24} P_{25} + P_{23} P_{24} P_{25}.$$

Для определения величины вероятности  $P_{ЭП}$  поражения электрическим током по математической модели формулы 15 необходимо установить значения вероятностей событий, формирующих электротравму. Численные значения этих вероятностей можно

получить на основе наблюдений, при которых фиксируется продолжительность опасных состояний и промежутки времени между их возникновением. Источниками информации для получения данных о вероятностях указанных событий являются: акты по форме Н-1; материалы специальных расследований тяжелых и смертельных электротравм; материалы целевых проверок рабочих мест по охране труда и технике безопасности; другая документация, где регистрируются нарушения Правил безопасности.

Наработка на отказ до определенного опасного состояния и интенсивность опасных отказов для системы электроснабжения и электрооборудования определяется по известным формулам.

В настоящее время признано, что для электрооборудования наиболее подходит экспоненциальный закон распределения отказов, что подтверждает сделанные ранее обоснования относительно применения для оценки опасного состояния стационарного пуассоновского потока. При таком законе распределения вероятность безотказной работы электрооборудования выражается следующей формулой

$$Q = e^{-\lambda t}. \quad (16)$$

Переход от вероятностей отказа к вероятностям безотказной работы осуществляется с помощью выражения

$$P = 1 - Q. \quad (17)$$

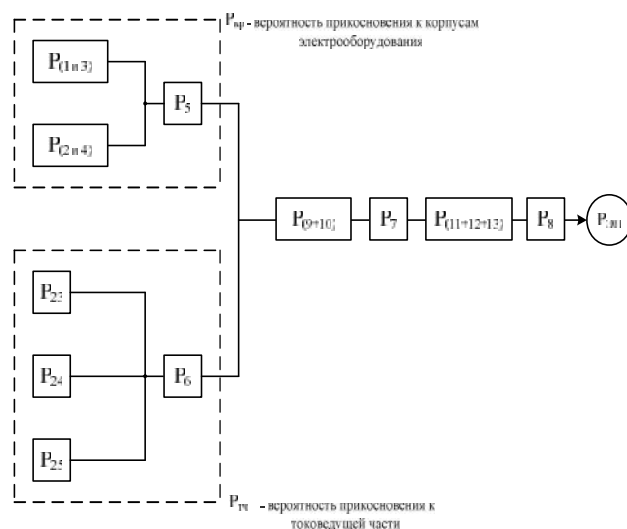


Рис. 4. Вероятностная модель реализации поражения электрическим током, полученная из логической модели рис. 2

Для сбора информации об отказах электрооборудования или отступлениях от требований ТБ институтом МакНИИ разработана соответствующая методика, которая была апробирована на ряде шахт, и были получены приведенные в табл. 1 статистические данные об опасных состояниях и событиях, формирующих поражение электрическим током [8].

Анализ выражения математической модели поражения электротоком по формуле (15) показывает, что для предотвращения электротравматизма первостепенное значение имеют профилактические мероприятия, предупреждающие возможность существования событий, расположенных в общей ветви вероятностной схемы на рис. 4, так как если эти события невозможны, то невозможно и формирование аварийной ситуации ни по одной из ветвей вероятностной модели. Меньшее значение имеют мероприятия и средства, направленные на предотвращение существования событий, располагаемых в ветвях вероятностной модели, так как ни одно из них не может полностью исключить возникновение аварийной ситуации, а лишь способствует снижению вероятности ее появления.

Практическая реализация мероприятий по электробезопасности должна сводиться к обеспечению вероятности поражения электротоком  $P_{эл}$  не выше нормируемой величины  $P_n$ ,

Одновременно возникает задача идентификации и классификации основных причин электротравматизма в горнорудных производствах. В соответствии с требованиями к методике автоматизированного анализа электротравматизма ее применение для многофакторного анализа данных об электротравматизме возможно только при условии достаточной численности однородных по характеру наблюдений. Однако в настоящее время целенаправленной работы по формированию удовлетворяющего этому условию массива данных об электротравматизме в горнорудных производствах не проводится. В этих условиях более определенные результаты может дать метод экспертных оценок, основанный на способности специалистов давать полезную информацию в условиях неопределенности и в соответствии с этим находить более правильное решение [12]. Неизвестная количественная характеристика исследуемого явления рас-

сматривается как случайная величина, отражением закона распределения которой является индивидуальная оценка специалистов-экспертов о достоверности и значимости этого явления. Когда такая оценка получена от группы специалистов, предполагается, что истинное значение исследуемой характеристики находится внутри диапазона оценок и, что "обобщенное" коллективное мнение является более достоверным.

1. Вероятность опасных состояний и событий, формирующих поражение электрическим током, полученные по данным наблюдений в шахтах ПО "Криворожжелезрудком"

Обозначение в модели на рис.4	Состояние Наименование	Среднее время между возникновением опасных состояний, час	Среднее время существования опасного состояния, час	Вероятность опасного состояния
P <sub>5</sub>	Прикосновение человека к корпусу электрооборудования	0,28	0,36	0,338
P <sub>4</sub>	Однофазные замыкания на землю или корпус	2693	40	0,17
P <sub>2</sub>	Отказ заземления	2980	446	0,02
P <sub>9</sub>	Повреждение изоляции (для конвейера)	1556	142	0,17
P <sub>6</sub>	Прикосновение человека к токоведущим частям пусковой аппаратуры	1621	0,87	0,38
P <sub>3</sub>	Однофазные двойные замыкания на землю или корпус	-	-	0
P <sub>1</sub>	Отказ защиты от токов короткого замыкания	2352	150	0
P <sub>13</sub>	Отказ защитного отключения (защиты от утечек тока)	244	1,25	0,05

Исследования проводились по методике, сформированной на основе анализа известных работ [7, 9, 13, 14].

На основании имеющегося массива данных об электротравматизме в шахтах и карьерах железорудных производств методом частотного анализа была выявлена группа из 10 наиболее значимых причин. В разработанную анкету причины включались в хаотическом порядке, вне зависимости от каких-либо качеств. Значимость причин предложено было оценивать по десятибалльной шкале, а в качестве экспертов были привлечены опытные работники карьеров и шахт, в основном начальники отделов охраны труда и главные энергетики. Кроме того, в качестве экспертов привлекались научные сотрудники специальных организаций [15 – 17].

После обработки данных анкет была сформирована матрица рангов.

Основные причины электротравматизма в системе "Ч-ЖП-ЭТК" идентифицированы методом экспертных оценок, а ранжирование в порядке их значимости показало, что наиболее существенными причинами электротравматизма на горнорудных предприятиях являются:

1) невыполнение технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ в электроустановках, 61 ранг;

2) невыполнение организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность работ в электроустановках, 63 ранга.

При исследовании причин электротравматизма статистическим методом установлено, что в более чем 50 % электротравм основной причиной является невыполнение организационно-технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ в электроустановках.

### **Выводы**

1. Предложенная логическая модель возникновения травмоопасных нарушений в процессах функционирования системы «человек - горнорудное производство - электротехнические комплексы» позволяет установить, в силу каких именно нарушений формируются травмоопасные ситуации.

2. Для более полного и достоверного выявления причин и условий возникновения травмоопасных ситуаций и порождающих их

причинно-следственных событий предлагается логическая модель реализации опасности поражения электрическим током в системе «человек - горнорудное производство - электротехнические комплексы».

3. При исследовании причин травматизма электрическим током статистическим методом установлено, что более чем в 50 % электротравм основной причиной является невыполнение организационно-технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ в электроустановках. Поэтому результаты идентификации причин электротравматизма методом экспертных оценок следует признать удовлетворительными.

4. Анализ математической модели реализации опасности поражения электрическим током показывает, что для предотвращения электротравматизма первостепенное значение имеют профилактические мероприятия, предупреждающие возможность существования таких событий, как низкое сопротивление изоляции, тела человека и защитных средств; недостаточность или отсутствие компенсации емкостного тока утечки; отказ или отсутствие защитного отключения сети.

### **Список использованной литературы**

1. Зеркалов Д. В. Охорона праці в галузі: Загальні вимоги: навчальний посібник / Д. В. Зеркалов. – К. : Основа, 2011. – 551 с.

2. Синчук О. Н. К вопросу первичных критериев электробезопасности при эксплуатации тяговых контактных сетей железорудных шахт / О. Н. Синчук, А. А. Харитонов // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчуг : – № 82. – 2013.

3. Вышинская Н. Я. Электротравматизм и меры снижения в системе электроустановка–среда–человек. / Н. Я. Вышинская. – Авторефер. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук // Всесоюзный научно-исследовательский ин-т охраны труда ВЦСПС. – Ленинград : – 1989. – 26 с.

4. Ляхомский А. В. Физиологическая характеристика горнорабочих железорудных шахт как элемента эрготехнической системы обеспечения электробезопасности / А. В. Ляхомский, О. Н. Синчук О.Н., А. А. Харито-



нов // Вестник Криворожского технического университета. – Кривой Рог : КНУ, 2013. – Вип. 35. – С. 152 – 156.

5. Ляхомский А. В. Исследования условий и разработка мероприятий по обеспечению электробезопасности в контактных сетях электровазной откатки угольных шахт / А. В. Ляхомский – Автореф. дисс. на получение научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.09.03. – Москва : МГИ. – 1977.– 15 с.

6. Азарян А. А. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв / А. А. Азарян, Ю. Г. Вілкул, Ю. П. Капленко, Ф. І. Караманич, В. О. Колосов, В. С. Моркун, П. І. Пілов, В. Д. Сидоренко, А. Г. Темченко, П. Й. Федоренко. – Кривий Ріг : Мінерал, 2006. – 219 с.

7. Михайлов Р. Н. Разработка автоматизированной системы обработки информации о несчастных случаях на производстве / Р. Н. Михайлов, А. А. Самолдин, И. И. Лямичева // Безопасность и гигиена труда: Сборник научных работ институтов охраны труда ВЦСПС. – М. : 1980. – С. 38 – 39.

8. Ткачук К. Н. Основи охорони праці: підручник / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний [та ін.]; за ред. К. Ткачука і М. Халімовського. – К. : Основа, 2006 – 448 с.

9. Харитонов А.А. Анализ электротравм для моделирования генезиса электротравм в электротехнических комплексах и системах железорудных шахт / А. А. Харитонов // Интернет конференции «Образование и наука без границ», 07–15 декабря 2013.

10. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: учебник для вузов / Е. С. Вентцель. – М. : – Высшая школа. – 2001.

11. Никитенок В. И. Элементы теории ранговых критериев, работающих в реальном времени / В. И. Никитенок // Вестник Военной академии республики Беларусь. – 2009. – № 2 (23). – С. 93 – 99.

12. Бешелев С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М. : Статистика, 1980. – 263 с.

13. Ликаренко А. Г. Идентификация основных причин электротравматизма в горно-рудной промышленности для задач моделирования электробезопасности / А. Г. Ликаренко, Ф. П. Шкрабец // Сборник научных трудов Национального горного ун-та. – 2002. – № 14. – Т.1. – С. 130 – 133.

14. Шевяков Ф. Я. Определение причинно-следственных связей при анализе аварий и несчастных случаев / Ф. Я. Шевяков // Безопасность труда в промышленности. – 1980. – № 9.

15. Nair P.M. Earthing in Relation to Electrical Accidents, (1987), *Journal Original Language: English Electrical*, India, Vol. 27, Issue 12, 1 January, pp. 17–18. ISSN: 0013435X CODEN: EIDAASource.

16. Lenne M.G., Salmon P.M., Liu C.C., and Trotter M. Accident Analysis and Prevention. September 2012, Vol. 48, , pp. 111–11 (Australia), doi: 10.1016/j.aap.2011.05.026 PubMed ID: 22664674 Document Type: Article URL: <http://95.25.47.1/scimag5/10.1016/j.aap.2011.05.026.pdf>.

17. Wang, C.Y. Analysis of the Operational Risk Controls in the Electric Power Plant (*Conference Paper*), (2013), *9th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications*, LDIA 2013; Hangzhou; China; 7 July 2013 through 10 July 2013; Code 100437. Vol. 416-417, pp. 2087-2091. ISSN: 16609336. ISBN: 978-303785863-9 Source Type: Book series Original language: English, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.416-417.2087 Document Type: Conference Paper.

Получено 05.11.2013

## References

1. Zerkalov D.V. Okhorona truda v oblasti: Obshchie voprosy: navchal'nii posibnik [Occupational Safety and Health in the Sphere], (2011), *Labor Protection: General Requirements Publ*, Kiev, Ukraine, 551 p. (In Ukrainian).

2. Sinchuk I.O., and Kharitonov A.A. K voprosu pervichnykh kriteriev elektrobezopasnosti pri ekspluatatsii tyagovykh kontaknykh setei zhelezorudnykh shakht [On Evaluation of Primary Electro Safety Criteria on Contact

Traction Lines Operating at Iron-ore Mines], (2013), *Visnik KrNU imeni Mikhaïla Ostrograds'kogo*, Kremenchug, Ukraine, Vol. 82 (In Ukrainian).

3. Vyshinskaya N.Ya. Elektrotravmatizm i mery snizheniya v sisteme elektroustanovka-sreda-chelovek, Avtoreferate. dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Electrical Accident and its Reduction in the System Electrical-plant-env], (1989), *Manuskript, Thesis for Obtaining Ph.D. Degree. tehn. All-Union Research Institute of Occupational Safety VCSPPS*, Leningrad, Russian Federation (In Russian).

4. Lyakhomsky A.V., Sinchuk O.N., and Kharitonov A.A. Fiziologicheskaya kharakteristika gornorabochikh zhelezorudnykh shakht kak elementa ergotekhnicheskoi sistemy obespecheniya elektrobezopasnosti [Physiological Characteristic of Miners at ore Mines as a Part of the System for Maintaining Electrical Safety] Krivoi Rog, Ukraine, *Vestnik of Krivorozhsky National University*, Vol. 35, pp. 152 – 156 (In Ukrainian).

5. Lyakhomsky A.V. Issledovaniya uslovii i razrabotka meropriyatii po obespecheniyu elektrobezopasnosti v kontaktnykh setyakh elektrovoznoi otkatki ugol'nykh shakht. Avtoref. diss. na poluchenie nauchn. stepeni kand. tekhn. nauk: spets. 05.09.03. [Research of Conditions and Development of Activities to Ensure Electrical Contact Lines at Locomotive Haulage of Coal Mines]. *Manuskript, Thesis for Obtaining Ph.D. Degree. tehn. Sciences: Special 05.09.03, Moscow Mining Institute*, Moscow, Russian Federation (In Russian).

6. Azaryan A.A., Vilkul Yu.G., Kaplenko Y.P., Karamanits V.O., Kolosov V.O., Morkun V.S., Pilov P.I., Sidorenko V.D., Temchenko A.G., and Fedorenko P.Y. Kompleks resurso- i energozberigayuchikh geotekhnologii vidobutku ta pererobki mineral'noi sirovini, tekhnichnikh zasobiv ikh monitoringu [Energy-saving Geotechnologies Complex at Mining and Processing of Mineral Raw, Technical Means of Monitoring with Control System and Optimization of Mining Enterprises], (2006), Krivoi Rog, Ukraine, *Mineral Publ.*, 219 p. (In Ukrainian).

7. Mikhaylov R.N., Samoldin A.A., and Lyamicheva I.I. Razrabotka avtomatizirovannoi sistemy obrabotki informatsii o neschastnykh

sluchayakh na proizvodstve [Developing of Automation System for Accidents Data Processing], (1980), *Occupational Safety and Health: Collection of Scientific Work of the Institute of OSH VCSPPS*, Moscow, Russian Federation, pp. 38 – 39 (In Russian).

8. Tkachuk K.N., Khalimovsyky N.O., and Zatsarny V.V. Osnovi okhoroni pratsi: pidruchnik za red. K. Tkachuka i M. Khalimovs'kogo [Basics of Labor Protection], (2006), Kiev, Ukraine, *Osnova Publ.*, 448 p. (In Ukrainian).

9. Kharitonov A.A. Analiz elektrotravm dlya modelirovaniya genezisa elektrotravm v elektrotekhnicheskikh kompleksakh i sistemakh zhelezorudnykh shakht [Analysis of Electrical Accident for Modeling the Genesis of Electrical Accidents at Electrical Complexes and Iron-ore Complexes], (2013), *Internet Conference Konferentsii "Obrazovanie i Nauka Bez Granits"*, 07–15 dekabrya 2013. [www.rusnauka.com/35\\_NOBG\\_2013/Tecnic/13\\_152353.doc.htm](http://www.rusnauka.com/35_NOBG_2013/Tecnic/13_152353.doc.htm).

10. Venttsel E.S. Teoriya veroyat-nostei: uchebnyk dlya vuzov [Probability Theory: Textbook for High Schools], (2001), Moscow, Russian Federation, *Vysshaya Shkola Publ.*, 575 p. (In Russian).

11. Nikitenok V.I. Elementy teorii rangovykh kriteriev, rabotayushchikh v real'nom vremeni [Rank Criteria theory Elements, Operating at Real Time] *Bulletin of the Military Academy of the Republic of Belarus*, Vol. 23, pp. 93 – 99 (In Russian).

12. Beshelev S.D., and Gurvich F.G. Matematiko-statisticheskie metody ekspertnykh otsenok [Math and Statistical Methods of Expert Assessments], (1980), Moscow, Russian Federation, *Statistika Publ.*, 263 p. (In Russian).

13. Likarenko A.G., and Shkrabets F.P. Identifikatsiya osnovnykh prichin elektrotravmatizma v gornorudnoi promyshdennosti dlya zadach modelirovaniya elektrobezopasnosti [Identification of the Main Electrical Accidents reasons at Mining Industry for Electrical Safety Modeling], *Collection of Scientific Papers*, Vol. 14, Vol. 1, pp. 130 – 133.

14. Shevyakov F.Ya. Opredelenie prichinno-sledstvennykh svyazei pri analize avarii i neschastnykh sluchaev – [Determining of Cause-effect Relationships at Accidents and

Injuries Analysis], (1980), *Safety in Industry*, Vol. 9.

15. Nair P.M. Earthing in Relation to Electrical Accidents, (1987), *Journal Original language: English Electrical*, India, Vol. 27, Issue 12, 1 January, pp. 17 – 18. ISSN: 0013435X CODEN: EIDAASource.

16. Lenne M.G., Salmon P.M., Liu C.C., and Trotter M. Accident Analysis and Prevention. September 2012, Vol. 48, , pp. 111 – 117 (Australia), doi: 10.1016/j.aap.2011.05.026 PubMed ID: 22664674 Document Type: Article. URL: <http://95.25.47.1/scimag5/10.1016/j.aap.2011.05.026.pdf>.

17. Wang C.Y. Analysis of the Operational risk Controls in the Electric Power Plant (*Conference Paper*), (2013), *9th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications*, LDIA 2013; Hangzhou; China; 7 July 2013 through 10 July 2013; Code 100437. Vol. 416-417, pp. 2087 – 2091. ISSN: 16609336. ISBN: 978-303785863-9Source Type: Book series Original language: English, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.416-417.2087Document Type: Conference Paper.



Ляхомский  
Александр Валентинович,  
д-р техн. наук, профессор,  
зав. каф. ЭЭГП Московско-  
го госуд. горного ун-та,  
Россия, г. Москва  
ул. Тверская, 11,  
E-mail: mggu.eegg@mail.ru



Синчук  
Олег Николаевич,  
д-р техн. наук, профессор,  
зав. каф. АЭСПТ, ГВУЗ  
«Криворожский националь-  
ный ун-т»,  
Украина, г. Кривой Рог ул.  
XXII партсъезда, 11,  
E-mail: speet@ukr.net



Харитонов  
Александр Александрович,  
ст. преподаватель каф.  
ЭСЭМ, ГВУЗ «Криворож-  
ский национальный универ-  
ситет»,  
Украина, г. Кривой Рог ул.  
XXII партсъезда, 11,  
E-mail: Schariton@i.ua



Мельник  
Ольга Евгеньевна,  
канд. техн. наук,  
доцент кафедры ЭСЭМ,  
ГВУЗ «Криворожский на-  
циональный университет»,  
Украина, г. Кривой Рог ул.  
XXII партсъезда, 11,  
E-mail: blondinka17@ukr.net