

Мещанинов С.К., Гулеша Е.М., Багрий В.В., Устименко В.О.
Электронная система биометрического контроля и управления надежностью функционирования человеко-машинной системы

*Мещанинов Сергей Карминович, доктор технических наук, профессор кафедры электроники
Гулеша Елена Михайловна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры электроники
Багрий Виктор Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры электроники
Устименко Владимир Олегович, старший преподаватель кафедры электроники
Днепродзержинский государственный технический университет, г. Днепродзержинск, Украина*

Аннотация. Приведены данные аналитических исследований электронной системы в комплексе биометрического контроля надежности функционирования сложной технической системы на примере очистного забоя современной угольной шахты. Рассмотрено поведение системы «Человек-Машина-Среда» на основе изучения психофизиологических особенностей поведения человека в экстремальных условиях современного производства. Сделан вывод о том, что для повышения уровня промышленной безопасности при эксплуатации важных и потенциально опасных производственных объектов должен существовать определенный минимум биометрических параметров, контролируемых непрерывно (в on-line режиме).

Ключевые слова: человеческий фактор, биометрический контроль, сложная техническая система, производственный объект

Введение. При эксплуатации сложных машин и комплексов человек и машина становятся объединенными в одну сложную техническую систему (СТС). В процессе ее функционирования в подсистеме "Человек-Машина-Среда" происходит приспособление (взаимодействие) человека и остальных ее подсистем, в результате чего надежность функционирования в целом по системе может быть как повышена, так и понижена. Подсистема "Человек-Машина-Среда" является восстанавливаемой и обслуживаемой. Поэтому она обладает структурным, информационным и функциональным резервированием и ее надежность в целом может быть выше надежности остальных подсистем СТС. Работоспособность и надежность подсистемы "Человек-Машина-Среда" в значительной степени зависят от психофизиологических особенностей человека и от приспособленности машин к взаимодействию с человеком. То есть, необходим биометрический контроль физиологических и психологических возможностей человека нести определенные нагрузки и перегрузки, воспринимать и передавать требуемую информацию, находиться в данной ситуации или условиях необходимое время и т.п. Примером современной СТС является очистной забой угольной шахты. Решение вопросов безопасности особенно важно при эксплуатации очистной выработки, работающей в режиме повышенных нагрузок, когда отказ одного из элементов такой системы может привести к катастрофическим последствиям.

Постановка задачи исследований. Эргономические свойства человека представляют собой комплекс антропометрических, физиологических и психологических его свойств. Вопросы влияния человеческого фактора на уровень безопасности при работе СТС достаточно подробно рассмотрены в работе [1].

Анализ причин травматизма в комплексно-механизированных лавах, по данным работы [5], показывает, что удельная доля травм в результате повреждения машинами и механизмами составляет около 30%. Из них около 50% приходится на субъективные причины: нахождение в опасной зоне (14,3%), ошибочные действия (6 – 12%), несогласованность действий (2,9 – 10,2%), проведение непредвиденных работ (2 – 3%).

Очистной забой современной угольной шахты как СТС представляет собой совокупность таких подсистем, как "Атмосфера", "Технологическое оборудование", "Приконтурная область" и "Обслуживающий персонал", каждая из которых состоит из набора структурных подсистем, взаимодействующих между собой по схеме последовательно соединенных элементов [3]. При этом полная информация об уровне безопасности такой СТС может быть получена, и по ней осуществлены своевременно операции прогноза и управления с помощью комплексной системы контроля и управления надежностью функционирования очистного забоя [3]. Одной из подсистем этой комплексной системы контроля и управления является комплексная система биометрического контроля обслуживающего СТС персонала.

Как указывается в работе [4], надо помнить о двойной роли человека с позиций надежности: с одной стороны, человек – это весьма совершенная система, он может оценивать сложную обстановку и принимать такие решения, которые не способна принять никакая управляющая машина; с другой стороны, человек сам подвержен "отказам", если на его нервную систему и на физическое состояние действуют недопустимые перегрузки.

Особые проблемы имеет система коллективно-комплекс машин-очистная выработка. В ней, кроме уже перечисленных факторов, ведущую роль играют социальные отношения, иерархия (соподчиненность) отдельных исполнителей, организационная структура подразделения, идеология и взаимоотношения людей, системы управления качеством и надежностью.

Таким образом, **целью настоящей работы** является исследование значимости человеческого фактора в работе комплексной системы биометрического контроля надежности функционирования СТС на примере очистного забоя современной угольной шахты.

Основная часть. Одной из главных психофизиологических особенностей труда горнорабочих является высокая степень их профессионального риска. Это связано с возникновением частых конфликтных ситуаций, создаваемых противоречивыми мотивами поведения в сложной производственной обстановке. Анализ рискованных действий человека показал, что у

горнорабочих угольных шахт часто встречаются следующие мотивы [1]:

- пренебрежительное отношение к риску;
- недисциплинированность;
- привычка к опасности;
- переоценка своих возможностей.

Модель человеко-машинной системы представлена на рисунке 1.

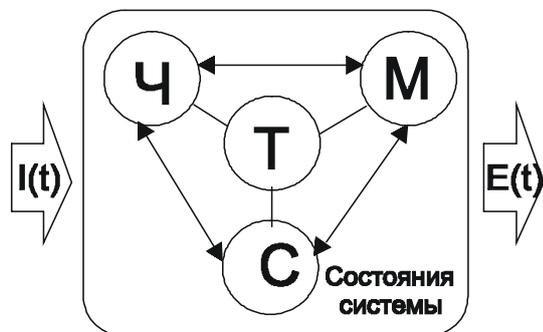


Рис. 1. Модель человеко-машинной системы: Ч – человек; М – машина; С – рабочая среда, которые связаны между собой и внешней (для всей системы) средой при помощи технологии (Т); $I(t)$ – входное информационно-материальное возмущение (управляющие команды на машины и механизмы, потоки материалов, энергии и т.п.); $E(t)$ – выход готовой продукции, отчеты о функционировании СТС в реальном режиме времени, и. т.п.

Развивающееся в процессе труда утомление способствует выбору неправильного решения, вытекающего из конфликта в выборе между выполнением работы безопасным способом или ее выполнением с меньшими усилиями и сроком, но с большим риском. Чрезмерная тяжесть отдельных операций, дефицит времени на их выполнение зачастую делают затруднительным соблюдение осторожности, а память о дополнительных усилиях, необходимых для применения средств безопасности (подкрепленная работой без травм), оправдывает рискованные действия.

Следует отметить, что человек, в отличие от автоматики, не ведет себя рационально. Более того, он осуществляет интуитивно поиск решений, которые отвечают статистическим критериям, или производит замещение подлежащего решению процесса ассоциацией с некоторой ранее имевшейся ситуацией, для которой у него отложилось в памяти решение по прежнему опыту. Такое решение, однако, возможно только на базе подходящей ментальной модели поведения системы. Наряду с вышеперечисленными способностями, человек как часть подсистемы "Человек-Машина-Среда" проявляет существенные недостатки:

- ограниченность памяти;
- отсутствие или наличие ментальной модели с ошибками;
- ограниченная надежность;
- недостаточное постоянство трудоспособности, в особенности, при длительной работе;
- предубежденность и фиксированность;
- недостаточная ментальная арифметика;
- ограниченная полоса пропускания при ручных реакциях.

По данным работы [1], существует три типа поведения человека:

- базирующееся на знаниях;
- базирующееся на правилах;
- базирующееся на готовности.

Уровень автоматизации человеко-машинной системы [1]:

$$VA = \frac{F_{авт}}{F_{авт+ручн}}, \quad (1)$$

где $F_{авт}$ – функции, которые могут быть выполнены автоматикой; $F_{авт+ручн}$ – функции, которые могут быть выполнены либо человеком, либо автоматикой.

Тогда максимально возможный уровень автоматизации, когда автоматизировано максимально возможное число функций [1]:

$$VA_{max} = \frac{F_{авт+ручн} - F_{ручн}}{F_{авт+ручн}}. \quad (2)$$

Понятие "человеческие отказы" является как бы преобразованием факта, что человек со своими врожденными и приобретенными способностями и слабостями недостаточно принимается в расчет при проектировании технических систем. Поэтому актуальна задача так спроектировать такую систему "Человек-Машина-Среда", чтобы она максимально "считалась" с человеком. В данной ситуации можно утверждать, что человек вынужден идти на компромисс с горными машинами, механизированным комплексом и очистным забоем в целом, в результате чего появляется возможность для оптимизации.

Справедливо и обратное: СТС (очистная выработка) также должна "приспосабливаться" к особенностям людей, ее обслуживающих. Последнее утверждение говорит о возможности оптимизации системы (очистной забой) по отношению к человеку.

Таким образом, имеются две возможности для оптимизации: первая – со стороны человека по отношению к очистному забою, и вторая – со стороны очистной выработки по отношению к человеку, в связи с чем, могут быть построены две целевые функции. Вообще говоря, более правильно понятие "человеческий отказ" заменить понятием "ошибка обслуживания". К основным причинам ошибок обслуживания можно отнести [1]:

- ситуационные факторы (неудобная компоновка, рабочее место, окружающая обстановка, информационный контроль);
- физические, эмоциональные, социальные и организационные факторы (утомленность, болезнь, стресс, негативный производственный климат, плохая обученность персонала);
- неправильное восприятие риска.

Сделанные в работе [2] выводы о негативном влиянии на человека дискомфортных условий труда в каменноугольных шахтах позволяют утверждать, что это влияние не может быть учтено детерминированным образом. При учете человеческого фактора необходимо уделять особое внимание обработке и уплотнению (сжатию) поступающей от контролирующей подсистем и центрального информационно-управляющего комплекса информации. Это необходимо для того, чтобы человек-оператор и обслужива-

ющий очистную выработку персонал могли адекватно и своевременно усвоить поступающий поток информации и принять на этой основе правильные решения. Для достижения такого эффекта уплотнение информации должно соответствовать ряду требований, которые можно сформулировать следующим образом:

– **определенность.** Человек должен получать конкретную информацию, в соответствии с которой необходимо предпринимать вполне конкретные и однозначные действия. Поступающая информация не должна давать поводов для колебаний либо быть хотя бы в какой-то мере двусмысленной;

– **обратимость.** В случае необходимости информационное сообщение должно иметь возможность быть развернутым для более подробного анализа причин, его создавших;

– **представительность.** Поступающая информация должна быть в форме, которая не сможет быть оставленной без внимания. Для очистной выработки это, по-видимому, должна быть система световой и звуковой сигнализации, размещенная на контрольно-управляющем пункте и непосредственно на рабочих местах.

Оценку надежности и безопасности СТС удобно осуществить не учитывая следующие общие положения:

– производственная деятельность потенциально опасна, так как связана с проведением технологических процессов, а последние – с энергопотреблением (выработкой, хранением, преобразованием механической, электрической, химической, ядерной и другой энергии);

– опасность проявляется в результате несанкционированного либо неуправляемого выхода энергии, накопленной в оборудовании и/или вредных веществах, непосредственно в самих работающих, во внешней относительно людей и техники среде;

– внезапный выход энергии может сопровождаться происшествиями с гибелью или травмированием людей, повреждениями оборудования или объектов окружающей их природной среды;

– происшествия предшествуют цепи предпосылок, приводящие к потере управления технологическим процессом, нежелательному выбросу используемых в нем энергии или вредных веществ, их воздействию на людей, оборудование и окружающую среду;

– звеньями причинной цепи происшествия являются ошибочные и несанкционированные действия персонала, неисправности и отказы техники, а также нерасчетные воздействия на них извне.

К человеку-оператору в данном контексте, а также и в определенном смысле, и ко всему обслуживающему очистной забой персоналу, кроме требований, обусловленных непосредственными производственными задачами, должен быть предъявлен следующий набор требований: безошибочность, готовность, восстанавливаемость, своевременность, точность восприятия и реагирования на поступающую информацию. В соответствии с этим необходимы дополнительные мероприятия по профотбору лиц, обслуживающих очистной забой.

В той или иной степени как операторы в очистной выработке работают все горнорабочие. К факторам,

обуславливающим ошибки в работе оператора, и ведущим к повышению опасности ведения работ, следует отнести [1]:

– недостаток информации об авариях;
– дефицит времени на принятие решений;
– неадекватная реакция в стрессовой ситуации (влияние стресса усугубляется страхом, обусловленным повышенной ответственностью, неуверенностью в себе, недостатком знаний и опыта).

Очевидно, что часть этих ошибок, причины которых не связаны с индивидуальными личностными качествами, может быть исключена в результате обучения и специальных тренингов.

Выводы.

Таким образом, можно утверждать, что:

– полный и однозначный прогноз уровня безопасности при ведении работ в очистной выработке по человеческому фактору невозможен в силу специфики психофизиологических характеристик человека;

– в качестве контролируемых параметров по данному фактору могут быть использованы численность работающих, их возраст и квалификация, которая должна оцениваться по специальной шкале;

– основным путем повышения уровня безопасности в очистном забое по человеческому фактору, является проведение обучающе-тренировочных занятий с обслуживающим очистной забой персоналом и регулярный контроль его психофизиологических характеристик.

В общем случае, подсистема "Обслуживающий персонал" является, в значительной степени специфической. Однако, несмотря на это, ее функционирование можно рассматривать со системотехнических позиций, как и функционирование всех остальных подсистем очистного забоя. Больше всего функционирование этой подсистемы сходно с функционированием подсистемы "Технологическое оборудование".

Действительно, подсистема "Обслуживающий персонал" оказывает посредством задания режимов работы технологического оборудования прямое воздействие на приконтурную область массива, изменяя его состояние. Очевидно, что выход за некоторые допустимые пределы параметров подсистемы "Обслуживающий персонал", влечет за собой аналогичные изменения в поведении отдельных подземных рабочих. С другой стороны, их неправильные действия могут повлечь за собой нарушения в работе всей СТС.

Тогда для оценки вероятности надежной работы подсистемы "Обслуживающий персонал" можно предложить следующий набор информативных параметров, который является квазипостоянным (он обновляется от смены к смене):

– число работающих в очистном забое, A_1 ;
– их квалификацию, A_2 ;
– возраст, A_3 ;
– отношение количества работающих в очистной выработке к их оптимальному (требуемому) количеству, A_4 ;
– прочие параметры работающих, способные оказать влияние на безопасность ведения работ, A_5 .

Кроме того, должен существовать определенный минимум биометрических параметров, регистрируемых непрерывно (в on-line режиме). К таким могут быть отнесены: температура тела человека-оператора, частота дыхания и пульса, возможно, регистрация акустического и ИК-излучения с поверхности тела горнорабочего. На сегодняшний день, эти измерения не производятся в силу сложности их реализации в

производственных условиях, а также дороговизны используемой аппаратуры.

Однако, совершенно очевидно, что такая информация могла бы стать одним из ключевых звеньев на пути к решению проблемы повышения уровня промышленной безопасности при эксплуатации важных и потенциально опасных производственных объектов.

ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Архангельский В.И. Человеко-машинные системы автоматизации // В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмшин. – К.: НБК «КиА», 2000. – 296 с.
Arhangelskiy V.I. Chelovecko-mashinnyie sistemy avtomatizatsiy [Man-machine systems of automation] // V.I. Arhangelskiy, I.N. Bogaenko, G.G. Grabovskiy, N.A. Riumshin. – K.: NVK "KiA", 2000. – 296 s.
2. Герлетка С. Влияние эргономических факторов на электрофизиологию человека // Безопасность труда в промышленности // С. Герлетка – 2003. – №1. – С. 59 – 63.
Gerletka S. Vliyanie ergonomicheskikh faktorov na elektrofiziologiyu cheloveka [Influence of ergonomic factors on human electrophysiology] // Bezopasnost truda v promishlenosti / S. Gerletka – 2003. – №1. – S. 59 – 63.
3. Мещанинов С.К. Методы моделирования и управления надежностью функционирования горных выработок [Текст]: моногр. // С.К. Мещанинов. – Национальный горный университет, 2012. – 360 с.

Meshaninov S.K. Metody modelirovaniya i upravleniya nadezhnostiu funkcionirovaniya gornih virabotok [Tekst]: monogr. [Simulation methods and reliability management operation mining] // S.K. Meshaninov. – Natsionalniy gorniy universitet, 2012. – 360 s.

4. Проников А.С. Надежность машин // А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.

Pronikov A.S. Nadiozhnost mashin [reliability of Machines] // Pronikov A.S. – M.: Mashinostroenie, 1978. – 592 s.

5. Ушаков К.З. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело // К.З. Ушаков, Н.О. Каледина, Б.Ф. Кирин. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 487 с.

Ushakov K.Z. Bezopasnost vedeniya gornih rabot i gornospasatelnoe delo [Safety of mining operations and Mine-rescue dealing] // K.Z. Ushakov, N.O. Kaledina, B.F. Kirin. – M.: Izd-vo MGU, 2002. – 487 s.

Meshaninov S.K., Guliesha O.M., Bagriy V.V., Ustimenko V.O.

Electronic system of biometric identification and reliability management operation man-machine system

Abstract. Presented the data of analytical researches of the electronic system of in the biometric control complex of functioning reliability the difficult technical system on the example of modern coal mine working out. Are considered the behavior of system "Man-machine-environment" on the basis of study of psihfisiological features man's behavior in the extreme terms of modern production. Made the conclusion that for the increase of industrial safaty during exploitation the important and potentially dangerous industrial objects must to exist a certain minimum of biometric parameters, controlled continuously (in the on-line mode).

Keywords: human factor, biometric control, difficult technical system, productive object