

УДК 612.821+612.223+616-073.97

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ФУНКЦИОНАЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ ОПЕРАТОРОВ

В.В. САВЧЕНКО

*Институт механики и надежности машин НАН Беларуси
ул. Академическая, 12, 220072, Минск, Беларусь*

Поступила в редакцию 5 марта 2005

Приводятся результаты исследования роботизированных однопрессовых и двухпрессовых участков штамповки деталей из штучных заготовок. Для двенадцати компоновочных схем таких участков разработаны алгоритмы их функционирования и программы имитационного моделирования на языке GPSS. На основе анализа компьютерного расчета даны рекомендации о применении конфигураций участков.

Ключевые слова: биологическая обратная связь, бодрствование, оператор, системы "человек-машина", функциональное состояние.

Введение

Мониторинг уровня активности (бодрствования) операторов, управляющих энергонасыщенными системами "человек-машина", прогнозирование их способности к экстренным действиям, часто в условиях монотонного выполнения алгоритмов деятельности, становятся с каждым годом все более актуальными задачами для широкого класса систем "человек-машина" (СЧМ). Статистические данные неутешительны: по причине "человеческого фактора" происходит от 50 до 80% аварий и катастроф. Особенно актуальны эти задачи в тех СЧМ, где деятельность операторов не контролируется диспетчерскими службами. Например, водители большегрузных автопоездов по роду своей деятельности часто находятся в рейсах от нескольких суток до нескольких недель. Только в России около 3100 грузовых автомобилей ежегодно попадают в дорожно-транспортные происшествия (ДТП) в результате засыпания водителей [1].

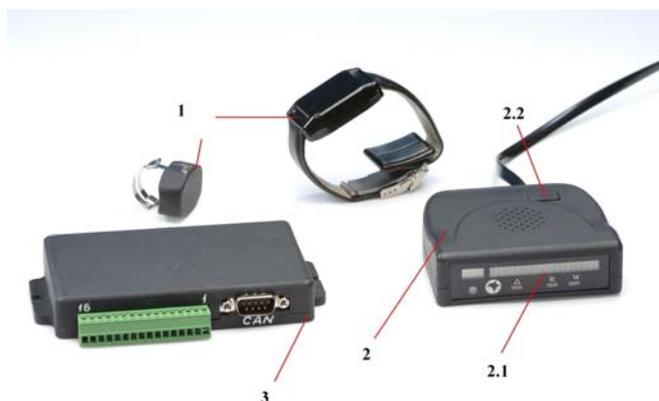
На основе анализа причин ДТП получено следующее распределение ошибок водителей по категориям: ошибка пропуска — существенное действие не выполнено; ошибка исполнения — выполненное действие неправильно; экстраординарная ошибка — совершенное действие не должно было быть выполнено; последовательная ошибка — порядок выполнения действий был неправильным; временная ошибка — время выполнения действий было неправильным. Сравнение этих категорий ошибок с причинами ДТП показывает, что задержка распознаваемости предметов, в результате которой происходит около 50% ДТП, зависит главным образом от временной ошибки. Принятие ошибочных решений водителями является причиной 40% всех ДТП (ошибки исполнения). Неправильные действия водителей по управлению транспортным средством — причины 5% всех ДТП (экстраординарная ошибка). У водителей, управляющих транспортным средством в состоянии уменьшенной степени бодрствования, повышается вероятность быть вовлеченными в ДТП ввиду того, что время реакции увеличивается из-за падения способности быстро реагировать и обрабатывать разнообразную информацию, а также из-за мышечной релаксации. В таком состоянии водителю требуется 3–4 с для отжатия педали тормоза вместо 0,7 с в нормальном состоянии. Поиск способов сокращения времени реакции води-

телей актуален, поскольку уменьшение этого времени на 0,5 с способствует сокращению приблизительно на 60% наездов сзади, на 50% ДТП на перекрестках и на 30% ДТП с участием встречных транспортных средств. При уменьшении времени реакции на 1 с на 90% сокращаются наезды сзади и ДТП на перекрестках, предотвращается свыше 60% встречных столкновений автомобилей [2].

Система поддержания работоспособности водителя

Разработаны и серийно выпускаются системы поддержания 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) [3–8]. Например, при управлении автомобилем рациональными действиями водителя являются работа педалью тормоза, переключение скоростных режимов, включение поворотов и др. Системой автоматически интерпретируются функциональные состояния операторов типа "бодрствование – сниженный уровень бодрствования" как две крайние точки в пространстве функциональных состояний этого типа и динамика переходов между ними. Функциональное состояние "сниженный уровень бодрствования" означает, что оператор еще способен управлять транспортным средством, но время его реакций увеличивается, качество управляющих действий ухудшается, повышается вероятность совершения ошибок.

Общий вид системы поддержания работоспособности водителей (СПРВ) представлен на рис. 1 (www.neurocom.ru).



Система поддержания работоспособности водителей: 1 — блок СПРВ-Н "Браслет" и "Перстень"; 2 — блок СПРВ-С; 2.1 — индикатор для организации БОС; 2.2 — кнопка обратной связи; 3 — блок СПРВ-Д

СПРВ предназначена для мониторинга функционального состояния водителя и отображения уровня его бодрствования в реальном масштабе времени на линейчатом индикаторе (поз. 2.1 на рис. 1), т.е. организации семантической визуальной биологической обратной связи (БОС) по функциональному состоянию [9], а также для выдачи предупреждающих звуковых сигналов, при устойчивой динамике состояния по отношению к снижению уровню бодрствования (релаксации) и формировании управляющих воздействий на электрические цепи (аварийную сигнализацию, клаксон, фары и т.п.) автомобиля в случае, если водитель не отреагировал на предупреждение СПРВ. Тем самым предупреждается глубокая релаксация (и соответственно переходы в состояния "дремы" и "засыпания"), а водитель поддерживается в состоянии готовности к экстренному действию.

Носимые оператором части "Браслет" и "Перстень" блока СПРВ-Н надеваются соответственно на запястье и на палец, имеют автоматическое включение (при надевании) и выключение (при снятии) и по радиоканалу передают измеряемую информацию на блок СПРВ-С, содержащий приемник и управляющий контроллер системы. Рабочая частота радиоканала

(868,3±25) МГц, дальность радиоканала между приборами СПРВ-Н и СПРВ-С не менее 2 м. Блоки имеют встроенную автоматическую диагностику (контроль функционирования) [10]. Управляющий контроллер обрабатывает и анализирует принимаемую по радиоканалу информацию о динамике параметров электродермальной активности с учетом индивидуальных особенностей операторов, а также информацию от блока датчиков (СПРВ-Д), регистрирующих выполнение оператором рациональных действий; автоматически информирует о динамике и уровне бодрствования оператора и в случае интерпретации функционального состояния типа "сниженный уровень бодрствования" вырабатывает сигналы, требующие от оператора подтверждения возможности выполнения алгоритмов деятельности. Если такое подтверждение не получено, автоматически вырабатывается сигнал на перевод СЧМ в аварийный режим функционирования. Текущий уровень бодрствования отображается на линейчатом индикаторе, имеющем десять градаций желтого цвета.

При снижении уровня бодрствования оператора до критического (когда на индикаторе, в левой его части, отображаются только две пары сегментов желтого цвета) управляющий контроллер вырабатывает команду, поступающую на блок СПРВ-Д, который отключает звук магнитолы (если она включена). Управляющий контроллер подает предупреждающий звуковой сигнал, включая при этом первое реле блока СПРВ-Д. Если в течение 7 с не происходит никаких значимых событий, рациональных действий оператора, выявления кожно-гальванической реакции в электродермальной активности или нажатия оператором кнопки обратной связи (встроена в крышку блока СПРВ-С), управляющий контроллер начнет предпринимать попытки активизировать оператора, увеличивает мощность звукового сигнала и через определенные промежутки времени включит второе и третье реле блока СПРВ-Д. Срабатывание второго и третьего реле фактически означает автоматический перевод СЧМ в аварийный режим функционирования. Например, на железнодорожном транспорте конечный результат работы системы типа СПРВ — выдача команды на включение экстренного торможения состава, вне зависимости от условий движения и его характеристик (грузовой / пассажирский, скорости, характеристик перегона, времени года и суток и т.п.); на автомобильном транспорте — включение аварийной сигнализации, клаксона, фар и т.п.

Поскольку для передачи информации от оператора к техническим средствам использована ближняя телеметрия, СПРВ практически не вносит дискомфорт в деятельность оператора.

Особенности организации семантической биологической обратной связи

Под функциональным состоянием понимается способность оператора в конкретный момент (диапазон) времени штатно выполнять заданные алгоритмы деятельности по управлению СЧМ. Известно, что в подавляющем большинстве случаев не представляется возможным описать функциональные состояния оператора в виде простого изменения в функционировании одной или нескольких функциональных систем организма. Поскольку функциональное состояние оператора формируется в процессе деятельности и является результатом координированного указанными целями (целевой функцией) взаимодействия и взаимных компенсаций функциональных систем различного иерархического уровня, текущее функциональное состояние характеризуется не константными показателями, а определенным типом их динамики в процессе выполнения конкретных алгоритмов деятельности или их фрагментов. Функциональное состояние — это интегральный показатель. В целях диагностики функционального состояния главное значение имеет информация об основных тенденциях в характере изменения регистрируемых показателей, а не их абсолютные значения. Выбор характеристик (показателей), подлежащих контролю, определяется его целями, условиями и спецификой работы оператора. Однако в любом случае к комплексу анализируемых показателей выдвигаются требования информативности, достоверности, возможности регистрации без внесения дискомфорта при выполнении алгоритмов деятельности оператором, возможности оценки динамики показателей в течение рабочего дня (смены).

Рассмотрим особенности организации семантической БОС по функциональному состоянию в контексте классической методологии БОС. Метод классической БОС основан на допущении, что если человеку дают адекватную информацию (принцип обратной связи в кибер-

нетике) о текущем значении и динамике различных физиологических и психофизиологических параметров, то он может научиться не только сознательно контролировать их, но и выработать навык на их произвольную регуляцию. Параметры имеют физическую размерность (милливольты, килоомы, секунды и т.п.). Адекватность чаще всего достигается организацией линейной БОС в реальном масштабе времени: например, изменение параметра на два процента приводит к аналогичному (на два процента) изменению в характеристиках отображаемого сигнала (звукового, визуального) БОС.

Функциональное состояние — качественная характеристика. Визуальная семантическая БОС организуется следующим образом: переход от "бодрствования" к "сниженному уровню бодрствования" отображается на линейчатом индикаторе путем уменьшения столбика желтого цвета справа налево через постоянные интервалы времени до момента, пока не будет зафиксировано значимое событие (выявление кожно-гальванической реакции, рациональных действий или нажатие оператором кнопки обратной связи) или до выдачи СПРВ предупреждающего звукового сигнала; переход от "сниженного уровня бодрствования" к "бодрствованию" отображается путем увеличения столбика на один дискрет при каждом значимом событии, т.е. для интерпретации "бодрствования" требуется многократное подтверждение этого состояния.

Мониторинг функционального состояния оператора осуществляется на протяжении всего периода выполнения алгоритмов деятельности. Организуется семантическая БОС комбинированного типа в следующей последовательности. Визуальная БОС организуется с использованием линейчатого индикатора, когда функциональное состояние находится в допустимом диапазоне. Причем когда функциональное состояние находится в начале допустимого диапазона, визуальная БОС статична (столбик желтого цвета высвечен полностью). Оператор имеет возможность в любой момент времени увидеть оценку своего функционального состояния СПРВ. Поскольку состояние — процесс динамический и инерционный (не изменяющийся мгновенно во времени), существует определенный интервал времени Δt при переходе от "бодрствования" к "сниженному уровню бодрствования". Оператор имеет возможность осуществлять управление (саморегуляцию) своим состоянием в оптимальный для него момент времени t_{opt} из интервала Δt . Моментом t_{opt} будет являться тот момент, когда оператор наименее загружен непосредственно обработкой основного алгоритма деятельности. Генерация СПРВ предупреждающего звукового сигнала в случае интерпретации "сниженного уровня бодрствования" фактически является звуковой БОС, которая организуется параллельно с визуальной БОС. Таким образом, в процесс вовлекается другая (еще одна) аналитическая система оператора. Оператор осознает, что если он не допустит перехода к функциональному состоянию "сниженный уровень бодрствования", то исключается необходимость в обработке дополнительной функции (нажатие оператором кнопки обратной связи), что является локальной мотивацией — одним из важных факторов при биоуправлении на основе БОС. У оператора существует мотивация и на другом иерархическом уровне — превентивно предотвратить потенциальную возможность автоматического перехода СЧМ в аварийный режим функционирования.

Заключение

Таким образом, методология, заложенная в основу СПРВ, позволяет не только упредить развитие релаксации операторов (например, обусловленной монотонией отдельных этапов алгоритмов деятельности, повышением комфорта и эргономичности рабочих мест), но и поддерживать оператора в состоянии готовности к экстренному действию. Монотония развивается при однообразной рабочей нагрузке, связанной с длительным выполнением одинаковых элементарных действий или с устойчивой непрерывной концентрацией внимания в условиях дефицита сенсорной информации. Повышается качество деятельности: экспериментально установлено [11], что количество ошибочных действий машинистов локомотивов снижается примерно в 6 раз. СПРВ также предупреждает развитие "сенсорного голода" оператора, поскольку сигналы семантической БОС релевантны.

В настоящее время общепризнан подход к оценке функционального состояния с учетом индивидуальных особенностей операторов, характера и конкретных условий их работы. Особенно перспективной в плане получения как фундаментальных, так и прикладных научных ре-

зультатов является разработка методов, алгоритмов и систем повышения эффективности функционирования операторов как на этапе обучения (технологической подготовки), так и непосредственно во время выполнения алгоритмов деятельности с использованием биоуправления на основе БОС. Опыт свидетельствует, что относительно малозатратные решения по мониторингу функционального состояния операторов во время выполнения алгоритмов деятельности могут оказаться более эффективными, чем крупные вложения средств в совершенствование только технических компонент СЧМ.

Проблема устранения (минимизации) влияния негативных аспектов "человеческого фактора" на эффективность функционирования транспортных СЧМ предполагает системный подход и решение следующих взаимосвязанных задач: выполнение эргономических требований, предъявляемых к рабочим местам операторов; профессиональный отбор; подготовка и переподготовка операторов с выработкой устойчивых навыков редких действий в нестандартных ситуациях на тренажерах; предсменная диагностика функционального состояния; организация рационального режима труда и отдыха; мониторинг функционального состояния непосредственно в процессе выполнения алгоритмов деятельности.

PARTICULARS OF THE ORGANIZATION SEMANTIC BIOFEEDBACK AN OPERATOR'S FUNCTIONAL STATE

V.V. SAVCHENKO

Abstract

Algorithms of work and structure of driver vigilance telemetric control system are considered. Automatic interpretation an operator's functional state is based on monitoring psycho-physiological parameters (electrodermal activity) and the control performance of formalizable activity algorithms or their fragments (rational actions). Static or dynamic visual semantic biofeedback at operator's functional state is used. In cases when operator's functional state is interpreted as "loss of vigilance", the sound biofeedback is simultaneously organized.

Литература

1. Герус С.В., Дементюенко В.В., Марков А.Г., Шахнарович В.М. // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2003. № 8. С. 46-52.
2. Управление и безопасность в дорожном движении / Под ред. В.В. Сильянова // Экспресс-информация ВИНТИ. 1992. № 35. 19 с.
3. Савченко В.В. // Опыт разработки и использования электронных и микропроцессорных систем повышения безопасности и экологичности транспорта. Л., 1991. С. 49-56.
4. Бонч-Бруевич В.В., Волковой В.Б., Дементюенко В.В. и др. Способ контроля уровня бодрствования человека и устройство для его осуществления // Патент РФ № 2025731 МКИ⁵ G 01 N 33/483 Бюл. изобрет. 1994. № 24.
5. Высоцкий М.С., Савченко В.В., Горбачев М.И. и др. // Автомобильная промышленность. 1995. № 1. С. 36-38.
6. Savchenko V.V. // Journal of IFAC: Control Engineering Practice. 1996. Vol. 4, N 1. P. 67-72.
7. Дементюенко В. В. // Евразия-вести. Безопасность железнодорожного транспорта. 2002. № 12. С. 14-15.
8. Марков А.Г. // Отечественные и зарубежные автомобили. 2004. № 1. С. 8-9.
9. Савченко В.В. // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2004. № 5-6. С. 75-79.
10. Комплекс СПРВ. Руководство по эксплуатации.
11. Сивак Ю.Г. // Электрическая и тепловая тяга. 1987. № 5. С. 22-24.