

pore spaces caused by deposition of coarse particles of coal dust between the fibers, breathing resistance increase and additional dust inflow through shutter contact line.

Practical value. Authors have determined main causes of the respirator protective efficiency degradation in the production environment of coal mines.

Keywords: *dust respirator, differential pressure, breathing resistance, dust content, size-consist of coal dust*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.М. Кузьменком. Дата надходження рукопису 23.05.13.

УДК 622.232.72.001.57:658.386

**В.Г. Шевченко, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,
М.С. Зайцев**

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова
Национальной академии наук Украины, г. Днепропетровск,
Украина, e-mail: V.Shevchenko@nas.gov.ua

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УСТРОЙСТВ ПОЛУЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

**V.G. Shevchenko, Senior Research Fellow,
M.S. Zaitsev**

N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National
Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk,
Ukraine, e-mail: V.Shevchenko@nas.gov.ua

SIMULATION OF SAFE WORKING CONDITIONS WHEN USING THE DEVICE OBTAINING MORE INFORMATION ABOUT MINING OBJECTS

Цель. Разработка математической модели безопасных условий труда при использовании устройств получения дополнительной информации и установление закономерностей изменения показателей эффективности работы системы „человек–техника–технология“ для повышения безопасности труда на горных предприятиях.

Методы. Теории информации, теории надежности, методы системного, математического анализа, математическое моделирование безопасных условий труда.

Результаты. Разработан способ и устройство оперативного контроля состояния выработок шахт и технических средств. Разработано индивидуальное устройство для контроля условий труда и получения видеoinформации для работников урановых шахт, обеспечивающее оперативный контроль и получение видеoinформации на информационный комплекс прогнозирования событий с использованием наложенной виртуальной реальности, обеспечивающий управление технологическими процессами и самими горнорабочими. Разработан алгоритм моделирования системы „человек–техника–технология“ в условиях горнодобывающих предприятий, учитывающий влияние психофизических параметров горнорабочего, интегрального уровня его информированности, качественных характеристик и количества поступающей к нему информации на безопасность и производительность системы. Показано, что производительность системы уменьшается в логарифмической зависимости с увеличением количества передаваемой машинисту информации, увеличивается в логарифмической зависимости от параметра, характеризующего навыки, опыт, квалификацию, и линейно возрастает с увеличением ресурса времени реализации решения и показателя уровня достоверности информации.

Научная новизна. Впервые установлены закономерности изменения безопасности и производительности системы от психофизических параметров горнорабочего, качественных характеристик информации и ее количества.

Практическая значимость. Разработаны способы и устройства получения дополнительной информации о горнотехнических объектах: способ оперативного визуального контроля над состоянием выработок и технических средств на шахтах, индивидуальное устройство для контроля условий труда и получения видеoinформации и информационный комплекс прогнозирования событий с использованием наложенной виртуальной реальности.

Ключевые слова: *безопасные условия труда, способы и устройства получения дополнительной информации, горнотехнические объекты, моделирование, закономерности*

Постановка проблемы и ее связь с важными научными или практическими заданиями. Потребность в совершенствовании научно-прикладных

методов исследования процессов функционирования сложной технологической системы „человек–техника–технология“ в условиях горнодобывающих предприятий обуславливает необходимость разработки средств и устройств, позволяющих получать наиболее полную, достоверную и своевременную

информацию о состоянии горнотехнических объектов, что имеет важное значение для повышения безопасности труда горнорабочих.

Анализ последних исследований и публикаций. Актуальность разработки способов бесконтактных оптоэлектронных устройств и средств измерения геометрических параметров объектов продиктована постоянным совершенствованием методов метрологии, предусматривающих измерение линейных и угловых величин, расчет соотношений между ними, измерение формы объектов и взаимного их расположения. Развитие оптических, оптоэлектронных, лазеросканирующих, мультискановых, телевизионных и видеосканирующих систем выводит на новый уровень решение задач получения дополнительной информации о состоянии горнотехнических объектов [1–3]. В Институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины проводятся работы по разработке методов и оборудования для видеоконтроля состояния внутренней поверхности скважин, устройств и информационных комплексов для использования в системе контроля производственного процесса на шахтах [4].

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Задача моделирования безопасных условий труда при использовании устройств получения дополнительной информации и установления закономерностей изменения показателей безопасности и производительности работы системы „человек–техника–технология“ от количества, полноты, достоверности и своевременности поступающей информации до настоящего времени не решена.

Формулировка цели статьи (постановка задания). Целью статьи является разработка математической модели безопасных условий труда при использовании устройств получения дополнительной информации и установление закономерностей изменения показателей производительности системы „человек–техника–технология“ для повышения безопасности труда на горных предприятиях.

Изложение основного материала исследования. На основании накопленного опыта работ авторами предлагается решение задачи повышения достоверности и оперативности получения информации посредством применения способа и устройства оперативного контроля состояния горного массива, выработок и технических средств на шахтах. Устройство оперативного контроля состояния горнотехнических объектов включает: микрокомпьютер, обеспечивающий связь между отдельными блоками устройства, удобный интерфейс, оперативное ведение базы данных контролируемых объектов; блок видеорегистратора, имеющего собственную систему накопления видеоинформации, способную в требуемое время и в нужном качестве вести запись, включающий регулируемые сменные объективы для обеспечения различного фокусного расстояния (угла захвата изображения или диагонального угла зрения); блок проектора; блок дальномера; блок питания, обеспечивающий непрерывную работу в течение требуемого времени (рис. 1).

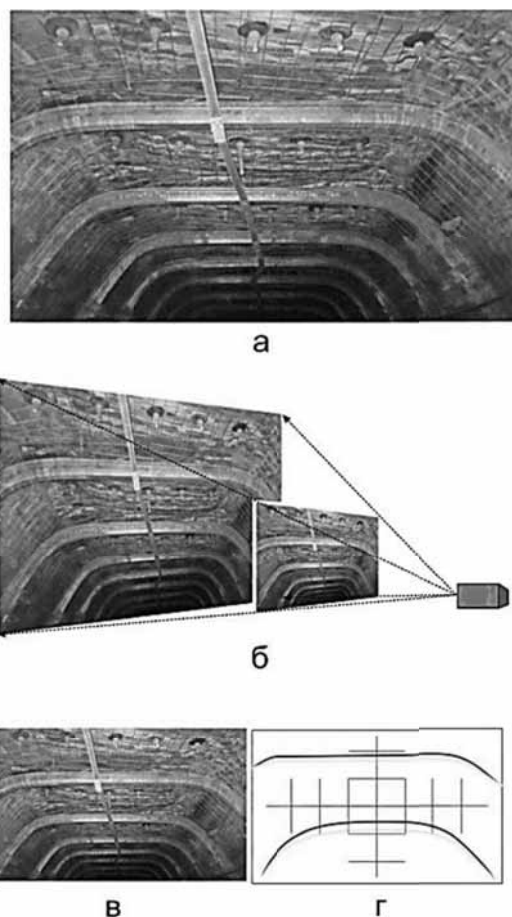


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая принцип работы устройства контроля условий труда и получения видеоинформации: а – видеофиксация деформации крепи выработки; б – проецирование на текущее состояние состояния крепи до ее деформации; в, г – видеофиксация деформации (в) с графической интерпретацией нормального и нарушенного состояния крепи (г)

Разработано индивидуальное устройство для контроля условий труда и получения видеоинформации для работников урановых шахт, обеспечивающее оперативный контроль горнорабочими и получение ими видеоинформации на информационный комплекс прогнозирования событий с использованием наложенной виртуальной реальности, при помощи которого обеспечивается управление технологическими процессами и руководство горнорабочими. С помощью устройства обеспечивается сбор видеоданных о состоянии выработок, механизмов и машин, технологических процессов, руководство горнорабочими осуществляется с использованием средств контроля условий труда и получения видеоинформации. В его состав входят: устройство вывода визуализированной информации с наложенной реальностью; видеокамера, обеспечивающая захват изображения и его оцифровку; аудиокомплекс – микрофон-динамик с соответствующими аналоговыми преобразователями; устройства бесперебойного питания (рис. 2).



Рис. 2. Общая схема комплекса прогнозирования событий с использованием наложенной виртуальной реальности: КЦ (концентратор) + сервер + БД (база данных)+ЛВС (локальная вычислительная сеть)

Индивидуальное устройство положено в основу информационного комплекса прогнозирования событий с использованием наложенной виртуальной реальности для урановых шахт. Комплекс помогает установить изменения в форме выработок, зафиксировать, в случае аварийной ситуации, проявления динамических горных явлений. Комплекс позволяет фиксировать и проводить анализ не только состояния выработок, но и контролировать состояние и работу систем и механизмов шахты, состояние трубо- и газопроводов, а также важных элементов технологического процесса. Комплексом предусмотрена автоматизированная передача на проектор дополнительной реальности текстовой и/или видеoinформации для горнорабочего о плане ликвидации аварий, инструкции по ремонту оборудования, данных из библиотек ранее выполненных похожих задач/решений, план профилактических мероприятий, включая методы диагностики, и т.п. В случае аварийной ситуации горнорабочему передается информация в виде четких инструкций, направленных на предотвращение аварийной ситуации и возможных неверных действий.

Устройство контроля состояния и определения линейных размеров, углов объектов и расчета сложных поверхностей в выработке состоит из видеорегистратора, имеющего собственную систему накопления видеoinформации, регулируемых сменных объектов для обеспечения различного фокусного расстояния (угла захвата изображения или диагонального угла зрения), лазерного проектора, двухкоординатного динамического автоколлиматора, обеспечивающего получение симметричного рисунка с требуемой

точностью, таймера периодического кратковременного включения-выключения в случаях, когда не следует отвлекать видимой проекцией работающий персонал, подсветки для съемки в безлюдных зонах. Устройство реализует способ регистрации при помощи проектора-дальномера-видеорегистратора, обеспечивает постоянный контроль состояния и определение линейных размеров, углов объектов и расчет сложных поверхностей в выработке на расстояниях от 2–3 до 20–30 метров, помогает в решении широкого круга задач, стоящих перед системой контроля производственного процесса на урановых шахтах (рис. 3).

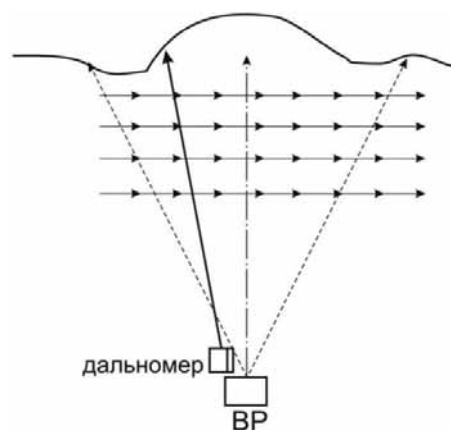


Рис. 3. Схема, иллюстрирующая принцип работы дальномера-видеорегистратора (BP)

Таким образом, моделирование безопасных условий труда горнорабочих, при использовании устройств получения дополнительной информации, и установление закономерностей изменения показателей эффективности работы системы „человек–техника–технология“ является актуальной научной задачей, имеющей важное значение для повышения безопасности труда на горных предприятиях.

Содержательная постановка задачи. Дано: вектор исходных параметров (технических, технологических, горно-геологических и пр.) технологических процессов добычи X ; вектор параметров, характеризующих индивидуальные особенности горнорабочих L , осуществляющих управление комплексом машин и механизмов, технологическими процессами добычи. Известны закономерности изменения показателей эффективности процессов в зависимости от исходных параметров множества $X: Y = f(X)$. Требуется: разработать алгоритм моделирования функционирования системы „человек–техника–технология“ в условиях горнодобывающих предприятий, дать интегральную оценку влияния индивидуальных особенностей горнорабочих на производительность и безопасность системы, установить закономерности изменения показателей эффективности системы в зависимости от полноты, достоверности и своевременности информации, индивидуальных параметров горнорабочих $Y = f(X, L)$ при использовании устройств получения дополнительной информации.

Действия рабочих в процессе добычи можно представить как совокупность элементарных актов реакции на различного рода раздражения (зрительные, звуковые, тактильные и пр.). Совокупность элементарных актов реакции человека на раздражители сопровождается непрерывным процессом приема, переработки информации и принятия горнорабочим решения, определяемого текущей ситуацией. Таким образом, горнорабочий является лицом, принимающим решение.

Информация поступает горнорабочему в виде сигналов: звуковых, световых и пр. Количество информации, которое может воспринять человек, имеет определенные ограничения, зависящие от его опыта, индивидуальных особенностей, темперамента, эмоционального состояния, типа нервной деятельности, мотивации действий и множества других факторов [5]. Объем поступающей и перерабатываемой информации, в первую очередь, зависит от количества и сложности управляемых человеком объектов, темпов процессов добычи. Производительность процесса добычи в значительной степени зависит от возможностей человека по использованию полученной им информации и определяется объемом его памяти, темпом приема информации, скоростью ее запоминания и извлечения из памяти, длительностью хранения и т.д.

Информация, в свою очередь, характеризуется не только объемом (количеством), но и качеством. От качества информации во многом зависит обоснованность и оптимальность принятия решения горнорабочим в той или иной складывающейся в процессе добычи ситуации. Качество информации принято характеризовать следующими свойствами: определенностью, точностью, полнотой, четкостью, своевременностью, достоверностью, непротиворечивостью [6].

От данных свойств зависит уровень информированности горнорабочего о текущей ситуации. Для оценки уровня информированности рабочего используют интегральный показатель информированности, который, в свою очередь, определяется частными показателями информированности, к основным из которых относят [6]:

- показатель полноты информированности – характеризует соответствие количества получаемой информации необходимому количеству для принятия решения;

- показатель своевременности информированности – определяет насколько ресурс времени горнорабочего на формирование и принятие решения соответствует ресурсу времени от момента получения информации до момента реализации решения;

- показатель достоверности информации – характеризует соответствие полученной горнорабочим информации истинному состоянию складывающейся ситуации.

Показатель полноты информированности определяется по формуле

$$I_{\Pi} = \frac{\Pi - \Pi^{-}}{\Pi^{+} + \Pi^{-}}, \quad (1)$$

где Π^{+} , Π^{-} – максимально целесообразный и минимально допустимый объем информации, необходимый для принятия решения; Π – текущий объем информации, полученный горнорабочим.

Показатель своевременности информированности определяется по формуле

$$I_T = 1 - \frac{R_{fk} + R_{rk}}{2}, \quad (2)$$

где R_{fk} – временной ресурс формирования решения, равный

$$R_{fk} = \frac{T_{fk} - T^{-}}{T^{+} - T^{-}}, \quad (3)$$

R_{rk} – временной ресурс реализации решения, равный

$$R_{rk} = \frac{T^{+} - T_{rk}}{T^{+} - T^{-}}, \quad (4)$$

где T_{fk} – длительность периода от момента начала формирования решения t_{fn} (момента получения информации t_0 , при $t_{fn} = t_0$) до момента его окончания t_{fk} ; T_{rk} – длительность периода от момента начала формирования решения до момента его реализации; T^{-} , T^{+} – соответственно, минимально и максимально возможная длительность периода формирования решения.

Показатель уровня достоверности информации определяется по формуле

$$I_D = \frac{D - D^{-}}{D^{+} - D^{-}}, \quad (5)$$

где D^{+} , D^{-} – соответственно, максимальный и минимальный, практически целесообразный уровень достоверности информации; D – текущая величина достоверности информации, поступающей к горнорабочему.

Качественные показатели информированности I_{Π} , I_T и I_D изменяются в пределах [0,1] и определяются путем нормирования текущих значений Π , T_{fk} , T_{rk} и D относительно заданных (допустимых) интервалов Π^{+} , Π^{-} , T^{-} , T^{+} , D^{+} , D^{-} их изменения, количественные значения которых целесообразно определять на основании метода экспертных оценок [7].

Показатели уровня полноты, своевременности и достоверности в совокупности характеризуют качество информированности горнорабочего о текущей ситуации в процессе добычи. Общий уровень информированности принято оценивать интегральным показателем информированности I , являющимся мультипликативной функцией частных показателей [6]

$$I = f(I_{II})f(I_T)f(I_D). \quad (6)$$

Общий уровень информированности является нелинейной функцией каждого из частных показателей I_i и описывается выражением

$$I = f(I_i) = \ln(1 + I_i). \quad (7)$$

Процессы добычи представляют собой совокупность состояний системы „человек–техника–технология“, каждое из которых характеризуется определенным набором показателей: параметрами внешних воздействий Y , внутренними параметрами системы X , параметрами управления U , параметрами воздействия факторов риска R . Если все показатели в процессе добычи находятся в априори заданных интервалах: $Y \in Y^{\pm} \cap X \in X^{\pm} \cap U \in U^{\pm} \cap R \in R^{\pm}$, то такой режим является штатным. Если хоть один из показателей не принадлежит априори заданному интервалу $Y \notin Y^{\pm} \cup X \notin X^{\pm} \cup U \notin U^{\pm} \cup R \notin R^{\pm}$, то процесс переходит в нештатный (критический, чрезвычайный, аварийный, катастрофический) режим функционирования. Основными параметрами, характеризующими процесс перехода (переходной процесс) из штатного режима в нештатный, являются параметры множества R – факторы риска.

Факторы риска характеризуются степенью риска η – вероятностью перехода процесса функционирования системы из штатного режима в нештатный, и уровнем риска W – величиной ущерба нежелательного воздействия параметров множества R . В свою очередь, η – вероятность перехода процесса из штатного в нештатный режим под воздействием факторов множества R , зависит от изменения уровня информированности горнорабочего, определяемого интегральным показателем информированности I . Таким образом, степень риска является функцией информированности $\eta = f(I)$. Очевидно, что с увеличением уровня информированности вероятность перехода процесса в нештатный режим снижается.

Зависимость $\eta = f(I)$ является нелинейной, что обуславливается неравномерностью возрастания степени риска с увеличением темпов каждого из частных показателей информированности. Так, если информация обладает определенной полнотой, своевременностью и достоверностью, то даже небольшое ее количество существенно для процесса принятия решения. Таким образом, темпы (скорость) увеличения ценности информации сначала возрастают, а в процессе ее накопления постепенно стабилизируются. Процессы подобного рода наилучшим образом описываются логарифмической функцией. Учитывая вышеизложенное, зависимость вероятности перехода процесса выемки угля из штатного в нештатный режим от уровня информированности горнорабочего описывается функцией вида

$$\eta = 1 - \ln(I) \quad (8)$$

или, с учетом (6),

$$\eta = 1 - \ln(1 + I_{II}I_TI_D). \quad (9)$$

На практике удобно пользоваться известной из теории надежности величиной, противоположной η – вероятностью безотказной работы, равной

$$P = 1 - \eta = \ln(1 + I_{II}I_TI_D). \quad (10)$$

Величина P характеризует надежность функционирования системы „человек–техника–технология“ в зависимости от уровня информированности горнорабочего, определяемого частными показателями информированности I_{II} , I_T , I_D . В свою очередь, показатель своевременности информированности зависит от временных периодов принятия и реализации решения.

Параметр T_{jk} – длительность периода от момента получения информации до момента окончания формирования решения (время принятия решения), во многом определяется индивидуальными особенностями горнорабочего. К таковым необходимо отнести опыт, квалификацию, навыки, темперамент, эмоциональное состояние и пр. Данные психофизические параметры определяют время принятия решения горнорабочим.

В работе [5] приводится зависимость времени латентного периода реакции человека (времени от момента появления сигнала до начала движения, времени принятия и переработки информации) от его психофизических особенностей, основанная на разработанной авторами работы теории переработки информации памятью человека. Согласно данной модели, время реакции человека на раздражитель можно определить по формуле

$$t_* = T \ln\left(1 + \frac{\varphi}{\dot{R}T}\right), \quad (11)$$

где \dot{R} – темп поступления информации в память (приема информации памятью), ед/с; φ – некоторое конечное количество информации, хранящееся в памяти по истечению достаточно большого промежутка времени, ед; T – постоянная времени переработки информации памятью, с.

Так, авторами отмечено, что увеличение количества предъявляемой и усвоенной информации эквивалентно увеличению параметра φ . Влияние опыта либо квалификации (навыка) человека на быстроту принятия решений определяется темпом восприятия памятью информации \dot{R} , т.к. при большем опыте предъявляемая информация усваивается с большим темпом. Имеет место зависимость увеличения времени принятия человеком решения с увеличением количества предъявляемой информации и уменьшение времени принятия решения с повышением его опыта

и уровня квалификации. Постоянную величину времени T следует рассматривать как влияние эмоционального состояния, темперамента личности, индивидуальных психофизиологических особенностей горнорабочего на процесс приема-переработки информации и принятия решения.

Учитывая вышеизложенное, длительность T_{jk} периода от момента начала формирования решения (момента получения информации) до момента его окончания эквивалентно времени латентного периода реакции ($T_{jk} \equiv t_*$) и определяется выражением (11).

С учетом (11), формула для определения ресурса времени на формирование решения приобретает следующий вид

$$R_{jk} = \frac{T \ln \left(1 + \frac{I}{RT} \right) - T^-}{T^+ - T^-} . \quad (12)$$

Таким образом, вероятность безотказной работы системы „человек–техника–технология“, с учетом психофизических параметров, качественных и количественных характеристик информированности горнорабочих, задается выражениями (1–12).

Применительно к звену (бригаде) горнорабочих, вероятность безотказной работы системы, при независимости отказа системы от действий каждого из рабочих, равна произведению вероятностей их безотказной работы

$$P = \prod_{i=1}^n P_i = \prod_{i=1}^n \ln(1 + I_{Pi} I_{Ti} I_{Di}) , \quad (13)$$

где n – число горнорабочих звена (комплексной бригады), осуществляющих добычу.

При одинаковой вероятности безотказной работы каждого из рабочих, данные события образуют полную группу, формула (13) принимает вид

$$P = \ln(1 + I_{Pi} I_{Ti} I_{Di})^n . \quad (14)$$

Так, например, для угольных шахт, рассматривая (14) как интегральный показатель надежности (работоспособности) функционирования системы „человек–техника–технология“ в течение добычной смены, уровень добычи забоя будет определяться выражением

$$q = mb \gamma v_n P = mb \gamma v_n \ln(1 + I_{Pi} I_{Ti} I_{Di})^n , \quad (15)$$

где m – вынимаемая мощность пласта, м; b – ширина захвата выемочного комбайна, м; v_n – скорость подачи выемочного комбайна, м/мин; γ – объемная плотность угля, т./м³.

С помощью разработанного алгоритма моделирования проведены исследования влияния психофизических параметров машиниста на процесс управления выемочным комбайном, а, следовательно, на его производительность. Исходные данные моделирова-

ния [5, 6]: вынимаемая мощность пласта, м – 1; ширина захвата выемочного комбайна, м – 0,63; средняя скорость подачи выемочного комбайна, м/мин – 5; объемная плотность угля, т./м³ – 1,5; длительность периода от момента начала формирования решения до момента его реализации, с – 4–17; минимально возможная длительность периода формирования решения, с – 1; максимально возможная длительность периода формирования решения, с – 20; темп поступления информации в память (приема информации памятью), ед/с – 2–15; конечное количество информации, хранящееся в памяти, по истечению достаточно большого промежутка времени, ед – 10–75; постоянная времени переработки информации памятью, с – 2; показатель уровня полноты информированности – 0,1–0,9; показатель уровня достоверности информации – 0,1–0,9.

Основные закономерности изменения производительности выемочного комбайна НТУ в зависимости от параметра, характеризующего навыки, опыт, квалификацию машиниста, временного ресурса реализации решения, показателя уровня достоверности информации представлены на рис. 4. Анализ зависимостей свидетельствует о следующем: производительность выемочного комбайна уменьшается в логарифмической зависимости с увеличением количества передаваемой машинисту информации, увеличивается в логарифмической зависимости от параметра, характеризующего навыки, опыт, квалификацию машиниста и линейно возрастает с увеличением ресурса времени реализации решения и показателя уровня достоверности информации.

Таким образом, имеет место существенное линейное увеличение производительности комбайна при получении дополнительной информации о состоянии горнотехнических объектов. В то же время увеличение общего количества информации повышает вероятность возникновения аварийной ситуации и снижает производительность системы, поэтому обрабатывать такую информацию должен опытный горнорабочий, обладающий соответствующими навыками и квалификацией.

При этом приоритетным является совершенствование системы управления безопасностью труда горнорабочих с использованием устройств получения дополнительной информации о горнотехнических объектах, что повысит уровень полноты и достоверности информации, обеспечит своевременное принятие правильного решения. Принимая во внимание обратную пропорциональность производительности комбайна количеству информации и прямую – ее качеству, на практике необходимо руководствоваться принципом необходимости и достаточности информации, поступающей к горнорабочим, для принятия и реализации наиболее оптимального решения в конкретной складывающейся в процессе добычи ситуации.

Выводы и перспективы дальнейшего развития:

- предложены способ и устройство оперативного контроля состояния выработок шахт и технических средств, применение которых позволяет существенно

увеличить объем и быстроту решаемых исследовательских и практических задач горного производства, что, в свою очередь, обеспечивает повышение безопасности и производительности труда горняков;

- разработано индивидуальное устройство для контроля условий труда и получения видеoinформации для работников урановых шахт, обеспечивающее постоянный, оперативный контроль горными рабочими состояния выработок и технических средств, получение ими видеoinформации на информационный комплекс прогнозирования событий с использо-

ванием наложенной виртуальной реальности, обеспечивающий управление технологическими процессами и самими горнорабочими. Индивидуальное устройство положено в основу информационного комплекса прогнозирования событий с использованием наложенной виртуальной реальности для урановых шахт. Комплекс позволяет проводить анализ как состояния выработок, так и контролировать состояние и работу систем и механизмов шахты, состояние трубо- и газопроводов, а также наиболее важных элементов технологического процесса;

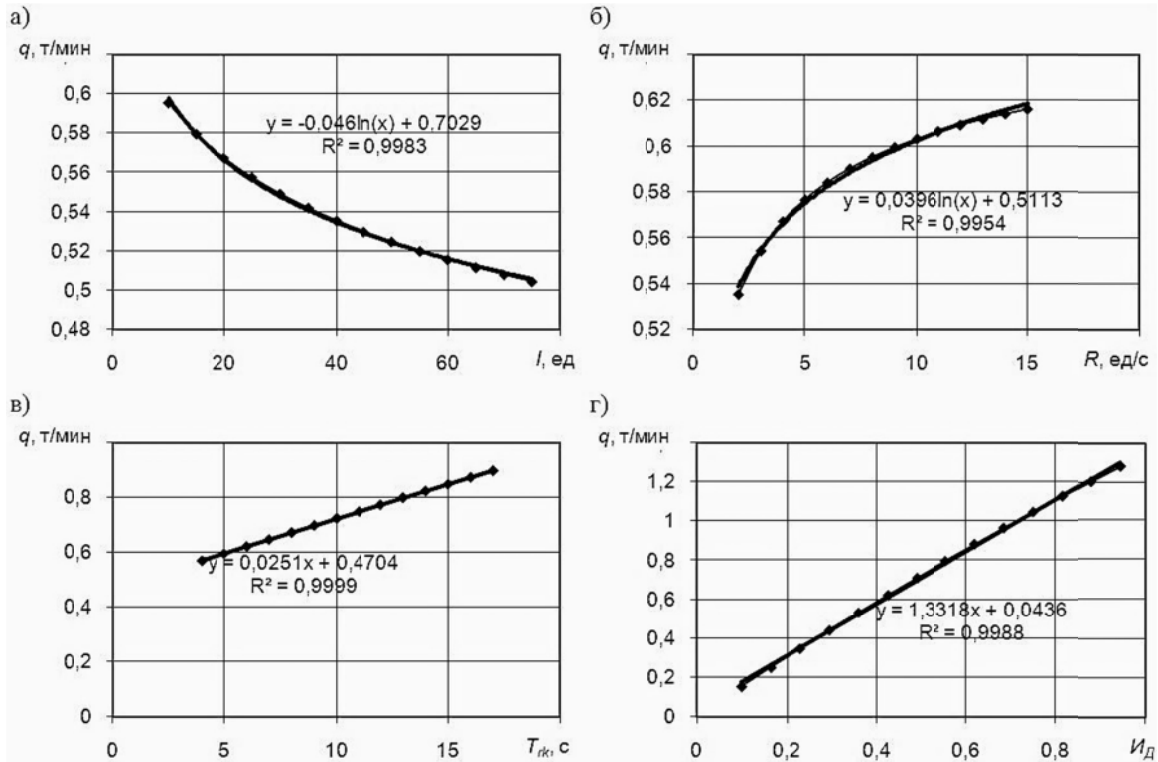


Рис. 4. Зависимости производительности выемочного комбайна от: количества передаваемой машинисту информации (а); параметра, характеризующего навыки, опыт, квалификацию машиниста (б); временного ресурса реализации решения (в); показателя уровня достоверности информации (г)

- разработан новый алгоритм моделирования системы „человек–техника–технология“ в условиях горнодобывающих предприятий, учитывающий влияние психофизических параметров человека, интегрального уровня его информированности, качественных характеристик и количества поступающей к нему информации на безопасность и производительность системы;

- установлены закономерности изменения безопасности и производительности системы в зависимости от психофизических параметров машиниста, качественных характеристик информации и ее количества. Показано, что производительность системы уменьшается в логарифмической зависимости с увеличением количества передаваемой машинисту информации, увеличивается в логарифмической зависимости от параметра, характеризующего навыки, опыт, квалификацию машиниста и линейно возрастает с увеличением ресурса времени реализации решения и показателя уровня достоверности информации;

- установлена линейная зависимость увеличения безопасности труда горнорабочих от показателя уровня достоверности информации о состоянии горнотехнических объектов. Приоритетным является совершенствование системы управления безопасностью с использованием устройств получения дополнительной информации о горнотехнических объектах, что повысит уровень полноты и достоверности информации и обеспечит своевременное принятие правильного решения;

- перспективы дальнейшего развития в этом направлении предполагают совершенствование способов и устройств получения дополнительной информации, ее обработки и регистрации, проведение исследований системы управления безопасностью на горных предприятиях с учетом предлагаемых способов и устройств.

Список литературы / References

1. ВБН В.2.5-78.11.01-2003 „Інженерне обладнання будинків і споруд. Системи сигналізації охоронного

призначення“ (МВС України). [Електронний ресурс]. – Режим доступу до документу: normativ.com.ua/types/tdoc796.php.

MIA of Ukraine (2003), VBN V.2.5-78.11.01-2003 “Engineering equipment of buildings and structures. Alarm systems guard”, available at: normativ.com.ua/types/tdoc796.php.

2. Порядок проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань аварій на виробництві [Електронний ресурс]. / Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 30 листопада 2011 р., N 1232. – Режим доступу до документу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1232-2011>.

Cabinet of Ministers of Ukraine (2011), “The procedure of investigation and registration of accidents, occupational diseases accidents at work”, approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine on November 30, 2011 No.1232, available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1232-2011>.

3. Осколков И. Реальности: виртуальная, дополненная и суженная – CHIP UA Online: [Электронный ресурс] / Игорь Осколков – Режим доступа к документу: <http://www.chip.ua/stati/go-digital/2011/03/realnosti-virtualnaya-dopolnennaya-i-suzhennaya>.

Igor Oskolkov, (2011), “Reality: virtual, augmented and necked”, CHIP UA Online, available at: <http://www.chip.ua/stati/go-digital/2011/03/realnosti-virtualnaya-dopolnennaya-i-suzhennaya>.

4. Шевченко В.Г. К разработке устройств и информационного комплекса наложенной виртуальной реальности для урановых шахт / В.Г. Шевченко, Ю.И. Кияшко, М.С. Зайцев // Геотехнічна механіка. – 2012. – Вып. 107. – С. 41–51.

Shevchenko, V.G., Kiyashko, Yu.I. and Zaytsev, M.S. (2012), “To the development of devices and information systems over lays virtual reality for uranium mine”, *Geotekhnichna mekhanika*, vol. 107, pp. 41–51.

5. Приснякова Л.М. Нестационарная психология / Приснякова Л.М. – К.: Дніпро, 2002. – 255 с.

Prisnyakova, L.M. (2002), *Nestatsyonarnaya psikhologiya* [Unsteady Psychology], Dnipro, Kiev, Ukraine.

6. Згуровский М.З. Системный анализ: проблемы, методология, приложения / М.З. Згуровский, Н.Д. Панкратова. – К.: Наукова думка, 2005. – 744 с.

Zgurovsky, M.Z. and Pankratova, N.D. (2005), *Sistemnyi analiz: problem, metodologiya, prilozheniya* [System analysis: problems, methodology, application], Naukova Dumka, Kiev, Ukraine.

Мета. Розробка математичної моделі безпечних умов праці при використанні пристроїв одержання додаткової інформації та встановлення закономірностей зміни показників ефективності роботи системи „людина–техніка–технологія“ для підвищення безпеки праці на гірничих підприємствах.

Методи. Теорії інформації, теорії надійності, методи системного, математичного аналізу, математичне моделювання безаварійних умов праці.

Результати. Розроблено спосіб і пристрій оперативного контролю стану виробок шахт і технічних засобів. Розроблено індивідуальний пристрій для контролю умов праці й отримання відеоінформації для працівників уранових шахт, що забезпечує оперативний контроль і отримання відеоінформації на інформаційний комплекс прогнозування подій з використанням накладеної віртуальної реальності, що забезпечує керування технологічними процесами й самими гірниками. Розроблено алгоритм моделювання системи „людина–техніка–технологія“ в умовах гірничодобувних підприємств, що враховує вплив психофізичних параметрів гірника, інтегрального рівня його інформованості, якісних характеристик і кількості поступаючої до нього інформації на безпеку й продуктивність системи. Показано, що продуктивність системи зменшується в логарифмічній залежності зі збільшенням кількості переданої машиністові інформації, збільшується в логарифмічній залежності від параметра, що характеризує навички, досвід, кваліфікацію, і лінійно зростає зі збільшенням ресурсу часу реалізації рішення й показника рівня вірогідності інформації.

Наукова новизна. Уперше встановлені закономірності зміни безпеки й продуктивності системи від психофізичних параметрів гірника, якісних характеристик інформації та її кількості.

Практична значимість. Розроблені способи й пристрої одержання додаткової інформації щодо гірничотехнічних об'єктів: спосіб оперативного візуального контролю над станом виробок і технічних засобів на шахтах, індивідуальний пристрій для контролю умов праці й одержання відеоінформації та інформаційний комплекс прогнозування подій з використанням накладеної віртуальної реальності.

Ключові слова: безпечні умови праці, способи й пристрої одержання додаткової інформації, гірничотехнічні об'єкти, моделювання, закономірності

Purpose. Development of the mathematical model of safe working conditions using the device obtaining additional data and to establish regularities of change in performance of the system ‘man – equipment – technology’ to improve work safety in mines.

Methodology. We have used the information theory, the theory of reliability, methods of system and mathematical analysis, and mathematical modeling of accident-free operation of miners.

Findings. We have developed the method and device for the in-process monitoring of mine workings and technical facilities. We have developed an individual device for monitoring of working conditions and receiving video for uranium mines. It provides the rapid control and receiving of video information by the information complex of events prediction using overlay of virtual reality. This allows controlling processes and miners. We have created the algorithm for modeling the system “man – equipment – technology” at mining enterprises. It takes into account the impact of psychophysical parameters of a miner, and his awareness of the integral level, quality or quantity of the information

received by him on safety and performance of the system. It is shown that the system performance decreases logarithmically as the volume of information received by the operative increases. It increases logarithmically with the increase of the parameter characterizing skills, experience and qualifications of the operative. And it increases linearly with the increase of the time resources required for solutions and the information confidence level.

Originality. For the first time we have established the regularities of the system safety and performance change depending on the psychophysical parameters of a miner, qualitative characteristics of information and its amount.

Practical value. We have developed methods and devices for obtaining more information about mining objects: the method of rapid visual control of the mine workings and equipment, individual device for monitoring of working conditions and receiving video, and information complex of events prediction using virtual overlay of reality.

Keywords: *safe working conditions, methods and devices obtaining additional information, geotechnical facilities, modeling, regularities*

*Рекомендована до публікації докт. техн. наук
В.І. Дирдою. Дата надходження рукопису 12.06.13.*

УДК 550+502.175

**М.Н. Жуков, д-р геол. наук, проф.,
І.Р. Стахів**

Київський національний університет ім. Тараса Шевченка,
м. Київ, Україна, e-mail: fatix@ukr.net

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ДЕТАЛЬНОСТІ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ ЗАБРУДНЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ КИЇВСЬКОЇ АГЛОМЕРАЦІЇ)

**M.N. Zhukov, Dr. Sci. (Geol.), Professor,
I.R. Stakhiv**

Kyiv Taras Shevchenko National University, Kyiv, Ukraine,
e-mail: fatix@ukr.net

THE METHOD OF DETALIZATION OF POLLUTION SPATIAL DISTRIBUTION (ON THE EXAMPLE OF KIEV METROPOLITAN AREA)

Мета. Створити метод підвищення детальності просторового розподілу забруднення шкідливими домішками великих міст для моніторингу екологічного стану навколишнього середовища.

Методика. Полягає у відтворенні значень показника забруднення за оцифрованими показниками геолого-ландшафтних та екологічних умов.

Результати. Розроблено метод підвищення репрезентативності мережі спостережень, що суттєво підвищує ступінь відповідності оцінки просторового розподілу характеристик екологічного стану реальній ситуації. Побудовано карти просторового відображення забруднення м.Київ пилом. Встановлено множинні коефіцієнти кореляції між рівнем забруднення та показниками умов, що виявилися високими, у межах 0,82–0,98. Продемонстровано ефективність на прикладі м.Київ. Визначено показники умов, що найбільш тісним чином пов'язані з показником забруднення.

Наукова новизна. Полягає в розробці методу підвищення детальності просторового розподілу забруднення атмосферного повітря шкідливими домішками. Метод ґрунтується на встановленні множинного кореляційного зв'язку між показником забруднення та показником умов, в яких розташована точка спостереження. Для реєстрації цих умов запропонована бальна шкала для 8 показників (склад ґрунтів, рельєф території, забудованість, інтенсивність руху автотранспорту, зелені насадження, ступінь провітрюваності, віддаленість від джерела забруднення, характер покриття території).

Практична значимість. Метод дає можливість більш точно відобразити стан довкілля міста за таким показником як вміст пилу. Це дає можливість більш повно контролювати стан довкілля у ході проведення екологічного моніторингу.

Ключові слова: *просторовий розподіл, забруднення, атмосферне повітря, моніторинг, екологічний стан, Київська агломерація, мережа спостережень*

Постановка проблеми. Забруднення природного середовища великих міст набуває особливої актуальності в умовах зростання масштабів техногенезу.

Щорічно до повітряних басейнів міст із викидами промислових підприємств і транспорту надхо-

дять тисячі тонн різних шкідливих речовин [1]. У залежності від сполук промислових викидів, їх періодичності, висоти, на якій вони потрапляють у повітря, а також від кліматичних умов, що визначають перенос повітряних мас, розсіювання викидів і багатьох інших факторів, формується рівень забруднення атмосфери. Щоб поліпшити екологіч-