

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНА ЕРГАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
ТИПА «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА-СРЕДА» ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ**

Б. Б. Кобылянский

Учебно-научный профессионально-педагогический институт Украинской инженерно-педагогической академии
ул. Носакова, 9а, г. Бахмут, Донецкая обл., 84510, Украина. E-mail: b.b.kobiliansky@gmail.com

А. Г. Мнухин

Запорожская государственная инженерная академия
просп. Соборный, 226, г. Запорожье, 69006, Украина. E-mail: anatoly.mnukhin@gmail.com

Предложена усовершенствованная модель оценки аварийных ситуаций и состояний шахты, опасной по газу или пыли на основе учета статистической неопределенности ситуативного анализа по фактору «среда», что характерно для угольных предприятий опасных по газу и пыли, а также склонных к газодинамическим явлениям. Разработана методология оценки возможной аварийности, на этой основе выполнены расчеты, обеспечивающие оптимальный выбор последовательности действий по ее предупреждению. Полученные теоретические выкладки, положенные в основу рекомендаций, удовлетворительно согласуются с данными безопасности, полученными на действующих шахтах различных регионов Украины статистическими методами. Установлено, что существенное увеличение численности обслуживающего персонала без осуществления кардинальных мер по перестройке службы оценки работы системы безопасности и внедрения инновационных систем мониторинга не приведет к существенному улучшению показателей травматизма. Поэтому необходима коренная перестройка всего режима эксплуатации угольных предприятий в условиях нестабильности среды в которой ведутся работы.

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

**УДОСКОНАЛЕНА ЕРГАТИЧНА СИСТЕМА
ТИПУ «ЛЮДИНА-МАШИНА-СЕРЕДОВИЩЕ» СТОСОВНО ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ**

Б. Б. Кобылянский

Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут Української інженерно-педагогічної академії
вул. Носакова, 9а, м. Бахмут, Донецька обл., 84510, Україна. E-mail: b.b.kobiliansky@gmail.com

А. Г. Мнухін

Запорізька державна інженерна академія
пр. Соборний, 226, м. Запоріжжя, 69006 Україна. E-mail: anatoly.mnukhin@gmail.com

Виробнича діяльність на вугільному підприємстві в системі «людина-машина» протікає в складних і мінливих умовах. Ситуація у вітчизняній вугільній галузі ускладнюється тим, що Україна має одні з найбільш важких в світі умов вуглевидобутку. Все це робить природний фактор в процесі вуглевидобутку превалюючим. Необхідний коректний облік при плануванні практично всіх зазначених процесів або навіть тільки їх складових в рамках реалізації гірничого виробництва. Тому вугільні шахти України повинні розглядатися з позиції «людина-машина-середовище», як ергатичні системи високого рівня. При аналізі стану охорони праці в гірничодобувній галузі слід враховувати велику кількість факторів, які залежать від ряду показників мають випадковий характер. Вони визначаються природними умовами, конструктивними особливостями машин і механізмів, людським фактором і т.д. Спроба такого уявлення виробничих комплексів шахти, з позиції вдосконаленої моделі людина-машина-середовище представлена в статті. За єдиною методикою проведено оцінку безпеки з подальшим нормуванням необхідних ймовірностей нормальної або безаварійної роботи підприємства з урахуванням дій обслуговуючого персоналу і впливу навколишнього середовища, основні параметри якої нестабільні. Обґрунтовано схема послідовності подій і станів шахти, небезпечної по газу або пилу. Розроблено методологію оцінки можливої аварійності, на цій основі виконані розрахунки, що забезпечують оптимальний вибір послідовності дій щодо її попередження. Запропонована методологія дозволяє підвищити безпеку роботи гірничого виробництва шляхом оптимального розташування наявних на конкретному підприємстві матеріально-технічних ресурсів. Отримані теоретичні викладки, покладені в основу рекомендацій, задовільно узгоджуються з даними безпеки, отриманими на діючих шахтах різних регіонів України статистичними методами. Встановлено, що істотне збільшення чисельності обслуговуючого персоналу без здійснення кардинальних заходів по перебудові служби оцінки роботи системи безпеки і впровадження інноваційних систем моніторингу не приведе до істотного поліпшення показників травматизму. Тому необхідна докорінна перебудова всього режиму експлуатації вугільних підприємств в умовах нестабільності середовища в якій ведуться роботи.

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

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Производственная деятельность на угольном предприятии в системе «человек-машина» протекает в сложных и непостоянных условиях. Ситуация в отечественной угольной отрасли осложняется тем, что Украина имеет одни из наиболее тяжелых в мире условий угледобычи. Эти условия связаны с:

- большой (с точки зрения угольных месторож-

дений) глубиной горных работ (500-1300 м);

- пластами небольшой мощности (0,6-2,2 м);

- высокой обводненностью (до 30 м³/час);

- большим газовыделением в горные выработки (абсолютная газообильность шахт до 200 м³/мин);

- наличием газодинамических явлений – внезапных выбросов, горных ударов, внезапным газовыделением.

Все это делает природный фактор в процессе угледобычи преобладающим. Необходим корректный учет при планировании практически всех указанных процессов или даже только их составляющих в рамках реализации горного производства.

Поэтому угольные шахты Украины должны рассматриваться с позиции «человек-машина-среда», т. е., как эргатические системы высокого уровня.

При анализе состояния охраны труда в горнодобывающей отрасли следует учитывать большое число факторов, которые зависят от ряда показателей имеющих случайный характер. Они определяются природными условиями, конструктивными особенностями машин и механизмов, человеческим фактором и т.п.

Целью работы является разработка усовершенствованной модели шахты опасной по газу и пыли, как эргатической системы типа человек-машина-среда, основные параметры которой нестабильны.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Известно [1], что как в Украине, так и за рубежом общественность не чрезмерно озабочена наличием риска от 10^{-6} в год и менее, поэтому редко применяются меры для его последующего снижения. Уровень индивидуального риска с фатальным исходом (за год) обусловлен разными видами опасностей и составляет [1]: Транспорт наземный -

$3 \cdot 10^{-4}$; Падение с высоты - $9 \cdot 10^{-5}$; Пожар или ожог - $4 \cdot 10^{-5}$; Утопление - $3 \cdot 10^{-5}$; Отравление - $2 \cdot 10^{-5}$; Механическое оборудование - $1 \cdot 10^{-5}$; Падающие предметы - $6 \cdot 10^{-6}$; Электрический ток - $6 \cdot 10^{-6}$; Железнодорожный транспорт - $4 \cdot 10^{-6}$; Молния - $5 \cdot 10^{-7}$; Ураган - $4 \cdot 10^{-7}$; Прочие факторы - $4 \cdot 10^{-5}$.

Полагая на основе предварительного анализа и отечественных стандартов допустимый уровень риска со смертельным исходом 10^{-6} за год, следует учесть, что риски, принимаемые на себя индивидуумом добровольно (например, при занятиях спортом), которые могут достигать $10^{-2} - 10^{-3}$ за год, не связаны с обеспечением безопасности на рабочем месте. Указанные подходы применимы для описания аналогичных ситуаций и в других отраслях промышленности, но структура, способствующая возникновению аварийной ситуации, здесь иная.

Рассмотрим, что связывает между собой все крупные аварии на угольных предприятиях, представив шахту как сложный объект типа человек-машина-среда. Исходные данные приведены в табл. 1, из которой следует, что большинство аварий сопряжены иногда с отравлением газом, но чаще с его взрывом или взрывом пылевоздушной смеси (шахта им. А. Ф. Засядько).

Таблица 1 – Анализ крупных аварий на угольных предприятиях Украины

Показатель	Шахта, дата аварии				
	им. Н.П. Баракова, 11.03.00 г.	«Красноармейская-Западная» № 1, 14.02.02 г.	«Украина», 07.07.02 г.	«Юбилейная», 21.07.02 г.	им. А.Ф. Засядько, 31.07.02 г.
Источник воспламенения	Горящее масло и алюминиевый корпус редуктора давления	Поврежденный сигнальный кабель напряжением 36 В	Горящая транспортерная лента при ее трении о барабан в процессе разрушения	Короткое замыкание в коробке ввода электродвигателя напряжением 660 В при нарушении взрывозащиты	Взрывные работы, выполняемые с нарушениями
Характер аварии	Взрыв пыли, поднятой кислородом высокого давления	Взрыв газа	Отравление газом	Взрыв газа	Взрыв газа
Отличительные особенности аварии	Нарушение правил ведения огневых работ. Аварийное состояние сварочной техники (неисправность редуктора баллона с кислородом)	Неудовлетворительное состояние электрооборудования. Наличие внезапных выбросов и, как следствие, мест скопления взрывоопасной газовой смеси	Ошибочное решение о порядке реверсирования воздушной струи и выводе людей по наклонному квершлагу. Отсутствие контроля за состоянием транспортеров. Значительный дефицит противопожарной техники	Нарушения правил монтажа и обслуживания электрооборудования (нет фиксации кабелей и уплотнений), недостаточный газовый контроль. Наличие слоевых скоплений метана и его зонловушек	Нарушение Правил ведения взрывных работ (взрывчатые вещества IV класса вместо V и VI, уменьшенное количество детонаторов, применение накладных зарядов). Наличие местных скоплений метана

Данные исследования авторов свидетельствуют, что процесс аварии достаточно крупного масштаба состоит, как правило, из двух частей: человек–машина или машина–среда. Причем человеческий фактор в прямом или косвенном виде присутствует практически во всех случаях. Поскольку второй по значимости фактор – оборудование, то из изложенного вытекает, что в настоящее время имеются пути снижения аварийности на шахтах, в том числе опасных по выбросам газа или пыли, путем целенаправленной подготовки персонала и обеспечения работоспособного состояния горношахтного оборудования.

Попытки оценить безопасность в шахте предпринимались, в частности, применительно к системам подземного электроснабжения [2, 3], горношахтного оборудования методом планирования режима обслуживания [4], а также состояния горного массива, т. е. непосредственно окружающей среды [5]. Именно эти работы послужили основой нового научного направления, которое позволило установить численное взаимоотношение как между составляющими частями угольной шахты, опасной по выбросам газа или пыли, так и эргатического объекта типа человек–машина–среда.

Согласно исследованиям [6, 7] угольную шахту с учетом взаимодействия обслуживающего персонала, оборудования и среды будем рассматривать как эргатическую систему человек–машина–среда. Нормальное функционирование данной системы определяется взаимодействием персонала, оборудования и среды, которые характеризуются соответственно работоспособностью, исправностью и оптимальностью. В зависимости от поддержания на должном уровне указанных параметров в системе будет осуществляться работа нормальная, безаварийная или аварийная. Рассмотрим пути, которые приводят к каждому конкретному условию эксплуатации, предварительно установив различные состояния персонала, электрооборудования и среды (табл. 2).

Нормальную работу предприятия определим как работу на исправном, правильно выбранном оборудовании, расположенном в нормальной среде, при отсутствии ошибок обслуживающего персонала. Локальные и функциональные ошибки в этих условиях не нарушают налаженной шахты в целом.

Безаварийная работа наблюдается как при ошибках или физиологическом отказе персонала, так и в случае возникновения опасной или даже экстремальной среды. Эти воздействия приводят к отказу оборудования или исходному аварийному событию и далее – к аварийной ситуации. Если дефекты незначительны или сопровождаются регулярным ремонтом оборудования, своевременной локализацией или ликвидацией аварийной ситуации, шахта приводится в достаточно стабильное безопасное состояние.

Подходы, основанные на представлении шахты как эргатической системы типа «персонал–оборудование–среда» предлагались и ранее [8, 9]. Однако, в известных системах параметр среды мог находиться в трех состояниях: «нормальная», «опасная», «экстремальная». Как было указано ранее для угольных шахт, отрабатывающих пласты опасные по

газу и пыли, а также склонные к газодинамическим явлениям параметр среды является определяющим при возникновении крупных аварий, пожаров и отравлений. При этом природа внезапного выделения метана, которое приводит к вспышкам газа, пожарам и отравлениям до конца не изучена. На угольных предприятиях функционируют системы защиты, основанные на отключении электричества с потенциально опасного участка при фиксировании концентраций метана выше установленной Правилами безопасности нормы. Следует отметить, что эти нормы 1,3% содержания метана при наличии системы автоматической защиты типа АГЗ, или 1% при ее отсутствии в 3,8-5 раз меньше нижнего предела взрываемости метана. Однако, несмотря на это, ежегодно фиксируются вспышки метана, взрывы и пожары вследствие внезапного повышения концентрации газа. Примерами могут быть случай пожара вследствие вспышки метано-воздушной среды 22.01.2018 и взрыв метановоздушной смеси 16.04.2018г. на ш/у Покровское, которое является одним из ведущих предприятий Украины с лучшими показателями безопасности работ. Аналогичная ситуация с газодинамическими явлениями, примерами чего есть неоднократные аварии на ш. им. Засядько, им. Скочинского и т.п. в которых проводились все регламентированные нормативами противовыбросные мероприятия и велись прогнозные работы. Таким образом, переход среды из нормального состояния в опасное и экстремальное в ряде случаев происходит практически мгновенно, настолько быстро, что системы защиты не успевают среагировать. Таким образом, отнести потенциально опасные участки угольной шахты к нормальной среде, строго говоря, невозможно. Эти участки можно и следует характеризовать параметром «нестабильная» среда. Ее характеристики не являются постоянными, а могут изменяться во времени случайным (пока не изученным) образом. С учетом вышеизложенного предложено рассматривать угольную шахту, опасную по газу и пыли, как усовершенствованную эргатическую систему, представленную на рис. 1. Такой подход является более точным при учете естественной нестабильности среды.

Анализируя поведение шахты в реальных условиях, исходя из технических соображений и действующих норм, приходим к выводу о независимости рассматриваемых событий, которые образуют множество, определяющее конкретную ситуацию. Обозначив через P_i вероятности i -го события, запишем [1]:

$$\begin{aligned} P_1 + P_2 + P_7 &= 1 \\ P_3 + P_4 + P_5 &= 1 \\ P_8 + P_9 &= 1 \\ P_{10} + P_{11} &= 1 \\ P_{12} + P_{13} &= 1 \\ P_{15} + P_{16} + P_{17} &= 1 \\ P_{18} + P_{19} + P_{20} + P_{21} &= 1 \end{aligned} \quad (1)$$

Отсюда же следует, что $P_n + P_6 + P_a = 1$, или

$$\begin{aligned} P_n^1 + P_n^2 + P_n^3 + P_n^4 + P_6^1 + P_6^2 + P_6^3 + \\ + P_6^4 + P_6^5 + P_6^6 + P_a = 1. \end{aligned} \quad (2)$$

Таблица 2 – Элементы событий и состояний шахты

Элемент схемы состояний	Определение состояния	Пример состояния
P_1	Болезнь, алкогольное опьянение, акцентуированная личность	Невроз, сердечно-сосудистые заболевания
P_2	Эмоциональный стресс, клаустрофобия, неправильная профорентация, психологическая несовместимость	Психологическая неуравновешенность
P_3	Ошибка, которая не приводит к каким-либо отрицательным последствиям	Попытка включения заблокированного механизма, нарушение блокировки
P_4	Ошибка, приводящая к изменению технологического процесса, восстанавливаемому после ее устранения	Ошибочное отключение, ошибочное изменение состояния механизма
P_5	Ошибка как причина возникновения особых условий эксплуатации или отказа оборудования	Подача напряжения на закороченную или поврежденную линию, на человека
P_6	Доведение состояния персонала до нормального	Оказание медицинской помощи персоналу или его замена
P_7	Работа персонала в строгом соответствии с действующими нормами, правилами и инструкциями	Отсутствие замечаний инспекции
P_8	Параметры оборудования соответствуют оговоренным в технических условиях и другой нормативной документации	Отклонение не критично
P_9	Параметры оборудования имеют некоторое отклонение (качественное) от оговоренных в технических условиях и другой нормативной документации	Ослабление крепления элементов оборудования, ухудшение электрической изоляции
P_{10}	Нарушение параметров оборудования, усложняющее условия его эксплуатации	Взаимное смещение элементов выключателя (коромысла и контактов), отсутствие на корпусе крепежных болтов
P_{11}	Недопустимое изменение параметров оборудования, вызывающее особые условия эксплуатации	Отказ выключателя с неполнофазной коммутацией, нарушение вакуума в камерах
P_{12}	Нарушение режима работы	Неполнофазный режим, повышенная загазованность
P_{13}	Комплекс работ для приведения оборудования в исправное работоспособное состояние	Фиксация или замена элементов оборудования, дополнительная вентиляция
P_{14}	Нарушение параметров оборудования, что влечет за собой чрезвычайные условия эксплуатации	Неравномерная нагрузка, перегрев механизма
P_{15}	Уменьшение количества оборудования, находящегося в чрезвычайных условиях эксплуатации	Выведение из работы поврежденного механизма или заболевшего работника
P_{16}	Состояние, не допускающее восстановление параметров или сужения круга поврежденных элементов	Взрыв, пожар, обрушение
P_{17}	Полное исключение из работы оборудования, находящегося в чрезвычайных условиях эксплуатации	Переход на питание от другого ввода, замена поврежденного оборудования
P_{18}	Среда, обеспечивающая оптимальную работоспособность персонала, параметры которой не выходят за пределы требований к нормативам	Параметры среды соответствуют регламентируемым нормативнотехнической документацией
P_{19}	Среда, основные параметры которой нестабильны	Параметры среды с переменным характером
P_{20}	Среда, способствующая уменьшению работоспособности персонала и вызывающая его функциональные изменения, выходящие за пределы нормы, но не ведущие к патологическим нарушениям, а также снижающая технические характеристики эксплуатируемого оборудования	Поддув почвы, загазирование с концентрацией метана до 2 %, умеренное увеличение водопритока в выработку
P_{21}	Среда, вызывающая возникновение в организме человека патологические изменения и (или) невозможность выполнения работ. Среда, нарушающая целостность оборудования и (или) препятствующая выполнению им своих функций	Горный удар, загазирование выработки метаном концентрацией более 2 %, недостаток кислорода, выделение опасных газов (H_2S , CO), высокая температура среды, сильное увеличение водопритока в выработку

На основании рис. 1, используя логико-вероятностный подход [9] и аппарат условных вероятностей [10], обозначим через $P(S_A/S_B)$ вероятность наступления событий A при условии, что событие B наступило, а логическое умножение (конъюнкцию) как \wedge , запишем:

$$P_H^1 = P_7 \quad (3)$$

$$P_H^2 = P_2 * P(S_3/S_2) \quad (4)$$

$$P_H^3 = \{ [P_2 * P(S_5/S_2) + P_9 + P_{19} + P_{20} - P(S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19})] [P(S_{10}/S_9) + P(S_{11}/S_9) - P(S_{10} \wedge S_{11})] * P(S_{13}/S_{10} \wedge S_{11}) \} \quad (9)$$

$$P_H^4 = [P_2 * P(S_5/S_2) + P_9 + P_{19} + P_{20} - P(S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19} \wedge S_{20})] * P(S_{11}/S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19}) \quad (10)$$

$$P_H^5 = \{ \{ [P_2 * P(S_5/S_2) + P_9 + P_{19} + P_{20} - P(S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19} \wedge S_{20})] * P(S_{11}/S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19} \wedge S_{20}) + P_1 - P(S_1 \wedge S_{11}/S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19}) \} * P(S_{12}/S_{11}/S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19}) + P_{20} + P_{21} - P(S_1 \wedge S_{20} \wedge S_{12}/S_{11}/S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19} \wedge S_{20}) * P(S_{14}/S_{12} \wedge S_{21}) * P(S_{15}/S_{14}) \} \quad (11)$$

Сопоставляя формулы (10) и (11), делаем заключение о возможности последующего упрощения и записи P_H^5 , P_H^6 и P_a через P_H^4 . Тогда

$$P_H^5 = \{ [P_H^4 + P_1 - P(S_1 \wedge S_{11}/S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19} \wedge S_{20})] * P(S_{12}/S_{11}/S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19} \wedge S_{20}) + P_{21} - P(S_1 \wedge S_{20} \wedge S_{12}/S_{11}/S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19} \wedge S_{20}) * P(S_{14}/S_{12} \wedge S_{21}) * P(S_{17}/S_{14}) \} \quad (12)$$

$$P_H^6 = \{ [P_H^4 + P_1 - P(S_1 \wedge S_{11}/S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19} \wedge S_{20})] * P(S_{12}/S_{11}/S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19} \wedge S_{20}) + P_{21} - P(S_1 \wedge S_{20} \wedge S_{12}/S_{11}/S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19} \wedge S_{20}) * P(S_{14}/S_{12} \wedge S_{20}) * P(S_{12}/S_{14}) \} \quad (13)$$

$$P_a = \{ [P_H^4 + P_1 - P(S_1 \wedge S_{11}/S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19} \wedge S_{20})] * P(S_{12}/S_{11}/S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19} \wedge S_{20}) + P_{21} - P(S_1 \wedge S_{20}/S_{11}/S_5 \wedge S_9 \wedge S_{19} \wedge S_{20}) * P(S_{14}/S_{12} \wedge S_{21}) * P(S_{16}/S_{14}) \} \quad (14)$$

Исходя из результатов обследования состояния оборудования и обслуживающего персонала, а также анализа среды (горно-геологических условий) на конкретном предприятии определяют указанные вероятности соответствующих реальному состоянию оборудования при эксплуатации и прогнозируют поведение шахты как эргатической системы.

Именно рассмотрение любых производственных комплексов с позиции человек–машина–среда дает возможность на базе единой методологии оценить безопасные условия труда в шахте с последующим нормированием требуемых вероятностей нормальной или безаварийной работы с учетом действий обслуживающего персонала и влияния окружающей среды.

Анализ показал, что в отрасли не охвачена статистикой большая часть факторов, подлежащих анализу, например виды ошибок персонала, а данные по другим факторам (состояние персонала, оборудо-

дование), имеют явно недостоверный характер. Поэтому наиболее целесообразно определять основные параметры, характеризующие работу шахты, опасной по газу или пыли, используя методы экспертных оценок [11], позволяющие при достаточно широком (до 90 % угольных предприятий Украины) и компетентном круге опрашиваемых специалистов (технические директора и специалисты по безопасности работ) корректно решить указанные проблемы.

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

Уравнение регрессии, выходным фактором которого является P_a , построенное методами, изложенными в работах [12, 13], имеет вид

$$P_a = 0,102 - 0,25P_1 - 0,0003P_3 + 0,237P_4 + 0,0003P_8 - 0,198P_{10} + 0,052P_{13} + 0,146P_{14} - 0,121P_{21}. \quad (15)$$

Критерий Фишера полученного уравнения составляет 13406,7, что значительно больше предельного значения, равного 5,32. Используя для анализа значения T -критериев Стьюдента, для каждого члена уравнения определяем устойчивость регрессионных коэффициентов, корректируя уравнение (15). Низкие значения T -критериев Стьюдента для коэф-

фициентов a_2 и a_4 (факторы P_3 и P_8 соответственно) совпадают с практически незначимыми по абсолютным значениям этих же коэффициентов ($\pm 0,0003$). В связи с этим факторы P_3 и P_8 можно вывести из регрессионного уравнения, которое после корректировки имеет вид

$$P_a = 0,102 - 0,25P_1 + 0,24P_4 - 0,2P_{10} + 0,05P_{13} + 0,15P_{14} - 0,12P_{21}. \quad (16)$$

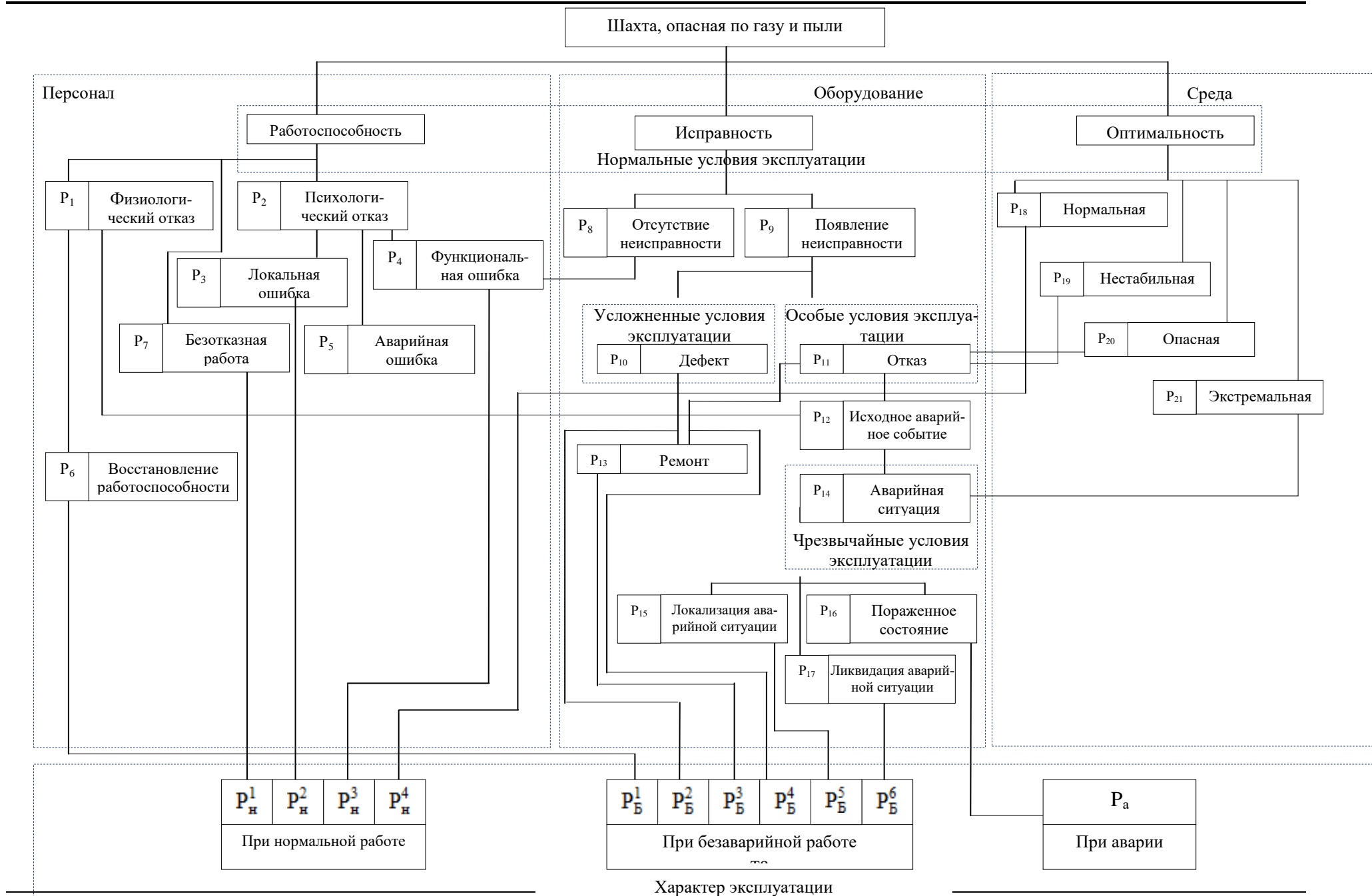


Рисунок 1 – Схема последовательности событий и состояний шахты, опасной по газу или пыли

ВЫВОДЫ. Исходя из результатов обследования состояния оборудования и обслуживающего персонала, а также анализа среды (горно-геологических условий) на конкретном предприятии определяют указанные вероятности соответствующих реальному состоянию оборудования при эксплуатации и прогнозируют поведение шахты как эргатической системы. Именно рассмотрение любых производственных эргатических комплексов с позиции усовершенствованной эргатической системы человек–машина–среда дает возможность на базе единой методологии оценить безопасные условия труда в шахте с последующим нормированием требуемых вероятностей нормальной или безаварийной работы с учетом действий обслуживающего персонала и влияния окружающей среды.

Разработанную методологию можно применить для решения аналогичных задач в металлургической, коксохимической, строительной и других смежных отраслях промышленности, функционирование которых связано с действиями персонала значительной численности и разной квалификации, высокой насыщенностью потенциально опасных машин и механизмов, часть которых расположена в потенциально опасной среде.

ЛИТЕРАТУРА

- Хенли Э.Д., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. Москва: Машиностроение, 1984. 528 с.
- Mnykhin A., Bryukhanov O. Optimization of coal mine parameters to provide safe operation. Technology at the service of environment. Komeko, 2003. Vol. II. P. 91–106.
- Мнухин А.Г., Брюханов А.М., Иорданов И.В. и др. Технологии XXI века. Электрогидравлика. Макеевка-Донецк: ВИК, 2012. Том 1. 432 с.
- Мнухин А.Г., Брюханов А.М., Вовченко А.Р. Оптимизация обслуживания шахт, исходя из их аварийности. Наук. вісн. НГАУ. 2002. № 1. С. 83–86.
- Зорин А.Н., Халимендик Ю.М., Колесников В.Г. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых. Москва: Недра, 2001. 412 с.
- ОХОРОНА ПРАЦІ. Терміни та визначення основних понять:– [Чинний від 01.05.2015.] Вид. офіц. Київ: Мінекономрозвитку України. 2015.
- Юрнев А.П., Сахаров Б.Д., Сытин А.В. Аварии под водой. Л.: Судостроение, 1981. 144 с.
- Кобылянский Б.Б., Мнухин А.Г. Оценка горного производства на эргатической основе. Вісті Донецького гірничого інституту. 2015. №1(36)-2(37), С. 83–92.
- Мнухин А.Г. Технологии XXI века. Макеевка-Донецк: ВИК, Том 2. 2012. 224 с.
- Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. Москва: Статистика, 1980. 263 с.
- Гринь К.А. Воспламенение горючих материалов при повреждении шахтных кабелей высокого напряжения. Техника безопасности в угольной пром-ти. Москва: Госгортехиздат, 1963. С. 200–201.
- Мнухин А.Г. и др. Оптимизация параметров угольных шахт для обеспечения безопасной работы. Уголь Украины. 2004. № 5. С. 31–37.
- Горский В.Г. Об оценке рисков в сфере технического регулирования. Москва. 2003. – 12 с.

IMPROVED ERGOTIC SYSTEM OF "MAN-MACHINE-ENVIRONMENT" TYPE APPLYING TO A COAL MINE

B. Kobylanskyi

Educational Scientific Professional Pedagogical Institute of the Ukrainian Engineering Pedagogics Academy
vul. Nosakova, 9a, Bahmut, Donetsk region, 8451, Ukraine. E-mail: b.b.kobiliansky@gmail.com

A. Mnukhin

Zaporizhzhia state engineering academy
prosp. Soborny, 226, Zaporizhzhia, 69006, Ukraine. E-mail: anatoly.mnukhin@gmail.com

Purpose. Production activity at the coal enterprise in Ukraine takes place in difficult and unstable conditions, one of the most difficult in the world. At the same time, the natural factor in coal mining is the predominant cause of traumatism. Therefore coal mines in Ukraine should be considered from the position of "man-machine-environment", i.e., as ergatic systems of a high level. **Methodology.** An attempt to present such a representation of mine production facilities from the perspective of the improved human-machine-environment model is presented in the article. According to a uniform methodology a safety assessment was carried out followed by a normalization of the required probabilities of normal or accident-free operation of the enterprise taking into account the actions of the maintenance personnel and the influence of the environment, the main parameters of which are unstable. The scheme of a sequence of events and conditions of a mine that is dangerous on gas or dust is grounded. A methodology for estimating a possible accident rate has been developed, and calculations have been made on this basis in order to ensure the optimal choice of the sequence of actions to prevent it. The proposed methodology makes it possible to increase the safety of mining operations through the optimal location of the material and technical resources available at a particular enterprise. **Originality.** In the work for the first time proposed an improved model for assessing emergencies and conditions of a mine dangerous for gas or dust based on the statistical uncertainty of situational analysis by the factor "environment" that is typical for coal enterprises that are dangerous for gas and dust, and also inclined to gas dynamic phenomena. **Practical value** of the results obtained is to increase the reliability of statistical estimates of emergency situations in a coal mine dangerous for gas or dust based on the use of an integrated model based on the positions of parametric statistics. **Conclusions.** The obtained theoretical calculations which are the basis for the recommendations meet the requirements of the safety data obtained at operating mines of different regions of Ukraine by statistical methods. It was established that a significant increase in the number of service personnel without implementing cardinal measures to restructure the service of as-

sessing the performance of the security system and the introduction of innovative monitoring systems would not lead to a significant improvement in traumatism rates. Therefore, a significant restructuring of the whole operating regime of the coal enterprises is necessary in the instable conditions of the environment in which the work is carried out. References 13, tables 2, figures 1.

Key words: regression analysis methods, safety analysis, complex ergatic systems.

REFERENCES

1. Henli, E.D., Kumamoto, H. (1984) *Nadezhnost tehnikeskikh sistem i otsenka riska* [Reliability of technical systems and risk assessment], Mashinostroenie, Moscow, Russia.
2. Mnykhin, A., Bryukhanov, O. (2003) Optimization of coal mine parameters to provide safe operation. Technology at the service of environment. *Komeko*, Vol. II, pp. 91–106.
3. Mnykhin, A., Bryukhanov, O., Iordanov, I., and others (2012) *Tehnologii XXI veka. Elektrogidravlika. Tom 1* [Technologies of the 21st century. Electrohydraulics. Volume 1], VIK, Makeevka-Donetsk, Ukraine.
4. Mnykhin, A., Bryukhanov, O., Vovchenko, A. (2002) “Optimization mines maintenance, proceeding from their failure rate” *Nauk. visn. NGAU*, no. 1, pp. 83–86.
5. Zorin, A.N., Halimendik, Yu.M., Kolesnikov, V.G. (2001) *Mehanika razrusheniya gornogo massiva i ispolzovanie ego energii pri dobyiche poleznykh iskopaemykh* [Mechanics of destruction of a rock massif and use of its energy during mining operations] Nedra, Moscow, Russia.
6. OHORONA PRATSI. *Termini ta viznachennya osnovnih ponyat* [LABOR PROTECTION. Terms and definitions of key concepts: effective from 05/01/2015], MInekonomrosvitku Ukrainy, Kyiv, Ukraine.
7. Yurnev, A., Saharov, B., Syitin, A. (1981) *Avarii pod vodoy* [Accidents under water] Sudostroenie, Leningrad, Russia.
8. Kobilyanskiy, B.B., Mnykhin, A.G. (2015) “Assessment of mining on an ergatic basis”, *Visti Donetskogo hirnichogo institutu*, no. 1(36)-2(37), pp. 83 – 92.
9. Mnykhin, A. (2012) *Tehnologii XXI veka. Tom 2* [Technologies of the 21st century. Volume 2], VIK, Makeevka-Donetsk, Ukraine.
10. Beshelev, S.D., Gurchich, F.G. (1980) *Matematiko-statisticheskie metody ekspertnykh otsenok* [Mathematical and statistical methods of expert evaluations], Statistika, Moscow, Russia.
11. Grin, K.A. (1963) *Vosplamnenie goryuchih materialov pri povrezhdenii shahtnykh kabeley vyisokogo napryazheniya. Tehnika bezopasnosti v ugolnoy promyshlennosti* [Ignition of combustible materials in the event of damage to high voltage shaft cables. Safety in the coal industry.] Gosgortehizdat, Moscow, Russia.
12. Mnykhin, A. and others (2004) “Optimizing the parameters of coal mines to ensure safe operation” *Ugol Ukrainy*, no. 5, pp. 31–37.
13. Gorskiy, V.G. (2003) *Ob otsenke riskov v sfere tehnikeskogo regulirovaniya* [On the assessment of risks in the field of technical regulation] Moscow, Russia.

Стаття надійшла 23.04.2018.