
УДК 622.232.72.001.57:658.386

Шевченко В.Г., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.

Зайцев М.С.

(ИГТМ НАН Украины)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
ДОБЫЧИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОПЕРАТИВНОГО ВИЗУАЛЬНОГО
КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ВЫРАБОТОК И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

Шевченко В.Г., д-р техн. наук, ст. наук. співроб.

Зайцев М.С.

(ІГТМ НАН України)

**МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПЕЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ
ВИДОБУТКУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ОПЕРАТИВНОГО ВІЗУАЛЬНОГО
КОНТРОЛЮ СТАНУ ВИРОБОК ТА
ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ**

Shevchenko V.G., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher

Zaitsev M.S.

(IGTM NAS of Ukraine)

**SIMULATION OF SAFETY MINING OPERATIONS CONTROL WITH THE
HELP OF VISUAL MONITORING OF THE TUNNEL AND EQUIPMENT
STATE**

Аннотация. Для обеспечения безопасности функционирования системы управления добычей на шахтах предложены способ и устройство оперативного контроля состояния выработок шахт и технических средств, применение которых позволяет существенно увеличить объем и быстроту решаемых задач горного производства. Индивидуальное устройство наложенной виртуальной реальности, обеспечивает постоянный, оперативный контроль, управление технологическими процессами и самими горнорабочими. Индивидуальное устройство положено в основу информационного комплекса наложенной виртуальной реальности. Комплекс позволяет фиксировать и проводить анализ состояния выработок, контролировать состояние и работу систем и механизмов, состояние трубо- и газопроводов, а также наиболее важных элементов технологического процесса добычи. Для анализа эффективности применения средств оперативного визуального контроля состояния горнотехнических объектов на шахтах, как элемента системы управления процессом добычи, построена функциональная схема системы управления «бригадир (диспетчер) - горнорабочие - средства оперативного контроля состояния выработок и технических средств» и определены передаточные функции подсистем, основных динамических звеньев и системы управления в целом. На примере проиллюстрировано повышение устойчивости, быстродействия, точности, а, следовательно, надежности и безопасности работы такой системы при использовании средств оперативного визуального контроля.

Ключевые слова: безопасное управление процессом добычи, средства оперативного визуального контроля, состояние горнотехнических объектов на шахтах, функциональная схема, моделирование.

Система управления процессом добычи представляет собой комплекс взаимосвязанных элементов-звеньев: выемочные машины, горный массив, психофизическая и биомеханическая подсистемы горнорабочего (бригадира-диспетчера), пульта и блоки управления машинами и механизмами, датчики, каналы связи, передачи информации и пр., функционирующих в условиях влияния случайных внешних возмущающих воздействий: изменение горно-геологических условий (тектонические нарушения, выделение газа и пр.), факторы аварийности (случайные отказы машин и оборудования, газодинамические явления, загазованность, затопление выработок, обрушения пород и пр.), человеческий фактор (ошибочные действия горнорабочих, физическое нервное утомление, ошибки руководства, неверные решения и пр.). Важной является задача моделирования показателей качества (устойчивости, быстродействия и точности) работы такой системы при изменяющихся условиях ее функционирования [1]. Для этого необходим анализ основных характеристик, построение функциональных и структурных схем подсистем управления процессом добычи и определение передаточных функций подсистем, динамических звеньев и системы в целом.

Важным также является обеспечение требуемой безопасности функционирования системы управления добычей угля на шахтах. Обеспечение безопасности любой системы управления неразрывно связано с повышением достоверности и оперативности информации о состоянии горнотехнических объектов: параметрах и состоянии горного массива, выработок, шахтной атмосферы, машин и оборудования и пр. Своевременное обеспечение такого рода информацией работников шахты увеличивает надежность принимаемых решений, снижает вероятность возможных аварий и повышает эффективность применяемых на практике методик, в целом повышает производительность, качество и безопасность системы управления добычей на шахтах [2].

Актуальность разработки способов, бесконтактных оптоэлектронных устройств и средств измерения геометрических параметров объектов продиктована постоянным совершенствованием методов метрологии, предусматривающей 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 перечисленных задач в рамках горного производства [3-5].

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 [6, 7]. На основании накопленного опыта таких работ, предлагается решение задачи повышения достоверности и оперативности информации посредством применения способа и устройства оперативного контроля состояния 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 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).

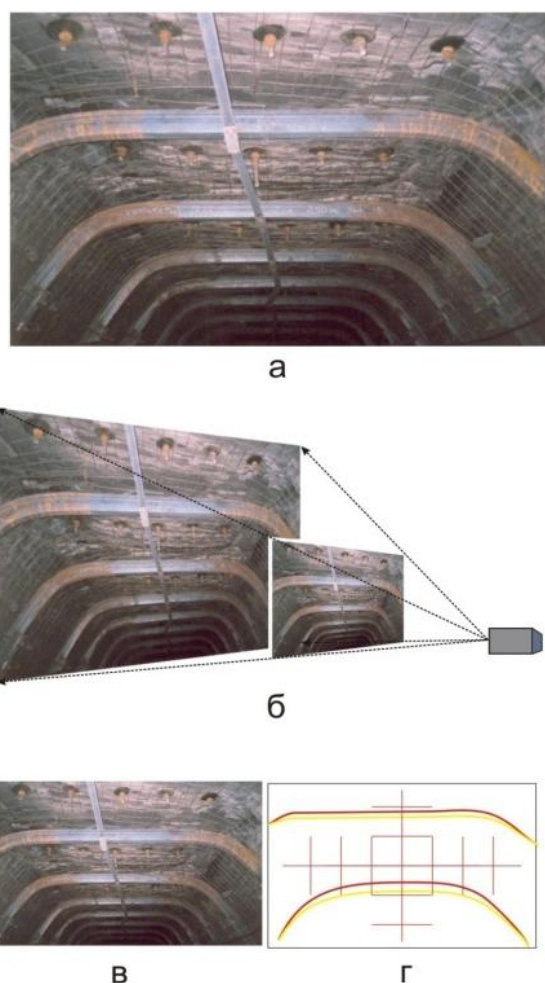
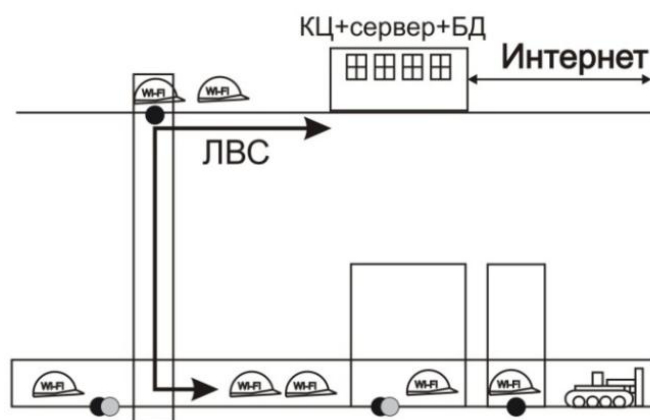


Рис. 1 - Схема, иллюстрирующая принцип работы устройства оперативного контроля состояния горнотехнических объектов

Разработано индивидуальное устройство наложенной виртуальной реальности для работников урановых шахт, обеспечивающее постоянный, оперативный и сверхоперативный контроль горными рабочими и получение ими видеоинформации на информационный комплекс наложенной виртуальной реальности, обеспечивающий управление технологическими процессами и самими горнорабочими. Устройство обеспечивает сбор видеоданных о состоянии выработок, механизмов и машин, технологических процессов, управление горнорабочими средствами наложенной реальности. В его состав входят: устройство вывода визуализированной информации, обеспечивающее наложенную реальность для горнорабочего, видео-

камера, обеспечивающая захват изображения и его оцифровку, аудиокomплекс - микрофон-динамик с соответствующими аналогово-цифровыми преобразователями, устройства бесперебойного питания (рис. 2).

Индивидуальное устройство положено в основу информационного комплекса наложенной виртуальной реальности для 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 видеоинформации 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 передаётся информация в виде четких инструкций, направленных на предотвращение аварийной ситуации и возможных неверных действий.



- **Wi-Fi** точка доступа радиус 20-300 м

- датчики Rn, α -, β - и γ - излучение,
- пыли, температуры, влажности, скорости воздушной струи, концентрации Летучих ОВ

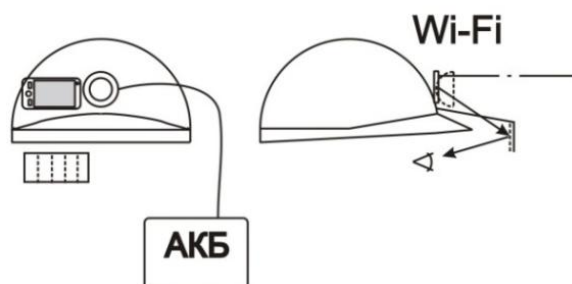


Рис. 2 - Общая схема комплекса наложенной виртуальной реальности

Устройство контроля состояния и определения линейных размеров, углов объектов и расчета сложных поверхностей в выработке состоит из видеорежистратора,

имеющего собственную систему накопления видеоинформации, регулируемые сменные объективы 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 и 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 и помогает в решении широкого круга задач, стоящих перед системой контроля производственного процесса на шахтах (рис. 3).

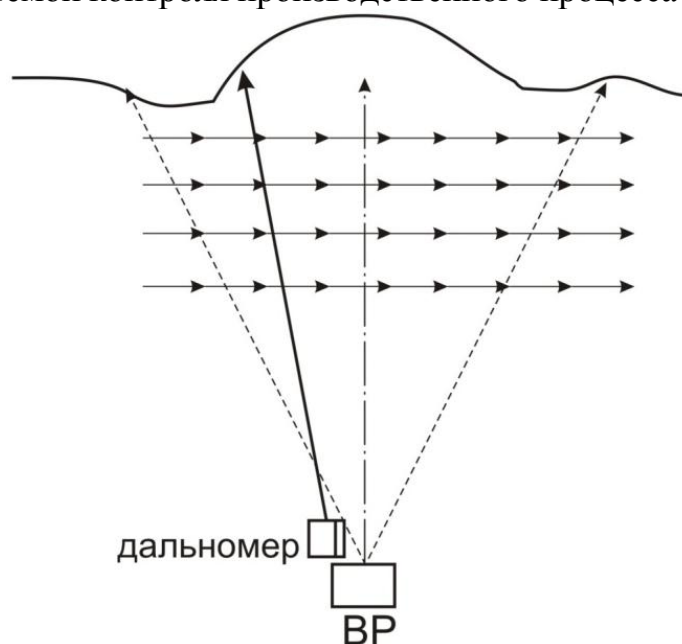


Рис. 3 - Схема, иллюстрирующая принцип работы дальномера - видеорегистратора

Также, при исследовании особо важных элементов выработок или узлов механизмов, авторами рекомендуется применять технологии, усиливающие качество и достоверность фото-видеоинформации, это - технологии окрашивания объектов. Суть технологии окрашивания заключается в следующем. В местах выработок, склонных к выбросам (для угольных шахт) или вывалам, меняющим нагрузку от воздействия окружающих пород (например, контакт «забой-штрек») и т.п., но не допускающим истирания, наносится красящий состав, например анилиновая краска. В процессе изменения напряженного состояния, и, как следствие, деформаций, на поверхности исследуемого (контролируемого) объекта, происходят необратимые изменения высохшего красящего состава – это проявление утолщения/уплощения, вплоть до образования трещин. При соответствующей подсветке изменение цвета состава будет видно при компьютерной обработке получаемых фотографий. При этом, специалисты смогут оперативно отреагировать на изменение ситуации - перераспределения деформаций, и, как следствие, поля напряжений.

Также, нанесение линий под различными углами, а потом последующий анализ изменения их цвета друг относительно друга, поможет специалистам определить и направление изменения деформаций, и, как следствие, направление основного вектора напряженности. Для облегчения проводимых исследований рядом с измерительными линиями ставится базовая метка, относительно которой и производятся замеры цветности.

На рис. 4 изображен пример обработки изображений при помощи устройства визуального контроля. На примере схематично показана обработка результатов исследований, проводимых по ряду визуальных параметров: изгиб верхняка трапециевидной крепи вниз; отрыв части потолочины, удерживаемой защитной сеткой; искривление оси выработки; ржавчина на участках трапециевидной крепи; дополнительно: концевики анкерной крепи полностью в ржавчине, участок защитной сетки также.



Рис. 4 - Пример обработки фотоизображения с помощью методики визуального контроля

Исходя из вышеперечисленного, первичный анализ ситуации на этом участке выработки свидетельствует о следующем: изменение напряженно-деформируемого состояния на участке привело к локальному трещинообразованию до слоя надлежащих водоносных горизонтов; также, локальное изменение направления выработки, по отношению к собственной оси, также свидетельствует об изменении напряженно-деформируемого состояния надлежащих пород.

В качестве выводов-рекомендаций по приведенному примеру можно предложить следующее: уточнить динамику изменений деформаций потолочины для прогноза возможных обрушений; определить известными методами, в том числе визуальным контролем, направление и величину главных напряжений в массиве, и динамику их изменения; определить уровень дебита флюидов в выработку и их дина-

мику.

В процессе реализации таких рекомендаций удастся предотвратить возможные аварийные ситуации и тем самым обеспечить безопасность и эффективность ведения горных работ.

Предложенный способ и устройство оперативного контроля состояния выработок шахт и технических средств представляется перспективным направлением разработок, а их применение позволит существенно увеличить объем и быстроту решаемых исследовательских и практических задач горного производства, что, в свою очередь, обеспечит повышение безопасности и производительности труда шахтеров.

Для анализа эффективности применения средств оперативного визуального контроля состояния горнотехнических объектов на шахтах, как элемента системы управления процессом добычи на шахтах, построена функциональная схема системы управления «бригадир (диспетчер) - горнорабочие - средства оперативного контроля состояния выработок и технических средств», представленная на рис. 5.

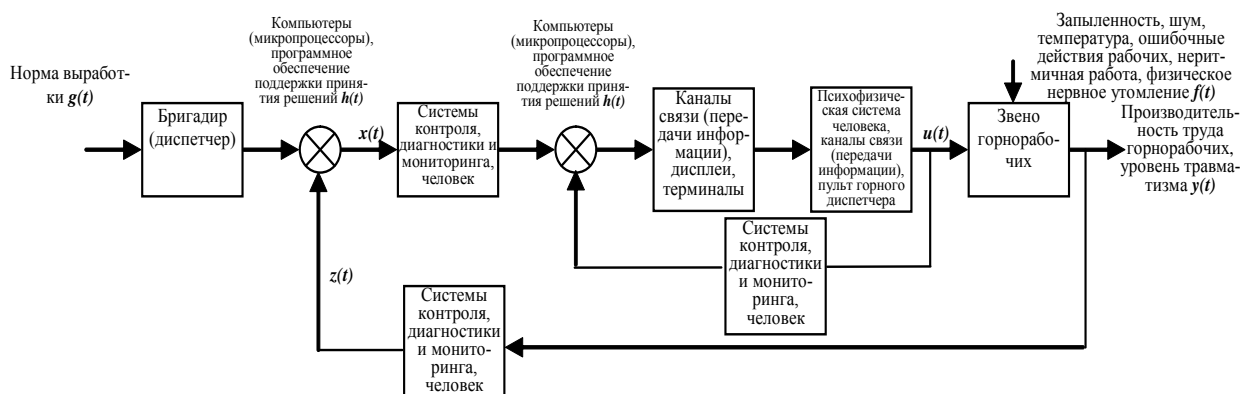


Рис. 5 - Функциональная схема системы управления «бригадир (диспетчер) - средства оперативного контроля состояния выработок и технических средств - горнорабочие»

В качестве звеньев «системы контроля, диагностики и мониторинга» и «каналы связи (передачи информации), дисплеи, терминалы» в данном случае выступают разработанные средства оперативного визуального контроля состояния выработок и технических средств на шахтах.

Передаточная функция системы «бригадир (диспетчер) - горнорабочие - средства оперативного контроля состояния выработок и технических средств», определяется как передаточная функция замкнутой системы с отрицательной обратной связью (сигнал на выходе звена контура обратной связи вычитается из сигнала на входе звена бригадира (диспетчера))

$$W_{BP-ГРОЗ} = \frac{W_{ГР}W_{БР}W_{КС}}{1 - W_{ГРОЗ-ОК}W_{БР}W_{КС}W_{СК}}, \quad (1)$$

где $W_{ГР}$, $W_{БР}$, $W_{КС}$, $W_{СК}$ - передаточные функции соответственно звена горнорабо-

чих, бригадира (диспетчера), каналов связи (передачи информации от бригадира (диспетчера) к звену горнорабочих) и системы контроля, диагностики и мониторинга (оперативного визуального контроля состояния выработок и технических средств на шахтах).

Определим передаточные функции отдельных динамических элементов-звеньев системы управления процессом добычи в шахтах.

Из-за сложности описания и принятия единой модели человека для различных условий его деятельности (необходимость учета процессов адаптации человека, ограниченность полосы пропускания, одноканальность, недостаточная точность работы, нестабильность коэффициента усиления, внесение помех, существенно нелинейное поведение в экстремальных условиях и т.п.) на практике зачастую используют упрощенные модели. Так, согласно [8] человек может быть представлен в виде линейной модели, состоящей из трех последовательно соединенных звеньев: усилительного звена с запаздыванием, осуществляющего прием сигналов, информации (передаточная функция $W_1 = k_1 e^{T_1 p}$), усилительного, осуществляющего формирование и принятие решений при достаточной тренировке, отсутствии возмущающих воздействий и минимальной психофизиологической напряженности человека (передаточная функция $W_2 = k_2$), и инерционного, отвечающего за исполнение человеком принятого решения (передаточная функция $W_3 = k_3 / (T_2 p + 1)$). Передаточная функция человека в данном случае имеет вид

$$W(p) = W_1 W_2 W_3 = k_1 e^{T_1 p} \times k_2 \times \frac{k_3}{T_2 p + 1}, \quad (2)$$

где $k = k_1 k_2 k_3$ - коэффициент усиления человека; T_1 - время реакции человека; T_2 - постоянная времени, характеризующая инерцию в образовании исполнительного действия (психофизический параметр). Согласно [8, 9] параметры могут быть приняты $T_1 = 0,2$ с, T_2 - примерно 0,125 с.

С приобретением опыта горнорабочий при принятии решения и формировании исполнительского действия (перемещении рукояток, рычагов, гидродомкратов, нажатии кнопок на пульте управления и пр.) учитывает не только величину, но и скорость изменения ошибки [10]. В модели (2) вместо пропорционального звена добавляется дифференцирующее, имеющее передаточную функцию:

$$W_2 = k_2 p. \quad (3)$$

При имеющих место физических нагрузках, характерных для всех горнорабочих добавляется четвертое звено – инерционное первого порядка, характеризующее нервно-мышечную систему человека (передаточная функция $W_4 = k_4 / (T_3 p + 1)$) [9]. Звенья, характеризующие инерцию в исполнении решения можно рассматривать как единое апериодическое звено второго порядка с передаточной функцией

$$W_3 = \frac{k_3 k_4}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}, \quad (4)$$

где T_3 - постоянная времени, характеризующая инерцию в образовании исполнительного действия (биомеханический параметр). Согласно [9] параметр T_3 - имеет нижний предел примерно 0,1 с.

Таким образом, передаточная функция горнорабочих будет определяться выражением (2) с учетом выражения (4). Наиболее опытного горнорабочего выражением (2) с учетом (3) и (4).

Если человек является высококвалифицированным работником-интеллектуалом, то он учитывает как отклонение регулируемой величины, так и интеграл, скорость и ускорение ее изменения, т.е. выполняет функцию пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора, а его передаточная функция имеет вид [11]

$$W(p) = k \left(1 + \frac{1}{T_1 p} + T_2 p \right), \quad (5)$$

где k - коэффициент передачи; T_1 , T_2 - постоянные времени, соответственно, интегрирования (степень ввода интеграла в закон регулирования – время изодрома) и дифференцирования (время предварения регулятора).

Также в виде пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора целесообразно представление системы приема, обработки информации и поддержки принятия решений.

Человек, дающий интегральную оценку параметрам системы управления, может быть представлен в виде пропорционально-интегрального регулятора, с передаточной функцией, определяемой выражением [12]

$$W(p) = k \left(1 + \frac{1}{T_1 p} \right). \quad (6)$$

Передаточная функция бригадира-диспетчера, как высококвалифицированного опытного оператора-интеллектуала, будет определяться выражением (5), руководящего персонала шахты начальника смены, главного инженера и директора – выражением (6).

Каналы связи можно представить в виде звена с запаздыванием с передаточной функцией равной [13]

$$W(p) = e^{-Tp}, \quad (7)$$

где T - время запаздывания.

Таким образом, передаточная функция каналов связи, передачи информации

между подсистемами и внутри них будет определяться выражением (7).

К устройствам, имеющим инерционные свойства, можно отнести рычаги, гидродомкраты, стойки, верхняки, перекрытия крепи. Передаточная функция таких звеньев будет определяться выражением

$$W(p) = \frac{k}{1 + Tp}. \quad (8)$$

К звеньям, для которых выходная величина в любой момент времени пропорциональна входной (безинерционным) следует отнести датчики, системы контроля диагностики и мониторинга состояния горнотехнических объектов, блоки и пульта управления, механизмы передачи, шестерни, исполнительные органы машин, а также горный массив – как элементы технологии добычи. Передаточная функция для таких звеньев будет определяться выражением

$$W(p) = k, \quad (9)$$

где k - коэффициент передачи звена.

Таким образом, передаточная функция системы управления процессом добычи задается выражениями (1) с учетом передаточных функций отдельных динамических звеньев (2)-(9). Алгоритм моделирования и исследования качества функционирования системы управления процессом добычи с применением устройств оперативного визуального контроля состояния выработок и технических средств на шахтах заключается в последовательном определении показателей быстродействия, точности и устойчивости «бригадир (диспетчер) - горнорабочие - средства оперативного контроля состояния выработок и технических средств» при разного рода входных возмущающих сигналах и при варьировании параметров системы.

Проведено моделирование системы управления процессом добычи по изложенному алгоритму: без включения в передаточную функцию звена, моделирующего систему оперативного контроля (9), и моделированием бригадира (диспетчера) в виде пропорционально-интегрального регулятора (6), и с включением функции (9), представлением бригадира (диспетчера) в виде пропорционально-интегрального регулятора (6), а системы приема, обработки информации и поддержки принятия решений в виде пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора (5).

На рис. 6 показан пример переходной функции при реагировании системы на единичное воздействие – единичный скачек, имитирующий мгновенное изменение обстановки в процессе добычи, без использования системы оперативного контроля состояния выработок шахт и технических средств (а) и с ее применением (б). В первом случае процесс колебательный, неустойчивый, во втором случае процесс носит установившийся характер, т.е. система адекватно реагирует на изменение ситуации за счет использования средств оперативного контроля. Соответственно повышается устойчивость, быстродействие и точность работы такой системы при изменяющихся условиях ее функционирования, а, следовательно, повышается безо-

пасность управления.

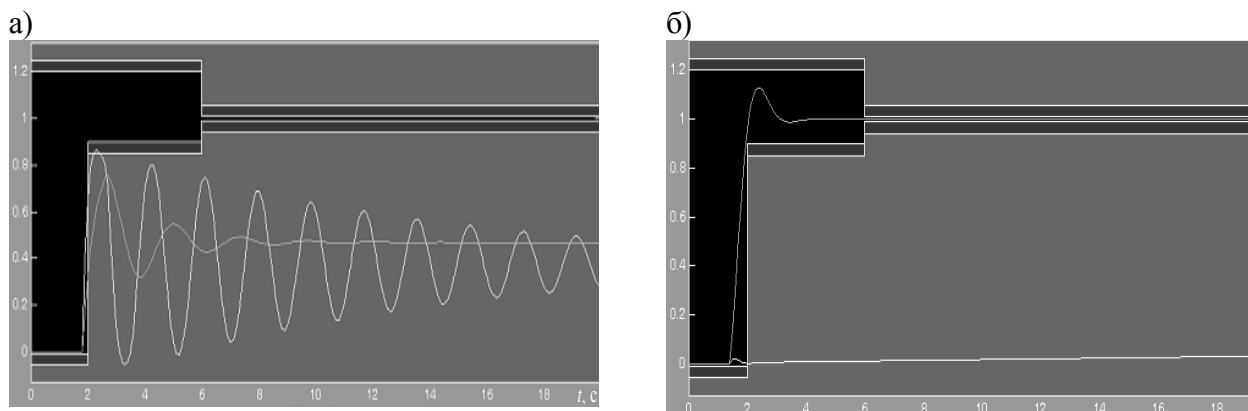


Рис. 6 - Примеры переходной функции при реагировании системы управления на единичное воздействие а) без использования системы оперативного контроля состояния выработок и технических средств и б) с ее использованием

Выводы.

1. Предложены способ и устройство оперативного контроля состояния выработок и технических средств на шахтах, применение которых позволяет существенно увеличить объем и быстроту решения исследовательских и практических задач горного производства, что, в свою очередь, обеспечивает повышение безопасности и производительности системы управления процессом добычи.

2. Разработано индивидуальное устройство наложенной виртуальной реальности, обеспечивающее постоянный, оперативный контроль горнорабочими процесса добычи и получение ими видеоинформации на информационный комплекс наложенной виртуальной реальности, обеспечивающий управление технологическими процессами и самими горнорабочими. Индивидуальное устройство положено в основу информационного комплекса наложенной виртуальной реальности для шахт. Комплекс позволяет фиксировать и 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.

3. Для анализа эффективности применения средств оперативного визуального контроля состояния горнотехнических объектов на шахтах, как элемента системы управления процессом добычи, построена функциональная схема системы управления «бригадир (диспетчер) - горнорабочие - средства оперативного контроля состояния выработок и технических средств» и определены передаточные функции подсистем, основных динамических звеньев и системы управления в целом:

- передаточная функция горнорабочих определяется произведением передаточных функций усилительного звена с запаздыванием, усилительного и апериодического второго порядка; наиболее опытного и квалифицированного горнорабочего, осуществляющего контроль и оценку состояния выработок и технических средств, как произведение передаточных функций усилительного звена с запаздыванием, реального дифференцирующего и апериодического второго порядка;

- передаточная функция бригадира-диспетчера высококвалифицированного опытного оператора-интеллектуала, учитывающего как отклонение регулируемой величины, так его интеграл и ускорение, задается функцией пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора; руководящего персонала шахты начальника смены, главного инженера и директора – функцией пропорционально-интегрального регулятора; в виде пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора целесообразно представление системы приема, обработки информации и поддержки принятия решений;

- передаточная функция каналов связи, передачи информации в системе управления процессом добычи угля будет определяться функцией звена с запаздыванием. Передаточная функция звеньев, имеющих инерционные свойства: рычагов и гидродомкратов, стоек, верхняков, перекрытий механизированной крепи будет определяться функцией апериодического звена первого порядка. К безинерционным звеньям следует отнести датчики, системы контроля диагностики и мониторинга состояния выработок и технических средств, блоки и пульта управления, механизмы передачи, шестерни, исполнительные органы машин, горный массив; передаточная функция таких звеньев является функцией пропорционального звена.

4. Алгоритм моделирования и исследования качества (безопасности) функционирования системы управления процессом добычи с применением устройств оперативного визуального контроля состояния выработок и технических средств на шахтах заключается в последовательном определении показателей быстродействия, точности и устойчивости системы «бригадир (диспетчер) - горнорабочие - средства оперативного контроля состояния выработок и технических средств» при разного рода входных возмущающих сигналах и при варьировании параметров системы. Показан пример переходной функции при реагировании системы на единичное воздействие – единичный скачок без использования системы оперативного контроля состояния выработок шахт и технических средств и с ее применением. Система адекватно реагирует на изменение ситуации за счет использования средств оперативного контроля, соответственно, повышается устойчивость, быстродействие и точность работы такой системы, а, следовательно, повышается безопасность управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. - СПб.: Профессия, 2004. – 752 с.
2. Галузева программа поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на підприємствах ПЕК на 2007-2011 роки. [Електронний ресурс] / Режим доступу до документу: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/doccatalog/document?id=106168>.
3. 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.
4. «Порядок проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань аварій на виробництві» Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 30 листопада 2011 р. N 1232. [Електронний ресурс] / Режим доступу до документу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1232-2011>.
5. Игорь Осколков. Реальности: виртуальная, дополненная и суженная - CHIP UA Online / Игорь Осколков // [Електронний ресурс] / Режим доступу к документу: <http://www.chip.ua/stati/go-digital/2011/03/realnosti-virtualnaya-dopolnennaya-i-suzhennaya>.

6. Исследование динамики деформаций образца балки при изгибе с использованием методик визуального внутрискважинного контроля (ВВК) / В.Г. Перепелица, М.С. Зайцев, Р.А. Дякун [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов.- Днепропетровск. – 2010. – Вып. 89. – С. 203-210.

7. Шевченко, В.Г. К разработке устройств и информационного комплекса наложенной виртуальной реальности для урановых шахт / В.Г. Шевченко, Ю.И. Кияшко, М.С. Зайцев // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов.- Днепропетровск. – 2012. – Вып. 107. – С. 41-51.

8. Душков, Б. А. Основы инженерной психологии / Б. А.Душков, Б. Ф.Ломов, В. Ю.Рубахин; под ред. Б.Ф. Ломова. – М.: Высш. школа, 1986. – 448 с.

9. Справочник проектировщика АСУ ТП / [Смилянский Г.Л., Амлинский Л.З., Баранов В.Я. и др.]; под ред. Г.Л. Смилянского. - М.: Машиностроение, 1983. – 527 с.

10. Зайцев, Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования / Г.Ф. Зайцев.— К.: Вища школа, 1975.— 423 с.

11. Ротач, В.Я. К расчету оптимальных параметров ПИД регуляторов по экспертным критериям / В.Я. Ротач // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005. - № 11. - С. 5-9.

12. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов / [Гольдфарб Л.С., Балтрушевич А.В., Нетушил А.В. и др.]; под ред. А.В. Нетушила. – М.: Высш. школа, 1976. - 400 с.

13. Теория автоматического управления: Учеб. для машиностроит. спец. вузов / [Брюханов В.Н., Косов М.Г., Протопопов С.П. и др.]; под ред. Ю.М. Соломенцева. - М.: Высш. школа, 2000. – 268 с.

REFERENCES

1. Besekersky, V.A. and Popov, E.P. (2004), *The theory of automatic control systems*, Business, St. Petersburg, Russia.

2. Sectoral program for improving safety, health and working environment for enterprises TAC for 2007-2011 (2012), available at: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/doccatalog/document?id=106168> (Accessed 15 July 2013).

3. VBN V.2.5-78.11.01-2003 "Engineering equipment of buildings and structures. Alarm systems guard" (MIA of Ukraine) (2003), available at: <http://normativ.com.ua/types/tdoc796.php> (Accessed 15 July 2013).

4. "The procedure of investigation and registration of accidents, occupational diseases accidents at work" approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine of 30 November 2011 N 1232 (2011), available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1232-2011v> (Accessed 15 July 2013).

5. Igor Oskolkov, (2011), Reality: virtual, augmented and neck - CHIP UA Online, available at: <http://www.chip.ua/stati/go-digital/2011/03/realnosti-virtualnaya-dopolnennaya-i-suzhennaya> (Accessed 19 July 2013).

6. Perepelitsa, V.G., Zaitsev, M.S., Dyakun, R.A. and Svetlichniy, V.N. (2010), "Study the dynamics of the deformation of the sample beam bending using visual methods of downhole control (VDC)", *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], vol. 89, pp. 203-210.

7. Shevchenko, V.G., Kiyashko, U.I. and Zaitsev, M.S. (2012), "To the development of devices and information systems overlays virtual reality for uranium mine", *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], vol. 107, pp. 41-51.

8. Dushkov, B.A., Lomov, B.F. and Rubakhin, V.Yu. (1986), *Fundamentals of Engineering Psychology*, High. School, Moscow, Russia.

9. Smilyanskii, G.L., (ed) (1983), *Spravochnik proectirovshchika* [Reference designer PCS], Mechanical Engineering, Moscow, Russia.

10. Zaitsev, G.F. (1975), *The theory of automatic control*, Visha School, Kiev, Ukraine.

11. Rotach, V.J. (2005) "On the calculation of the optimal PID controller parameters according to expert criteria" *Industrial process control, and controllers*, vol. 11, pp. 5-9.

12. Netushil, A.V. (ed) (1976), *Teoria avtomaticheskogo upravlenia* [Automatic Control Theory], High. School, Moscow, Russia.

13. Solomentsev, Y.M. (ed) (2000) *Teoria avtomaticheskogo upravlenia* [Automatic Control Theory] / High. School, Moscow, Russia.

Об авторах

Шевченко Владимир Георгиевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь института, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, V.Shevchenko@nas.gov.ua.

Зайцев Максим Станиславович, младший научный сотрудник отдела Механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина mazay_2004@inbox.ru.

About the authors

Shevchenko Vladimir Georgievich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Scientific Secretary of the Institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, V.Shevchenko@nas.gov.ua.

Zaitsev Maxim Stanislavovich, Junior Researcher at the Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, mazay_2004@inbox.ru.

Анотація. Для забезпечення безпеки функціонування системи керування видобутком на шахтах запропоновані спосіб і пристрій оперативного контролю стану виробок шахт і технічних засобів, застосування яких дозволяє істотно збільшити обсяг і швидкість розв'язуваних завдань гірничого виробництва. Індивідуальний пристрій накладеної віртуальної реальності, забезпечує постійний, оперативний контроль, керування технологічними процесами й самими гірниками. Індивідуальний пристрій покладений в основу інформаційного комплексу накладеної віртуальної реальності. Комплекс дозволяє фіксувати і проводити аналіз стану виробок, контролювати стан і роботу систем та механізмів, стан трубо- і газопроводів, а також найбільш важливих елементів технологічного процесу видобутку. Для аналізу ефективності застосування засобів оперативного візуального контролю стану гірничотехнічних об'єктів на шахтах, як елемента системи керування процесом видобутку, побудована функціональна схема системи керування «бригадир (диспетчер) - гірники - засоби оперативного контролю стану виробок і технічних засобів» і визначені передатні функції підсистем, основних динамічних ланок та системи керування в цілому. На прикладі проілюстроване підвищення стійкості, швидкодії, точності, а, отже, надійності й безпеки роботи такої системи при використанні засобів оперативного візуального контролю.

Ключові слова: безпечне керування процесом видобутку, засоби оперативного візуального контролю, стан гірничотехнічних об'єктів на шахтах, функціональна схема, моделювання.

Abstract. To ensure safety functioning of a production control system in the mines, a method and device are proposed for on-line monitoring of tunnel and equipment state in the mines, usage of which can significantly facilitate solving of many critical mining problems. The individual augmented-reality device provides continuous, real time monitoring of safety of both production processes and miners. The individual augmented-reality device is a basic element in total informational augmented-reality complex of the mine. The complex records and analyzes state of tunnels and monitors functioning of various systems including mechanisms, pipelines and gas pipelines and the most critical sectors of production process. To analyze effectiveness of the on-line visual monitoring of various mining sites in total production control system of the mines, a functional scheme was created in order to monitor a system "foreman (coordinating manager) - miners - on-line monitoring devices of tunnel and equipment state", and transfer functions were defined for the subsystems, principal dynamic links and control system as a whole. A concrete case is presented which demonstrates significantly improved stability, performance rate, accuracy, and, consequently, reliability and safety of the control system thanks to use of the on-line visual monitoring devices.

Keywords: safe management of the mining process, the means of operative visual control, the state mining facilities at the mines, functional scheme, simulation.

*Стаття поступила в редакцію 24.09.2013
Рекомендовано к публікації д.т.н., проф. В.И. Дырдой*