

2. **Гинцбург, Л. Л.** Управляемость автомобиля на повороте / Л. Л. Гинцбург. – М.: НИИНавтопром, 1968. – 47 с.

3. **Носенков, М. А.** Управляемость автомобилей и автопоездов. Рулевой привод / М. А. Носенков // Тр. НАМИ. – М., 1971. – Вып. 129. – С. 21–27.

4. **Лефаров, А. Х.** Конструирование и эксплуатация автомобилей и тракторов / А. Х. Лефаров, В. С. Войтешонок // Республиканский межведомственный сборник. – Минск, 1991. – Вып. 6. – С. 66–69.

5. **Дубовик, Д. А.** Количественная оценка реакции АТС на управляющее воздействие водителя / Д. А. Дубовик // Механика машин на пороге III тысячелетия: материалы междунар. науч. конф. / НЦ ПММ НАН Беларуси. – Минск: НИРУП «Белавтотракторостроение», 2001. – С. 203–205.

6. **Аппель, П.** Теоретическая механика: в 2 т. / П. Аппель; пер. с 6-го франц. изд. И. Г. Малкина. – М.:

Физматгиз, 1960. – Т. 2: Динамика системы. Аналитическая механика. – 487 с.

7. **Евграфов, А. Н.** Аэродинамика колесных машин / А. Н. Евграфов, М. С. Высоцкий. – Минск: НИРУП «Белавтотракторостроение», 2001. – 368 с.

8. **Фаробин, Я. Е.** Теория поворота транспортных машин / Я. Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1970. – 176 с.

9. **Дубовик, Д. А.** Повышение проходимости внедорожной машины посредством рационального привода колес управляемых мостов: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Д. А. Дубовик. – Минск, 2003. – 253 с.

10. **Ванцевич, В. В.** Вторая (обратная) задача динамики как основа для построения теории движения мобильных машин / В. В. Ванцевич, М. С. Высоцкий // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 1998. – Т. 42, № 6. – С. 104–110.

Поступила 30.03.2006

УДК 622.684:622.874

## РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВОДИТЕЛЕЙ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

*Канд. техн. наук САВЧЕНКО В. В.*

*Институт механики и надежности машин НАН Беларуси*

Исследования в области транспортной безопасности приводят к однозначному выводу: основной причиной большинства аварий и катастроф на транспорте является человеческий фактор, а именно ошибки водителей и диспетчеров. Понятно, что ошибки проектирования и изготовления транспортных средств или элементов инфраструктуры в конечном итоге тоже являются ошибками людей. И все же 90 % всех несчастных случаев обусловлены ошибками водителей. В 57 % происшествий человеческая ошибка – практически единственный фактор аварии (<http://www.ergogero.com/pages/roadaccidents.html>). Лишь 2,4 % несчастных случаев можно объяснить технической неисправностью, а неблагоприятная окружающая среда (например, гололед) полностью «ответственна» за 4,7 % дорожных происшествий, 35,9 % автопроисшествий происхо-

дят в силу сложного сочетания различных факторов.

Сегодня используются два основных пути повышения эффективности деятельности водителей автомобилей. Первый из них, основанный на учете психофизиологических характеристик водителя, связан с комплексной оптимизацией рабочей среды. Достаточно важен учет эргономических требований, предъявляемых к рабочим местам. Однако особенности деятельности водителей таковы, что, следуя лишь первым путем, не представляется возможным учитывать и контролировать информационные перегрузки, факторы монотонии, изменения функционального состояния, поведение в нештатных и аварийных ситуациях. Второй путь повышения надежности выполнения алгоритмов деятельности – это повышение надежности оператора как лица, принимающего

го решения и исполняющего алгоритмы деятельности. Данный путь предусматривает осуществление профессионального отбора, построение эффективного процесса профессиональной подготовки и переподготовки операторов, как правило, с использованием тренажеров для отработки редких действий [1], контроль функционального состояния и правильности выполнения алгоритмов деятельности непосредственно в процессе функционирования.

Условия работы водителей карьерных автосамосвалов, например на кимберлитовых месторождениях АК «АЛРОСА», достаточно сложные: высокий средневзвешенный уклон трассы, часто в непосредственной близости от отвалов, глубина разработок достигает 600 м и в ближайшие 10 лет ожидается ее понижение еще на 200 м, значительная глубина карьеров обуславливает увеличение загазованности атмосферы внутрикарьерного пространства, что негативно сказывается на функциональном состоянии водителей и в ряде случаев приводит к прекращению работ [2]. Повышенные требования к качеству выполнения алгоритмов деятельности вызваны тем, что допущенную водителем ошибку часто невозможно устранить или компенсировать другими управляющими действиями, а аварии, как правило, сопряжены с тяжелыми последствиями.

Наиболее важными и профессионально значимыми психофизиологическими качествами водителя, необходимыми для успешного выполнения алгоритмов деятельности по управлению карьерным автосамосвалом и обеспечивающими безопасность его функционирования, являются: монотонноустойчивость, готовность к экстренным действиям, высокий уровень бдительности, способность к прогнозированию динамики изменения внешней среды, сосредоточенное и устойчивое внимание; эмоциональная устойчивость, высокая мотивированность.

Не каждый водитель способен проводить корректную самооценку функционального состояния в реальном масштабе времени. Большинство аварий связаны с субъективными моментами в деятельности водителя и включают две составные части: аварийную ситуацию (например, помеха на пути следования) и несоответствующее ситуации функциональное

состояние оператора (например, неготовность к экстренному действию или эмоциональный стресс). Авария обычно возникает в том случае, когда имеют место обе составляющие. Выполнение экстренных, непрогнозируемых алгоритмов деятельности требует от водителя эмоциональной устойчивости и готовности к экстремальному действию, чтобы внезапная экстремальная ситуация не выступила в качестве стрессора. Состояние пониженной готовности водителя к экстремальному действию или переход к состоянию эмоционального стресса можно рассматривать как психофизиологическую предпосылку для возникновения отказов и аварий в системе «водитель – автомобиль».

Одной из частых причин гибели людей за рулем является сон. Однако этот фактор редко учитывает статистика фатальных автопроисшествий по той причине, что его крайне трудно выявить постфактум. Если водителя «сморил» на ночной дороге сон из-за, к примеру, усталости, то этот случай вряд ли будет выявлен, потому что нет способов установить реальные причины потери управления. Таким образом, кроме относительно редких случаев, когда кто-то из оставшихся в живых пассажиров данного автосредства успел заметить, что водитель уснул за рулем, что и послужило причиной аварии, выявить сон как причину автопроисшествия практически невозможно и эта причина лишь будет «разбросана» в итоговой статистике фатальных автопроисшествий по другим категориям (чаще всего в таких случаях формулировка – «не справился с управлением»). В то же время на долю аварий, связанных с засыпанием водителей во время управления автомобилем, приходится приблизительно 15 % случаев [3, 4].

Разработаны и используются бортовые системы поддержки работоспособности операторов (машинистов локомотивов и водителей автомобилей) транспортных систем, где автоматическая интерпретация функционального состояния основывается на мониторинге психофизиологических параметров (электродермальная активность) и выполнении формализуемых алгоритмов деятельности или их фрагментов (рациональных действий) [5–10]. Например, при управлении автомобилем рациональными действиями водителя являются: работа педалью

тормоза, переключение скоростных режимов, включение поворотов и др. Система автоматически интерпретирует функциональные состояния операторов типа «бодрствование – сниженный уровень бодрствования» как две крайние точки в пространстве функциональных состояний этого типа и динамику переходов между ними. Функциональное состояние «сниженный уровень бодрствования» означает, что оператор еще способен управлять транспортным средством, но время его реакций и качество управляющих действий снижаются, увеличивается вероятность совершения ошибок. Для нормализации (саморегуляции) функционального состояния оператора используются методология биологической обратной связи, алгоритмы, автоматически управляющие электрооборудованием и переводящие транспортное средство в аварийный режим, если оператор не реагирует на предупреждения системы. Таким образом система превентивно реагирует на наступление функционального состояния «сниженный уровень бодрствования» операторов (осуществляет упреждение перехода к «засыпанию») и способствует поддержанию функционального состояния оператора транспортной системы «человек – машина» в готовности к экстренным действиям (в реальном масштабе времени).

Также разработаны и используются интегрированная бортовая система контроля загрузки и топлива, диагностики автосамосвала БелАЗ 75131 и система диспетчеризации горно-транспортного оборудования карьеров с использованием спутниковой навигации [11]. Эти системы позволяют передавать по выделенному радиоканалу информацию о состоянии установленных на транспортном средстве датчиков (скорости, местоположении, загрузке, уровне топлива, состоянии двигателя и др.), в диспетчерском центре и на экране монитора визуализировать перемещения мобильного оборудования в режиме реального времени, а также фиксировать информацию с датчиков в базе данных, своевременно оповещая диспетчера о нарушениях технологического режима и простоях оборудования.

Система диспетчеризации служит для управления работой транспортных средств. В ее состав входят программное и аппаратное обес-

печения диспетчерского центра, контроллеры (с интегрированными платами GPS) и датчики, устанавливаемые на мобильных объектах, а также аппаратура передачи данных по радиоканалу (рис. 1). Степень контроля и анализа работы объектов зависит от решаемых задач и определяет функциональность и состав программного обеспечения. Автоматизированная система диспетчеризации горно-транспортного оборудования карьера позволяет получать, обрабатывать и анализировать информацию о работе технологического оборудования, а также оптимизировать транспортные грузопотоки в карьере.

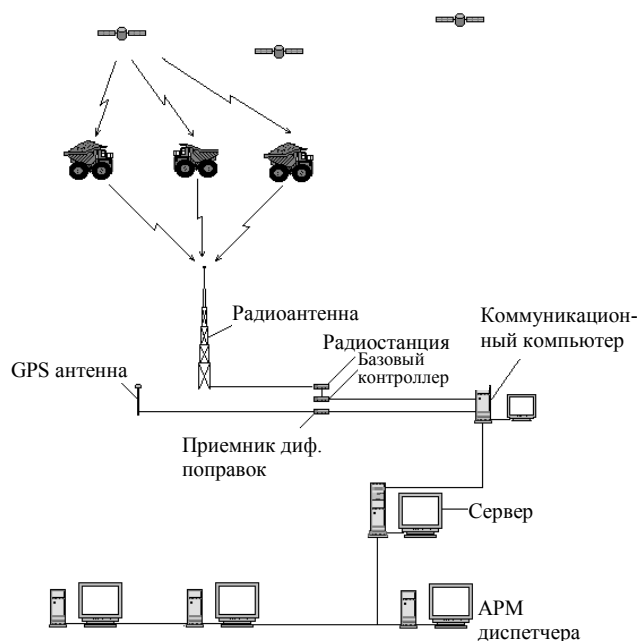


Рис. 1. Общая схема системы диспетчеризации (www.vistgroup.ru.)

Рассмотренные системы самодостаточны и могут устанавливаться на карьерные автосамосвалы как независимо друг от друга, так и совместно (по требованиям потребителей). При совместной работе систем поддержки работоспособности водителя и систем диагностики и диспетчеризации возможна, до определенного уровня, их информационная интеграция по согласованным типам интерфейса и протоколам обмена информации. Интегрирование или дополнение систем поддержки работоспособности операторов рядом функций, прежде всего передача информации в диспетчерский центр и отслеживание местоположения в реальном мас-

штабе времени транспортного средства на электронной карте местности, позволяет ставить и решать задачи по развитию и расширению функциональных возможностей систем поддержки работоспособности водителей.

Дополнительный анализ параметров электродермальной активности, таких как характеристики импульсов кожно-гальванической реакции (КГР) и плотность потока импульсов в единицу времени, позволит автоматически интерпретировать наступление «эмоционального возбуждения» водителя непосредственно во время выполнения алгоритмов деятельности и информировать о сложившейся ситуации оператора более высокого уровня управления, например диспетчера, для анализа сложившейся ситуации в реальном масштабе времени и последующего принятия решения.

Стрессовые состояния в поведении водителя могут проявляться двояко. В одном случае – это улучшение показателей деятельности, поиск и реализация наиболее оптимального пути решения задач, обусловленных нештатной ситуацией. Эмоциональное напряжение здесь является дополнительным активирующим фактором. В другом случае деятельность дезорганизуется, появляются реакции, не соответствующие цели выполнения алгоритмов деятельности. В первом случае функциональное состояние оценивается как эмоциональное напряжение, во втором – как эмоциональный стресс. Различие двух данных функциональных состояний состоит в том, что при эмоциональном напряжении возрастает активность функциональных и физиологических систем, а эмоциональный стресс характеризуется дискоординацией физиологических и психических функций. При эмоциональном напряжении усилия водителя направлены на преодоление экстремальных факторов. Эмоциональный же стресс главным образом ориентирован на сохранение жизни (здоровья), а не на выполнение алгоритмов деятельности. Для эмоционального стресса характерен отказ от анализа ситуации и принятия решения в аспекте деятельности. Формы эмоционального стресса связаны со степенью экстремальности ситуации. Исследователи выделяют три уровня [12] реакций. Реакции малой степени характеризуются некоторым ухудшением функций внимания, памяти, замедлением темпа работ. При средней степени происходит значительное ухудшение реализации психофизиологических функций. Снижаются чувствительность и устойчивость внимания, сужается объем оперативной и дол-

говременной памяти. В этом состоянии водитель может настойчиво повторять одно и то же ошибочное действие. Состояние крайней степени может привести к пассивной или активной форме поведения, но в обоих случаях отсутствует сознательный контроль. При пассивной форме реакции наступают оцепенение, полное прекращение деятельности. Активное поведение проявляется обычно как паника.

При эмоциональном напряжении психофизиологические функции претерпевают во многом противоположные изменения. Чувствительность тех функциональных систем, которые участвуют в выполнении алгоритмов деятельности, повышается. Внимание концентрируется на текущей ситуации, все посторонние сигналы игнорируются. Значительно повышается скорость переключения внимания, происходят избирательные изменения оперативной памяти. Отличительным признаком рассматриваемого состояния является повышение продуктивности мышления и в ряде случаев – переход к нестандартным решениям. Развитие динамики эмоционального напряжения в значительной степени зависит от индивидуальной реактивности водителя, состояния нейрорегуляторных механизмов защиты и возможностей компенсации. Качество стрессоустойчивости оказывается сложным структурным признаком, определяемым на уровне целостной личности.

На основе анализа факторов, влияющих на эффективность выполнения водителем алгоритмов деятельности и функциональных возможностей систем поддержки работоспособности с использованием мониторинга психофизиологических параметров и методологии биологической обратной связи, диагностики и диспетчеризации карьерных автосамосвалов со спутниковой навигацией, предлагается подход к созданию интегрированной системы более высокого иерархического уровня с расширением функциональных возможностей по мониторингу пространства функциональных состояний водителя (развитие эмоционального возбуждения) непосредственно во время выполнения алгоритмов деятельности. Ниже представлен базовый алгоритм интерпретации функционального состояния оператора как эмоциональное возбуждение.

Шаг 1. Определение индивидуальных характеристик электрического сопротивления кожи (ЭСК) оператора и вычисление минимальных пороговых значений изменений ЭСК, интерпретируемых как импульс КГР.

Шаг 2. Мониторинг по КГР оператора во время выполнения алгоритмов деятельности и определение характеристик амплитуд импульсов  $A_0$  и межимпульсного интервала  $t_0$ .

Шаг 3. Определение фоновой  $A_{01}$  путем усреднения трех наибольших  $A_1, \dots, A_n$  за последние 5 мин деятельности. Операция выполняется в цикле.

Шаг 4. Определение фонового  $t_{01}$  путем усреднения всех межимпульсных интервалов за последние 5 мин деятельности. Операция выполняется в цикле.

Шаг 5. Сравнение полученных  $A_{01}$  и  $t_{01}$  с текущими  $A_x$  и  $t_x$ . В случае, если за интервал 10 с зафиксировано не менее двух импульсов физической составляющей с абсолютными значениями  $A_{x1}, A_{x2}, \dots, A_{xn}$  в два раза больше, чем значение  $A_{01}$ , при  $t_{x1}, t_{x2}, \dots, t_{xn}$  меньше, чем  $t_{01}$ , интерпретируется развитие состояния эмоционального возбуждения оператора.

Шаг 6. Автоматическое информирование персонала следующего иерархического уровня управления об эмоциональном возбуждении конкретного оператора на конкретном рабочем месте. Подключение внешнего контроля выполнения алгоритмов деятельности оператором в реальном масштабе времени.

Разработка организационно-технических мероприятий по поддержанию требуемого уровня надежности автосамосвалов – одна из приоритетных задач повышения эффективности функционирования карьерного автотранспорта [13].

## ВЫВОДЫ

1. Для минимизации влияния негативных аспектов человеческого фактора на эффективность функционирования карьерных автосамосвалов, например семейства БелАЗ, могут использоваться известные системы поддержки работоспособности водителей.

2. Создание бортовых аппаратно-программных средств с функцией контроля развития эмоционального возбуждения водителей карьерных автосамосвалов и других транспортных систем «человек – машина», где используются диспетчерские схемы управления в реальном масштабе времени, позволит обоснованно и в нужный момент времени вводить внешний контроль за деятельностью водителя (оператора) и в случае необходимости – внешние элементы управления (переход на аварийный режим функционирования) либо с использованием автоматических алгоритмов, либо с использованием ресурсов и возможностей диспетчерского управления.

3. Предполагается, что неизбежность введения внешнего контроля за деятельностью оператора в момент возникновения нестандартных (нештатных) ситуаций для него будет являться значимой мотивацией, способствующей и мобилизующей к принятию конструктивных решений по дальнейшему управлению транспортной системой.

4. Основная цель настоящей статьи – обсуждение одного из возможных путей повышения эффективности функционирования карьерных автосамосвалов путем минимизации влияния негативных аспектов человеческого фактора непосредственно во время выполнения водителем алгоритмов деятельности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Савченко, В. В. Биоадаптивные анимации в задачах подготовки операторов систем «человек – машина» / В. В. Савченко // Биотехнические системы в 21 веке: материалы всерос. науч.-техн. конф. 22–26 марта 2004 г. – СПб., 2004. – С. 105–107.
2. Зырьянов, И. В. Опыт эксплуатации карьерных автосамосвалов в АК «АЛРОСА» / И. В. Зырьянов // Горный журнал. – 2003. – № 11. – С. 43–48.
3. Rouchhout, D. Fatigue related accidents in patients with sleep disordered breathing (A review of the literature) / D. Rouchhout. – Belgian Road Safety Institute, 1999.
4. Герус, С. В. Система мониторинга состояния водителя / С. В. Герус [и др.] // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2003. – № 8. – С. 46–52.
5. Савченко, В. В. Подход к разработке системы управления уровнем бдительности водителя автомобиля / В. В. Савченко // Опыт разработки и использования электронных и микропроцессорных систем повышения безопасности и экологичности транспорта. – Л., 1991. – С. 49–56.
6. Способ контроля уровня бодрствования человека и устройство для его осуществления: патент РФ № 2025731 / В. В. Бонч-Бруевич, В. Б. Волкова, В. В. Дементенко [и др.].
7. Новое направление / М. С. Высоцкий [и др.] // Автомобильная промышленность. – 1995. – № 1. – С. 36–38.
8. Savchenko, V. V. Monitoring of an Operators Vigilance Level by Skin Resistance Response / V. V. Savchenko // Journal of IFAC: Control Engineering Practice. – 1996. – Vol. 4, № 1. – P. 67–72.
9. Дементенко, В. В. Единственный в мире «детектор сна» / В. В. Дементенко // Евразия-вести. Безопасность железнодорожного транспорта. – 2002. – № 12. – С. 14–15.
10. Марков, А. Г. Лед тронулся – автоматический контроль бодрствования водителя / А. Г. Марков // Отечественные и зарубежные автомобили. – 2004. – № 1. – С. 8–9.
11. Автоматизированные системы диспетчеризации [электронный ресурс]: www.vistgrup.ru.
12. Нерсесян, Л. С. Психологические аспекты повышения надежности управления движущимися объектами / Л. С. Нерсесян. – М.: Промедэк, 1992. – 288 с.
13. Зырьянов, И. В. Управление качеством эксплуатации технологического автотранспорта на кимберлитовых карьерах Якутии / И. В. Зырьянов, С. Ф. Пацианский // Горные машины и автоматика. – 2003. – № 2. – С. 31–33.

Поступила 10.04.2006