

УДК 621.3:622:519.24

Б.Б. КОБЫЛЯНСКИЙ (канд. техн. наук, доц.)

Учебно-научный профессионально-педагогический институт Украинской инженерно-педагогической академии, г. Харьков

А.Г. МНУХИН (д-р. техн. наук, проф.)

Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье

## ОЦЕНКА ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ЭРГАТИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

В работе рассмотрены производственные комплексы, в том числе и вся шахта, с позиции „человек-машина-среда”. Что дало возможность на основании единой методологии провести оценку ее безопасных свойств с последующим нормированием требуемых вероятностей нормальной или безаварийной работы всей шахты в целом с учетом действий обслуживающего персонала и влияния окружающей среды. Также была разработана методология оценки возможной аварийности и выполнены на ее основе расчеты, обеспечивающие оптимальный выбор последовательностей действий по ее предупреждению.

**Ключевые слова:** методы регрессионного анализа, анализ безопасности, сложные эргатические системы.

Ряд крупных аварий с тяжелыми последствиями, случившихся на шахтах Украины заставляет вновь и вновь возвратиться к анализу произошедшего с разных позиций, используя различные методы и подходы. Термины «анализ риска» и вытекающий из него «оценка риска» пока еще, к сожалению, мало известны отечественным специалистам, хотя именно на них и базируются критерии надежности и требования безопасности к сложным эргатическим системам.

Численный анализ безопасности сложных многофункциональных систем был введен в практику после ряда катастрофических аварий. Ссылаясь на различные источники [1, 2], можно считать, что как у нас, так и за рубежом общественность не выражает чрезмерной озабоченности при наличии риска от  $10^{-6}$  в год и менее, и поэтому редко применяются меры для его последующего снижения.

Рассматривая что связывает между собой все крупные последние аварии на шахтах, представим саму шахту, как сложную эргатическую систему типа «человек – машина – среда». Известно, что подавляющее большинство аварий связано с газом, иногда отравлением, но чаще со взрывом его или пылевоздушной смеси.

Дальнейший анализ показывает, что процесс аварии достаточно крупного масштаба является составным, состоящим, по крайней мере, из двух частей таких, как человек - машина и машина - среда. Причем человеческий фактор в прямом или косвенном виде (состояние оборудования) присутствует практически во всех случаях. Поскольку вторым по значимости фактором является оборудование (его состояние), то из изложенного следует, что в настоящее время имеются пути снижения аварийности на шахтах, в том числе опасных по газу или пыли, путем соответствующей подготовки персонала и обеспечения соответствующего состояния горношахтного оборудования.

Попытки оценки безопасных свойств, если не в целом шахты, а хотя бы некоторых её элементов, делались и ранее, в частности применительно к системам подземного электроснабжения [3, 4], методами планирования режима обслуживания горношахтного оборудования [5], а также состояния горного массива, т.е. непосредственно окружающей среды [6].

Именно эти работы и послужили основой нового научного направления, которое позволило, в конечном счете, установить численное взаимоотношение между составляющими частями угольной шахты, опасной по газу или пыли, как эргатического объекта типа «человек – машина – среда». Работы эти, как вытекает из анализа прилагаемых копий источников, были начаты еще в 90-х годах в МакНИИ и позднее в УНППИ УИПА.

Первоначально при исследовании сложных систем, в том числе и угольных шахт, безопасную работу в определенный момент отождествляли с надежностью. Однако впоследствии была выявлена неправомерность такого отождествления. Если в теории надежности внимание в основном уделяется технике, что главным объектом безопасности системы, в том числе угольной шахты, является человек. Так, в [7] дано определение безопасности как состояния условий

труда, при котором отсутствует производственная опасность. Известно, что основное понятие надежности – отказ, а безопасности – авария. Характерно, что отказ является одним из источников аварий, однако не каждый отказ, а только аварийный.

На основании [8] рудничное оборудование целесообразно объединить в следующие группы, расположенные по степени их влияния на безопасность и надежность шахты:

- элементы, обеспечивающие выполнение поставленной производственной задачи, т.е. надежность (выключатель, вентилятор, насос, механизированный комплекс);
- элементы, не имеющие решающего значения для обеспечения безопасности и надежности (двойная индикация, местное освещение и др.).

Угольная шахта с учетом взаимодействия обслуживающего персонала, оборудования и среды на основании [9] может быть представлена как соответствующая схема последовательностей событий и состояний (рис. 1.1). Таким образом, нормальное функционирование шахты как системы «человек-машина-среда» определяется взаимодействием персонала, оборудования и среды, которые соответственно характеризуются работоспособностью, исправностью и оптимальностью. В зависимости от поддержания на должном уровне указанных параметров в системе будет осуществляться нормальная работа, безаварийная работа или возникнет авария.

Как видно из рисунка 1, нормальная работа шахты может быть определена как работа при исправном оборудовании, расположенном в нормальной среде, и отсутствии, по крайней мере, аварийных ошибок обслуживающего персонала. Локальные и функциональные ошибки в этих условиях не нарушают нормальной работы шахты в целом. Вероятность указанных выше режимов может быть записана соответственно как  $P_H^1, P_H^2, P_H^3, P_H^4$ .

Соответствующие вероятности указанных режимов могут быть записаны как  $P_B^1, P_B^2, P_B^3, P_B^4, P_B^5$  и  $P_B^6$ . Авария же наступает в тех случаях, когда шахта не поддается воздействию, т.е. находится в пораженном состоянии (вероятность такого явления  $P_A$ ).

Анализируя поведение рассматриваемой шахты в реальных условиях, исходя из технических соображений, можно сделать вывод о независимости рассматриваемых событий, которые образуют полное множество, определяющее конкретную ситуацию. Далее, обозначая через  $P_i$  соответствующие вероятности  $i$ -того события, можно записать [1]:

$$\begin{aligned}
 P_1 + P_2 + P_7 &= 1; \\
 P_3 + P_4 + P_5 &= 1; \\
 P_8 + P_9 &= 1; \\
 P_{10} + P_{11} &= 1; \\
 P_{12} + P_{13} &= 1 \\
 P_{15} + P_{16} + P_{17} &= 1; \\
 P_{18} + P_{19} + P_{21} &= 1.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Далее на основании результатов обследования состояния оборудования и персонала, обслуживающего его, а также анализа среды (горно-геологических условий) конкретного предприятия определяются указанные выше вероятности соответствующих состояний эксплуатации и прогнозируется поведение шахты, как эргатической системы.

Обнаружение повышенных значений вероятностей возникновения нежелательных явлений, например, аварийных ошибок  $P_5$ , дефектов  $P_{10}$  или аварийных ситуаций  $P_{14}$  указывает на необходимость соответствующего усиления контроля за подготовкой персонала, своевременной организации ремонтов дефектного (или отказавшего) оборудования или подготовки организационно-технических мероприятий, направленных на локализацию аварийной ситуации, т.е. принятия необходимых мер в соответствующих направлениях.

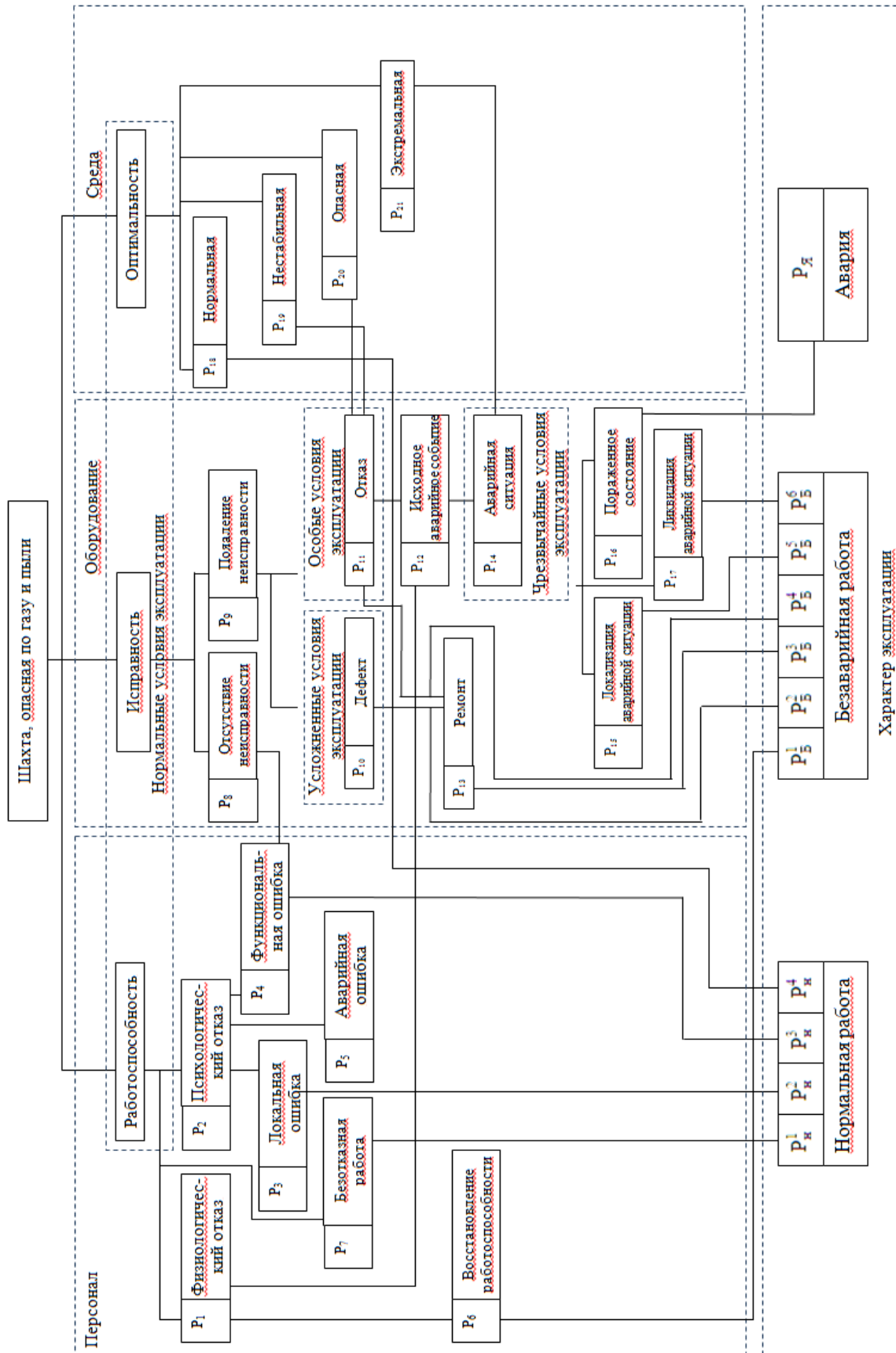


Рис. 1. Схема последовательности событий и состояний шахты опасной по газу или пыли

Рассмотрение любых производственных комплексов, в том числе и всей шахты, с позиции „человек-машина-среда” дает возможность на основании единой методологии провести оценку ее безопасных свойств с последующим нормированием требуемых вероятностей нормальной или безаварийной работы всей шахты в целом с учетом действий обслуживающего персонала и влияния окружающей среды.

Представленная методология оценки возможной аварийности и выполненные на ее основе расчеты, обеспечивает оптимальный выбор последовательностей действий по ее предупреждению, тем не менее обладают одним существенным недостатком, т.е. с использованием аппарата условных вероятностей. А конкретно, в результате выполненных расчетов нигде не определена их статистическая надежность, без чего практическая реализация выполненного анализа в определенной мере становится некорректной.

В этом случае, для оценки собранного путем опроса специалистов статистического материала и полученных в результате на эргатической основе расчетов вероятно было бы возможным применить методы параметрической статистики, идеология и алгоритм реализации которых достаточно подробно изложены в [12].

Для первичного анализа, выполняемого таким образом, представим матрицу коэффициентов парной корреляции, из которой изъяты столбцы и строки с наиболее малозависимыми парами. Дальнейший анализ выполненный факторным методом, подтвердил обоснованность применения этого решения.

Общий коэффициент множественной корреляции  $R=0,999$ , что предполагает высокое качество последующих расчетов (табл.1).

Уравнение регрессии, выходным фактором которого является  $P_A$ , построенное методами, изложенными в [12,13], имеет вид:

$$P_A = 0,102 - 0,25 P_1 - 0,0003 P_3 + 0,237 P_4 + 0,0003 P_8 - 0,198 P_{10} + 0,052 P_{13} + 0,146 P_{14} - 0,121 P_{20}. \quad (1)$$

**Таблица 1.** Матрица коэффициентов парной корреляции

<b>Фактор</b>	<b>P<sub>1</sub></b>	<b>P<sub>3</sub></b>	<b>P<sub>4</sub></b>	<b>P<sub>8</sub></b>	<b>P<sub>10</sub></b>	<b>P<sub>13</sub></b>	<b>P<sub>14</sub></b>	<b>P<sub>20</sub></b>
<b>P<sub>1</sub></b>	<b>1</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,12</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,30</b>	<b>-0,59</b>	<b>0,15</b>	<b>-0,51</b>
<b>P<sub>3</sub></b>	<b>-0,146</b>	<b>1</b>	<b>-0,40</b>	<b>0,25</b>	<b>-0,19</b>	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>	<b>0,32</b>
<b>P<sub>4</sub></b>	<b>-0,12</b>	<b>-0,40</b>	<b>1</b>	<b>-0,40</b>	<b>0,69</b>	<b>-0,03</b>	<b>0,22</b>	<b>0,05</b>
<b>P<sub>8</sub></b>	<b>-0,49</b>	<b>0,25</b>	<b>-0,08</b>	<b>1</b>	<b>0,59</b>	<b>0,33</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,40</b>
<b>P<sub>10</sub></b>	<b>-0,30</b>	<b>-0,19</b>	<b>0,69</b>	<b>0,59</b>	<b>1</b>	<b>0,24</b>	<b>-0,06</b>	<b>-0,31</b>
<b>P<sub>13</sub></b>	<b>-0,59</b>	<b>0,05</b>	<b>-0,03</b>	<b>0,33</b>	<b>0,24</b>	<b>1</b>	<b>-0,52</b>	<b>0,09</b>
<b>P<sub>14</sub></b>	<b>0,15</b>	<b>0,02</b>	<b>0,22</b>	<b>0,47</b>	<b>-0,06</b>	<b>-0,52</b>	<b>1</b>	<b>0,56</b>
<b>P<sub>21</sub></b>	<b>-0,51</b>	<b>0,32</b>	<b>0,05</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,31</b>	<b>0,09</b>	<b>0,56</b>	<b>1</b>

Значение  $F$  – критерия Фишера, полученного уравнения составляет 13406,7, что значительно больше  $F_{\text{табл.}} = 5,32$ . Используя далее для анализа значения  $T$ -критериев Стьюдента, для каждого члена уравнения (табл. 2), можно определить устойчивость регрессионных коэффициентов и тем самым произвести дальнейшую корректировку уравнения (1).

**Таблица 2.** Статистические параметры

№ п/п	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$
Коэффициент регрессии	0,102	-0,250	-0,0003	0,237	0,0003	-0,198	0,052	0,146	-0,121
$T$ -критерий Стьюдента	12,25	-10,94	-0,52	9,95	0,08	-10,93	12,72	10,3	-4,29

Низкие значения  $T$ -критериев Стьюдента для коэффициентов  $a_2$  и  $a_4$  (факторы  $P_3$  и  $P_8$  соответственно), совпадают с практически незначимыми по абсолютной величине величинами этих же коэффициентов ( $\bar{T} 0,0003$ ), в связи с чем, факторы  $P_3$  и  $P_8$  могут быть однозначно выведены из регрессионного уравнения, которое после корректировки имеет следующий вид:

$$P_A = 0,102 - 0,25 P_1 + 0,24 P_4 - 0,20 P_{10} + 0,05 P_{13} + 0,15 P_{14} - 0,12 P_{20}. \quad (2)$$

Данное уравнение имеет достаточно высокие критерии  $\chi^2$  независимости (6,0) и нормальности (4,8) ряда остатков, при весьма низком значении интервала для среднего ( $\Delta=0,016$ ). Таким образом, полученная регрессионная зависимость, базирующаяся на статистическом материале, учитывающем специфические особенности угольной шахты, как эргатического объекта типа "человек – машина – среда", однозначно указывает на возможность использования его для корректного анализа работы с различными математическими методами, в частности алгебры логики (аппарата условных вероятностей), с такими факторами, как подготовка персонала, состояние оборудования и влияние окружающей среды (давление горных пород, концентрация газа и т.п.), на стабилизацию состояния которых должны первоочередно направляться выделяемые обществом средства, с последующей численной, статически выверенной оценкой полученных результатов.

Следует отметить, что, хотя предлагаемая методология не позволяет, естественно, оперировать полной выборкой данных, реализация ее совместно с методикой выборочного исследования [14] обеспечивает получение корректных результатов, особенно при условии применения сглаживания полученных трендов установленными способами [15].

Исходя из изложенного, необходимые значения вероятностей  $P_1 - P_{21}$  определялись путем опроса ряда высококвалифицированных специалистов энергомеханических служб объединений и шахт. Полученные указанными выше способами вероятности состояний объекта оценки и их статистические характеристики приведены в таблице 2. Аналогичным образом определялись и условные вероятности событий  $P(S_A/S_B)$ .

На основании формул 1 ... 14 с использованием параметров, определенных ранее, указанными методами, возможно определить фактический уровень безопасности эксплуатируемых в настоящее время угольных шахт опасных по газу или пыли с учетом действий персонала, состояния оборудования и среды.

Таким образом, у нас оказались определенными численные значения вероятностей нормальной ( $P_H$ ), безаварийной ( $P_B$ ) работы и аварии ( $P_A$ ) угольных шахт. Здесь следует, вероятно, отметить, что относительно невысокое значение  $P_B = 8,36 \cdot 10^{-1}$  по сравнению с  $P_H = 1,13 \cdot 10^{-1}$  определяется, как это следует из опыта эксплуатации, не столько поддержанием оборудования в соответствующем состоянии, сколько локализацией аварийных ситуаций [1]. Очевидно излишним будет здесь отметить, что разработанная методология может быть применена также для решения аналогичных задач в металлургической, коксохимической, строительной и других отраслях промышленности, функционирование которых связано с действиями персонала значительной численности и различной квалификации, высокой насыщенностью потенциально опасных машин и механизмов, часть которых, по крайней мере, расположена в потенциально опасной среде.

Прежде, чем произвести сопоставление полученного значения  $P_A$  с расчетными значениями, определенными исходя из иного методического подхода, например, работы [13] или принятыми на основе соответствующих нормативных документов [16,17], для угольной шахты, отметим принципиальное различие предлагаемых методов.

Традиционные подходы, основанные на использовании марковских процессов [13], исходят из учета предельных значений вероятностей единичных взрывов на участке [16], пожаров [17] и электропоражений, принимаемых равными  $10^{-6}$  в год. При всей строгости и удобстве последующих расчетов такие подходы имеют определенные весьма существенные, на наш взгляд, недостатки, вытекающие из формализации процесса функционирования, например, системы подземного электроснабжения, в частности, высокого напряжения. Так, например, непосредственное увеличение числа единиц высоковольтного электрооборудования не всегда ведет к повышению опасности эксплуатации системы. В случае увеличения числа КРУ и протяженности кабельных линий при дополнительном резервировании или замене кольцевой схемы электроснабжения на радиальную, несмотря на возрастание количества составляющих ее элементов, происходит снижение вероятности взрывов и пожаров, в связи с чем радиальная схема и была рекомендована к внедрению в отрасли. При этом следует также иметь в виду, что традиционные методы оценки безопасности шахт, как правило, не позволяют четко установить и оценить причинно-следственные зависимости: ошибки персонала – плохая подготовка или болезнь, отказ оборудования - низкое качество его проектирования, изготовления или обслуживания и т.д. В связи с изложенным, полученные расчетные значения могут быть сопоставлены с нормируемыми, только для предварительной оценки конечных результатов. Так, например, при  $100 \div 200$  единицах оборудования или  $10 \div 20$  участках  $P_A$ , принимаемая в данном случае равной сумме предельных значений вероятностей взрыва  $P_B$ , пожара  $P_{II}$  и поражения  $P_{ЭП}$ , может быть приближенно определена по формуле:

$$P_A = P_B + P_{II} + P_{ЭП}, \quad (3)$$

соответствующим образом:

$$P_A = 10^{-6} (10 \div 20) + 10^{-6} (100 \div 200) + 10^{-6} = 1,11 \cdot 10^{-4} \dots 2,21 \cdot 10^{-4}$$

Полученное значение по порядку соответствует определенной предлагаемым методом  $P_A = 7,14 \cdot 10^{-4}$  [1], которая несколько выше, т.к. учитывает ряд нерассматриваемых ранее факторов, связанных с качеством эксплуатации оборудования, что дает возможность на новом уровне подойти к оценке фактического состояния эксплуатируемых шахт и разработать меры по снижению их аварийности. Здесь следует также отметить, что даже значение  $P_A = 7,14 \cdot 10^{-4}$  по всей только системе электроснабжения шахты в 2,4 раза превышает соответствующий уровень риска для несчастных случаев, связанных с автомобильным транспортом в США, который считается приемлемым для общества [2], что еще раз указывает на необходимость принятия соответствующих мер.

Обоснование критериев оценки безопасности всего производства в целом и, в частности, угольной шахты представляется весьма сложной проблемой, которая может

быть решена только с учетом реального состояния всех элементов шахты, опасной по газу или пыли. Наиболее подходящей предпосылкой для этого является анализ формулы 14, на основе которой определяется вероятность аварии.

С учетом изложенного, т.е. при современном техническом оснащении шахт, значения  $P_A$  уже сегодня должны не превышать  $10,81 \cdot 10^{-4}$  за год, и таким образом, число аварий при 144 шахтах в регионе не должно быть более

$$N_{\text{авар.}} = 144 \times 10,81 \cdot 10^{-4} = 0,156 \text{ 1/год,}$$

что существенно (примерно, на 1,5 порядка, ниже средней аварийности, имеющей место на шахтах Украины в настоящее время), а уровень риска в этом случае будет примерно достигать соответствующего значения для транспорта в странах дальнего зарубежья. Естественно, что такой уровень безопасности (даже его верхнее значение) является недостаточным для отрасли, в частности угольной, в связи с чем, должны приниматься меры для его эффективного повышения, причем в кратчайшие сроки.

Классические исследования технических систем различной степени сложности, в том числе и подземного электроснабжения угольных шахт опасных по газу или пыли – это, в основном, установление соответствующих зависимостей, причем монотонных, более или менее плавных. Такого рода изменения гораздо хуже поддаются анализу и предсказанию, в связи с чем различные науки (от физики до экономики) еще только накапливают аналитические средства для оценки таких скачкообразных явлений [19], носящих случайный характер. Здесь следует также, вероятно, отметить, что именно для эргатических систем с их характерными сложностями математической формализации при системном анализе [20] учет указанных изменений представляет особую сложность и до последнего времени практически не осуществлялся.

Однако, т.к. практика создания и эксплуатации все усложняющихся систем электроснабжения угольных шахт требует исключения, или, по крайней мере, существенного снижения вероятности резкого изменения их свойств, что чревато возникновением внезапных отказов и аварий с тяжелыми последствиями, требуется разработка или поиск соответствующего математического аппарата, позволяющего преодолеть существующие противоречия и решить поставленную проблему на количественной основе.

Расчеты выполнялись на основе статистических данных по аварийности и состоянию энергохозяйства (объем обслуживаемого оборудования, численность персонала, число зарегистрированных нарушений действующей нормативной документации, установленная мощность), полученных на шахтах Донецкой и Ворошиловградской областей, причем при расчетах, исходя из трудоемкости обслуживания, 5 км кабельной сети приравнивались к единице высоковольтного оборудования. Статистический подход, основанный на методах регрессионного анализа, разработанный для определения расположения бифуркационных линий множества катастрофы сборки на пространстве управления, базируется на реализации следующего алгоритма:

1. Выбираются входные факторы:

- приведенное число нарушений ( $x$ );
- приведенный объем обслуживания ( $y$ ).

2. Выбираются выходные факторы:

- приведенное к годовой добыче количество аварий (фактор 1);
- приведенное к годовой добыче количество аварийных ситуаций (фактор 2).

3. Осуществляется выбор точек, в которых наблюдается скачок катастрофы сборки, для чего сопоставляются координаты “ $z$ ” ближайших точек, отнесенные к расстояниям между их проекциями на плоскость  $XOY$ . Таким образом определяется правая бифуркационная линия.

4. Производится выбор точек, характеризующих левую бифуркационную линию как минимум роста функции относительно правого следа, для чего определяется минимум отношения координат “ $z$ ” катастрофы сборки к расстояниям между проекциями точек на плоскость  $XOY$ .

5. Методом наименьших квадратов осуществляется аппроксимация первого множества точек в виде линейной зависимости  $y = a_1x + v_1$ .

6. Аналогично (см. п. 5) обрабатывается второе множество точек в виде зависимости  $y = a_2x + v_2$ .

7. Находится точка пересечения ( $K$ ) этих двух аппроксимаций. Анализируются знаки координат точки пересечения. Если оба знака положительны (точка пересечения находится в квадранте эксперимента), то делается заключение, что экспериментальные данные охватывают всю теоретическую поверхность. При этом стандартные отклонения аппроксимаций являются оценкой вычислительных коэффициентов линейных зависимостей.

8. Если же точка пересечения не лежит в квадранте эксперимента, то уточняются ее координаты, а с ними и параметры бифуркационных линий. Для этого методом максимального правдоподобия осуществляется сглаживание трендов [23]. При этом также уточняется оценка  $\sigma$ . Указанные процедуры выполняются аналогично для обоих выходных факторов.

9. Различия между уравнениями соответствующих бифуркационных линий для обоих выходных факторов могут быть признаны несущественными при уровне значимости 0,95, если коэффициент для второго уравнения находится внутри доверительно-го интервала для коэффициента первого уравнения, и наоборот.

Выполняя анализ, был сделан вывод о том, что более эффективными представляются в данном случае методы, направленные на снижение числа нарушений обслуживающим и ремонтным персоналом соответствующей нормативно-технической документации и регламента обслуживания электрооборудования. Причем здесь же следует отметить, что предлагаемые рекомендации вполне реализуемы в реальных производственных условиях, т.к. требуют снижения числа нарушений при эксплуатации фактического объема оборудования не более, чем в 4-6 раз. Таким образом, непосредственное увеличение численности обслуживающего персонала, без осуществления кардинальных мероприятий по перестройке службы эксплуатации, не приведет к заметному снижению аварийности в системах подземного электроснабжения, для чего необходима коренная перестройка всего режима эксплуатации горношахтного электрооборудования.

#### **Библиографический список**

1. Мнухин А. Г. Оценка безопасности и работоспособности систем электроснабжения угольных шахт / А. Г. Мнухин // Безопасность труда в промышленности. – 1987. – №2. – С.26-29.
2. Хенли Э. Д. Надежность технических систем и оценка риска / Хенли Э. Д., Кумамото Х. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
3. Anatoly G. Mnykhin, Oleksander M. Bryukhanov. Optimization of coal mine parameters to provide safe operation. Komeko 2003. Technology at the service of environment. Volume II. 91-106 pp.
4. Мнухин А. Г. Методы оценки безопасности систем электроснабжения шахт как эргатического объекта «человек-машина-среда». Система «человек-машина-среда» в горном деле. Настоящее и будущее: тез докл. Всесоюз. науч-техн. конф. молодых ученых и специалистов угольной промышленности. – М, 1990.
5. Мнухин А. Г. Оптимизация обслуживания шахт, исходя из их аварийности / Мнухин А. Г., Брюханов А. М., Вовченко А. Р. // Науковий вісник НГАУ, 2002. – №1. – С. 83-86.
6. Зорин А.Н. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых / Зорин А.Н., Халимендик Ю.М., Колесников В.Г. – М.: Недра, 2001. – 412 с.
7. Система стандартов безопасности труда. Термины и определения: ГОСТ 12.0.002-80 ССБТ (СТ СЭВ 1084-78) Введ. 1982. – М. Изд-во стандартов, 1981.
8. Юрнев А.П. Аварии под водой / Юрнев А.П., Сахаров Б.Д., Сытин А.В. – Л.: Судостроение, 1981. – 144 с.



9. Безопасность космических полетов / Г.Т. Береговой, А.А. Тищенко, Г.П. Шибанов, В.И. Ярополов – М.: Машиностроение, 1977. – 264 с.
10. Ширяев А.Н. Вероятность / Ширяев А.Н. – К.: Наука, 1980. – 576 с.
11. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
12. Мнухин А.Г. Защита электрических сетей шахт от коммутационных перенапряжений / Мнухин А.Г., Коневский Б.И. – М.: Недра, 1987. – 143 с.
13. Ковалев П.Ф. Методика расчета взрывобезопасности электрифицированного участка угольной шахты / Ковалев П.Ф., Ковалев А.П., Сердюк Л.И. // Промышленная энергетика. – 1989. – №1. – С.25-32.
14. Конкрет У. Методы выборочного исследования / Конкрет У. – М.: Статистика, 1976. – 440 с.
15. Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдений / Тьюки Дж. – М.: Мир, 1981. – 695 с.
16. Взрывобезопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ – Введ. 1978. – М.: Изд-во стандартов, 1978.
17. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность: ГОСТ 12.1.004-85: Введ 1986 до 1991 – М.: Изд-во стандартов, 1985.
18. Инструкция по проектированию электроустановок угольных шахт, разрезов и обогатительных фабрик: ВСН 12.25.003-80/ Минуглепром СССР, 1981. – 99 с.
19. Постон Т. Теория катастроф и ее приложения / Постон Т., Стюарт И. – М.: Мир, 1980. – 608 с.
20. Гринь К.А. Воспламенение горючих материалов при повреждении шахтных кабелей высокого напряжения / К.А. Гринь // Техника безопасности в угольной промышленности. – М.: Госгортехиздат, 1963. – С. 200-201.
21. Zeeman E.C. Catastrophe Theory: Selected papers (1972-1977). – Addison -Wesley, Reading, Mass., 1977.
22. Мнухин А.Г. Планирование эксперимента при исследованиях коммутационных перенапряжений в электрических сетях/ Мнухин А.Г., Коневский Б.И. // Электричество. – 1984. – № 11. – С. 17-18.
23. Методы анализа данных. Перевод с француз. С.А. Айвазян, В.Д. Конаков, С.Ю. Адамов. Под ред. С.А. Айвазяна, В.М. Бухштабера – М.: Финансы и статистика, 1985. – 357 с.

*Надійшла до редакції 25.12.2015*

#### **Б.Б. Кобилянський**

Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут Української інженерно-педагогічної академії

#### **А. Г. Мнухін**

Запорізька державна інженерна академія

#### **ОЦІНКА ГАРНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ЕРГАТИЧНІЙ ОСНОВІ**

У роботі розглянуті виробничі комплекси, в тому числі і вся шахта, з позиції "людина-машина-середовище". Що дало можливість на підставі єдиної методології провести оцінку її безпечних властивостей з наступним нормуванням необхідних ймовірностей нормальною або безаварійною роботи всієї шахти в цілому з урахуванням дій обслуговуючого персоналу та впливу навколишнього середовища. Також була розроблена методологія оцінки можливої аварійності та виконані на її основі розрахунки, що забезпечують оптимальний вибір послідовності дій щодо її попередження.

**Ключові слова:** методи регресійного аналізу, аналіз безпеки, складні ергатичні системи.

**B. B. Kobilyansky**

Teaching and Research Professional Pedagogical Institute Ukrainian engineering and Pedagogical Academy

**A.G. Mnukhin**

Zaporozhye state engineering academy

#### ASSESSMENT OF MINING INDUSTRY ON THE BASIS OF ERGATIC

The paper discusses production facilities, including the whole shaft, from the perspective of "human-machine environment". What made it possible on the basis of a unified methodology to assess its safety features followed by a valuation required probability of normal or trouble-free operation throughout the mine as a whole taking into account the actions of the staff and the impact of the environment. There was also developed a methodology for evaluation of possible accidents and executed on the basis of its calculation, to ensure an optimal choice of sequences of actions to prevent it.

**Key words:** regression analysis methods, safety analysis, complex ergatic system.