

Оригинальная статья

УДК 159.9.07, 159.91, 159.98
doi: 10.11621/npj.2021.0307

Эргономическое обеспечение проектирования и внедрения прибора контроля бодрствования железнодорожного машиниста

Н.А. Михайлова, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
ORCID: 0000-0002-3268-4094

А.Ю. Николаев, Центр передовых технологий управления персоналом и профессионального обучения
ОАО «РЖД», Москва, Россия
ORCID: 0000-0002-9877-0470

О.Г. Носкова*, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
ORCID: 0000-0003-2428-7096

*Для контактов: nog4813@mail.ru

Актуальность темы. Статья посвящена проблеме контроля функционального состояния оператора, эта тема была и остается важной, в частности, в контексте обеспечения безопасности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте.

Цель исследования. Анализ проектирования и итогов внедрения в 1996 г. автоматизированной телемеханической системы контроля бодрствования железнодорожных машинистов (ТСКБМ), основанной на регистрации электродермальной активности — ЭДА (кожно-гальванической реакции).

Гипотеза исследования. Выбранный способ контроля состояния бодрствования и алгоритм действий оператора в случае диагностики нежелательных характеристик состояния при использовании ТСКБМ может создавать для машинистов дополнительные стрессовые состояния, что может негативно отражаться на профессиональной деятельности.

Проведение исследования и использованные методы. В работе выполнен анализ литературных данных, а также проведено пилотное исследование: психологический анализ деятельности современных железнодорожных машинистов разных типов, анализ технической документации, метод беседы с инженерами железнодорожного профиля, метод структурированного интервью с группой машинистов-классников, повышающих квалификацию (8 человек).

Результаты исследования. Рассмотрены современные автоматические системы контроля бодрствования операторов, дано описание ТСКБМ, обсуждены психофизиологические основы ее применения, представлены данные эмпирического анализа, доказывающие справедливость гипотезы о том, что использование ТСКБМ в работе машинистов электропоезда действительно создает дополнительные проблемные ситуации и стрессовые состояния, сделан вывод о необходимости более развернутых эмпирических исследований. В итоге представлены позитивные и негативные стороны применения ТСКБМ, даны конкретные рекомендации по ее использованию и соответствующей подготовке машинистов.

Заключение. Анализ применения ТСКБМ для авторов статьи служит примером важности применения инженерно-психологических и эргономических положений в проектировании и внедрении в практику новых автоматизированных технических средств контроля функциональных состояний на основе учета их влияния на одновременное осуществление оператором его основной профессиональной деятельности.

Ключевые слова: уровень бодрствования, железнодорожные машинисты, способы контроля функционального состояния, электродермальная активность, инженерная психология, эргономика, анализ деятельности

Для цитирования: Михайлова Н.А., Николаев А.Ю., Носкова О.Г. Эргономическое обеспечение проектирования и внедрения прибора контроля бодрствования железнодорожного машиниста // Национальный психологический журнал. 2021. № 3 (43). С. 87–95. doi: 10.11621/npj.2021.0307

Поступила 6 июля 2021 / Принята к публикации: 16 августа 2021

Ergonomic design and implementation of a wakefulness control device for a railway train driver

Natalia A. Mikhailova, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0002-3268-4094

Artur Yu. Nikolaev, the Center for Advanced Technologies of Personnel Management and Professional Training of JSC "Russian Railways", Moscow, Russia

ORCID: 0000-0002-9877-0470

Olga G. Noskova*, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0003-2428-7096

*Corresponding author: nog4813@mail.ru

Relevance. The article is devoted to the problem of monitoring the functional state of the operator, this topic has been and remains important, in particular, in the context of ensuring the safety of railway transport.

Purpose of the study. Analysis of the design and implementation of an automated telemechanical system for monitoring the wakefulness of railway drivers (TSMWRD), introduced in 1996, based on the registration of electrodermal activity (galvanic skin reaction).

Research objective. The selected method of monitoring the state of wakefulness and the algorithm of the operator's actions in the event of diagnosing undesirable characteristics of the state during use (TSMWRD) can create additional stress conditions for drivers and increase the risk of accidents and violations of the rules.

Procedure and research methods. The research used the analysis of literature data. A qualitative empirical study was also carried out. It included a psychological analysis of the activities of modern railway drivers of various types, analysis of technical documentation, a method of conversation with train drivers, a method of structured interview with a group of class train drivers who are improving their qualifications (8 people).

Results. Modern automatic systems for monitoring the wakefulness of operators are considered, a description of the TSMWRD is given, the psychophysiological foundations of its application are discussed. The data of an empirical study are presented, proving the validity of the hypothesis that the use of the TSMWRD in the work of electric train drivers really creates additional problem situations and stressful conditions. As a result, the positive and negative aspects of the use of TSMWRD are presented, specific recommendations are given on its use and the appropriate training of drivers.

Conclusion. The analysis of the use of TSMWRD serves as an example of the importance of using engineering-psychological and ergonomic provisions in the design and implementation of new automated technical means of monitoring functional states in practice. Their implementation should be based on taking into account their influence on the operator's simultaneous performance of his main professional activity.

Key words: level of wakefulness, train drivers, state control methods, electrodermal activity, engineering psychology, ergonomics, activity modeling

For citation: Mikhailova, N.A., Nikolaev, A.Yu., Noskova, O.G. (2021). Ergonomic design and implementation of a wakefulness control device for a railway train driver. *National Psychological Journal*, [Natsional'nyy psikhologicheskiiy zhurnal], 3(43), 87–95. doi: 10.11621/npj.2021.0307

Received July 6, 2021 / Accepted for publication August 16, 2021

Введение

В настоящее время задача поддержания оптимального функционального состояния операторов остается актуальной. Сниженная работоспособность машиниста может провоцировать аварии, а также ухудшение здоровья работников. Для непрерывной диагностики функционального состояния оператора разработаны автоматизированные системы контроля состояния. Основной задачей таких систем является обеспечение оптимального состояния машиниста в течение всей смены. Эти системы применяются для контроля бодрствования машинистов электропоездов, метрополитена, водителей автобусов, грузовых автомобилей и др. по всему миру (Елякин, 2016). За 2019 год на российских железных дорогах было допущено 20 652 экстренных торможения из-за срабатывания локомотивных устройств безопасности (Мониторинг..., 2019). Автоматическое экстренное

торможение поезда может вызывать аварийные ситуации, с этим связана необходимость пересмотра форм вмешательства автоматических систем в управление поездом.

В данной статье будут представлены результаты анализа эргономического обеспечения проектирования и внедрения телемеханической системы контроля бодрствования машиниста (ТСКБМ).

Цель исследования состояла в определении особенностей ТСКБМ, ее достоинств и возможных ограничений в контексте профессиональной деятельности машинистов разного профиля.

Гипотеза исследования

Телемеханическая система контроля бодрствования машиниста может быть причиной развития дополнительных стрессовых состояний у машинистов.



Наталья Александровна Михайлова —

студентка кафедры психологии труда и инженерной психологии факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

ORCID: 0000-0002-3268-4094

Natalia A. Mikhailova —

Student at the Department for Occupational Psychology and Engineering Psychology, Faculty of Psychology Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University

ORCID: 0000-0002-3268-4094



Артур Юрьевич Николаев —

и. о. начальника Центра передовых технологий управления персоналом и профессионального обучения ОАО «РЖД»

ORCID: 0000-0002-9877-0470

Artur Yu. Nikolaev —

Acting Chief at the Center for Advanced Technologies of Personnel Management and Professional Training of JSC “Russian Railways”

ORCID: 0000-0002-9877-0470



Ольга Геннадьевна Носкова —

доктор психологических наук, профессор кафедры психологии труда и инженерной психологии факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

ORCID: 0000-0003-1856-9978

Olga G. Noskova —

Doctor of Psychology, Professor at the Department for Occupational Psychology and Engineering Psychology, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University

ORCID: 0000-0003-1856-9978

Эргономические принципы проектирования сложных систем

Основным принципом проектирования сложных технических систем является учёт профессиональных особенностей труда оператора: исследование структуры и последовательности профессионально регламентированных действий оператора (Психология труда..., 2015). Известный американский эргономист Д. Мейстер еще в середине 1970-х гг. отмечал, что нельзя рассматривать поведение работника вне системы «человек-машина» (Мейстер, 1979). Одной из опасных ошибок в проектировании техники является отсутствие анализа функционирования эргатической системы в целом, зачастую учитываются только её отдельные компоненты. В таких случаях внедрение новой технологии, нового прибора нередко не облегчает профессиональную деятельность оператора, а наоборот — усложняет и снижает надежность системы.

Автоматические системы контроля бодрствования оператора

Существует много вариантов автоматических систем контроля функционального состояния оператора. Нами будут рассмотрены те системы, которые можно использовать для непрерывной оценки функционального состояния в течение продолжительной смены машинистов, выделим основные из них (Деметриенко, 2010; Zepf et al., 2020):

- 1) оценка речи, речевая диалоговая система;
- 2) оценка вербального и невербального поведения на основе видеоизображения;
- 3) отслеживание изменений диаметра зрачка оператора;
- 4) психофизиологические показатели: электрическая активность сердца, частота дыхательных движений, температурные показатели, электродермальная активность (ЭДА), электроэнцефалограмма (ЭЭГ), уровень насыщенности кислородом крови.

В каждой из данных групп методов можно выделить положительные и отрицательные стороны: различия в надежности, удобности эксплуатации, сложности в разработке и применении, поэтому крайне важно использовать различные группы методов для получения надежных и достоверных результатов. В 2002 г. в Великобритании было решено ввести автоматизированную систему непрерывной оценки функционального состояния оператора на железных дорогах. Основными показателями выступали — ЭЭГ, движения головы, опускание век, сужение зрачка, закрытие глаз, частота моргания, время реакции, слежение за глазодвигательной активностью работника (Whitlock, 2002). Автор упоминает также оценку электродермальной активности — систему «ТСКБМ», разработанную в России. В статье отмечалось, что данная система на 2002 год казалась одной из самых перспективных, при этом автор отмечал, что одним из основных критериев приемлемости для

использования любого прибора контроля бодрствования является учёт индивидуальных особенностей машиниста, что отсутствует в ТСКБМ.

Электродермальная активность в оценке уровня бодрствования

В литературе существует множество разногласий по поводу надежности и универсальности использования регистрации кожно-гальванической реакции или электродермальной активности (ЭДА), исследованы половые различия в показателях электрической активности кожи (Vanables et al., 1996); отмечается большое количество артефактов (Sakai et al., 1992; Безденежных и др., 2001). Несмотря на данные ограничения, оценка ЭДА используется как в научных, так и в практических целях. Основным применением ЭДА можно считать оценку ориентировочной реакции (Соколов, 1958), стрессовых состояний, эмоций респондента. Ориентировочная реакция (рефлекс) возникает при восприятии человеком ситуации как неожиданной, новой и значимой. Р. Линн выделил основные компоненты ориентировочной реакции: расширение зрачков, изменение дыхания, расширение сосудов головы и сужение сосудов конечностей, а также увеличение кожной проводимости (Безденежных и др., 2001). Особенностью ориентировочного рефлекса является его закономерное угасание при периодическом повторении стимула (обычно после 10–15 предъявлений) (Соколов, 1958). При угасании ориентировочного рефлекса человек переходит в состояние оперативного покоя, но это не означает, что он засыпает или находится в состоянии релаксации, или потери сознания. Можно говорить о том, что с помощью метода ЭДА осуществляется не столько диагностика уровня бодрствования машиниста, сколько оценка субъективной значимости рабочей ситуации оператором. Примером может служить работа итальянских исследователей, регистрировавших с помощью ЭДА реакцию симпатической нервной системы водителей, обусловленную сложными событиями во время вождения автомобиля (Zontone et al., 2020). Авторы установили точность применения метода ЭДА для оценки эмоционального состояния водителей (их субъективного восприятия рабочей ситуации как сложной и новой) — в 91,3%. Они подчеркивали необходимость регистрации ЭДА на обеих руках в дополнении к ЭЭГ, иначе количество артефактов невозможно отследить. В других публикациях с помощью ЭДА авторы сравнивали уровень стресса при ручном и автоматизированном управлении (Bernardini et al., 2020), при движении автомобиля по круговому маршруту и по обычному перекрестку (Distefano et al., 2020). Данные исследования говорят о возможности использования метода ЭДА для оценки уровня стресса у респондентов.

Итак, ЭДА, как один из компонентов ориентировочного рефлекса, считается в большей мере индикатором эмоционально значимой ситуации для субъекта деятельности, нежели показателем уровня его бодрствования и бдительности.

Возможность определения уровня бодрствования с помощью ЭДА была продемонстрирована в работе В.В. Дементиенко, генерального директора компании «НЕЙРОКОМ» (именно данная компания является разработчиком ТСКБМ) (Дементиенко и др., 1999). В исследовании приняли участие 107 испытуемых (55 женщин и 52 мужчин), в возрасте от 16 до 69 лет. Экспериментальная схема исследования состояла в следующем. На первом этапе экспериментаторы активировали испытуемых с помощью громких звуков, разговоров, заданий на счёт. На втором этапе все респонденты делились на 2 группы. Первой давали установку на поддержание уровня активности (можно было читать, разговаривать, играть в компьютерные игры) в условиях освещенной комнаты; второй — установку на понижение уровня бодрствования в затемненной комнате (выполнение монотонных заданий на счет, на нажатие кнопки). Через 15 минут экспериментатор менял установки групп. Такие повторения проходили 12 раз.

Методами оценки уровня бодрствования в данном эксперименте выступали ЭДА и ЭЭГ. Авторы выявили отличия в параметрах ЭДА при состоянии бодрствования и при переходе к состоянию дремоты. Наиболее отличающимся параметром между уровнями бодрствования выступал интервал между импульсами ЭДА. На основе полученных данных экспериментаторы сделали предположение о том, что интервалы между импульсами ЭДА более чем в 2 минуты соответствуют состоянию релаксации испытуемого (или состояния сниженного уровня бодрствования). На точность оценки функционального состояния, по мнению авторов, помимо начального состояния испытуемых влияют половые и прочие индивидуальные различия и особенности положения электродов (на одной или на обеих руках). Данное исследование стало основой для разработки ТСКБМ.

Описание системы ТСКБМ

С 1996 г. на локомотивах и электропоездах в России и ряда других стран (Бугаёв и др., 2017) была установлена ТСКБМ, созданная компанией «НЕЙРОКОМ» (Дементиенко, 2010; Бугаёв и др., 2017). ТСКБМ предназначена для контроля и диагностики уровня бодрствования машиниста по условной шкале. При переходе машиниста из состояния активного бодрствования в состояние расслабления, дремотного состояния или при потере сознания и т.п. ТСКБМ автоматически приводит в действие экстренное торможение состава (Елякин, 2016; Инструкция..., 2016). В основе работы ТСКБМ лежит диагностика уровня электрического сопротивления кожи оператора. Для регистрации ЭДА используются два электрода, размещенных на браслете, который надевается на запястье руки оператора (рис. 1 и 2), сигналы от них передаются на блок обработки информации.

ТСКБМ использует параметр времени (интервал) между импульсами ЭДА. Разработчики данной системы утверждают, что признаками снижения уровня



Рис. 1. Носимая часть телемеханической системы контроля бодрствования машиниста на руке

Fig. 1. A wearable part of the telemechanical system for monitoring the driver's wakefulness on the arm

бодрствования оператора являются: кратковременное повышение проводимости кожи с последующим возвратом на первоначальный уровень и превышение 60-секундного интервала между соседними реакциями ЭДА (Техническая..., 2014). Измерения происходят каждые 52 секунды (Елякин, 2016). Если ТСКБМ установлена на локомотив или электропоезд, то её использование является обязательным для всех машинистов, ведущих состав на протяжении всей смены.

Проверка уровня бодрствования машиниста на основе показаний от ТСКБМ производится следующим образом:

1. Система фиксирует снижение «уровня бодрствования» машиниста.

2. На мониторе машиниста появляется световой сигнал «Внимание» (отображается как мигающий желтый треугольник — с информационной строкой «ТСКБМ — Проверка»). Световой сигнал сопровождается также звуковым сигналом — громким свистком.

3. Машинист должен в течение $7 \pm 0,5$ с после светового и звукового сигнала нажать на специальную «рукоятку бдительности» (РБС), при этом длительность нажатия не должна быть меньше и не должна превышать период времени $2 \pm 0,5$ с, иначе ТСКБМ не воспримет данный ответ. Отметим также, что РБС всегда располагается таким образом, что машинисту приходится вставать с кресла для её нажатия.

4. Если оператор не выполнил пункт 3 в течение $7 \pm 0,5$ с, то происходит автоматическое экстренное торможение поезда, которое уже нельзя предотвратить (Инструкция..., 2016).



Рис. 2. Расположение электродов на носимой части телемеханической системы контроля бодрствования машиниста

Fig. 2. The location of the electrodes on the wearable part of the telemechanical system for monitoring the driver's wakefulness

Если ТСКБМ не установлена на данный электропоезд или неисправна, то проводятся периодические проверки бдительности, не связанные с реальными показателями состояния оператора. Информация о работе ТСКБМ фиксируется в течение всей смены на электронной карте, таким образом, выключение ТСКБМ, срабатывания автостоппного торможения или иные ошибки машиниста при работе с ТСКБМ расцениваются как грубое нарушение им регламента.

В докторской диссертации В.В. Дементиенко отмечает высокую надежность прибора ТСКБМ в техническом плане, или низкую вероятность сбоев системы при правильной эксплуатации (Дементиенко, 2010). Однако сам же автор отмечает, что правильность диагностики состояния машиниста способом оценки ЭДА зависит от индивидуальных особенностей обследуемого человека. Так, частота ложных тревог (таких случаев, при которых система фиксирует потерю надлежащего уровня бодрствования машиниста, в то время, когда сам оператор находится в оптимальном функциональном состоянии) составляет 1–2 события в час (Дементиенко, 2010, С. 264). Это означает, что за 12-часовую рабочую смену может произойти до 24 ложных срабатываний, автор отмечает, что такая частота ложных тревог «не является критичной» и не может приводить к опасным последствиям. Мы же считаем, что довольно частое срабатывание системы, во-первых, снижает уровень доверия машиниста к ТСКБМ в целом, и, во-вторых, с высокой вероятностью может быть помехой для выполнения его должностных обязанностей.

При подготовке по профессии «машинист» работу ТСКБМ курсанты рассматривают в курсе «Системы обеспечения безопасности движения», однако в тренажеры (типа ЭД4М) система ТСКБМ пока не встроена, однако правильная работа с ней является важным навыком, который должен быть сформирован уже в ходе обучения. Будущий машинист знакомится с ТСКБМ на практике в депо, либо работая в составе локомотивной бригады в роли помощника машиниста. Однако практическое знакомство с системой ТСКБМ крайне важно начинать в безопасных условиях, например, на тренажере, так как ошибка машиниста в работе с данной системой в реальных условиях может привести к аварийной ситуации. Ошибки в первую очередь могут быть связаны с неправильной субъективной оценкой машинистом временных интервалов (отмеченных выше). Субъективно воспринимаемые временные интервалы могут отличаться от объективных (Шиффман, 2003).

На современных железных дорогах по структуре деятельности машиниста выделяется следующие основные виды движения: пассажирское движение (поезда дальнего следования), грузовое, маневровое и пригородное. Работа машинистов на пригородных поездах осуществляется при движении на большой скорости в условиях жестко регламентированного расписания, предусматривающего частые остановки, когда интервалы между остановками электропоезда составляют от 2 до 4 минут. Машинистам крайне важно быстро принимать решения, отвлечение машини-

ста на дополнительные задачи может стать причиной аварийных ситуаций. Предположительно типичным функциональным состоянием машинистов пригородных поездов является состояние умеренного стресса, состояние мобилизации активности. Управление маневровым локомотивом чаще используется на сортировочных горках при формировании поезда из разных вагонов, либо на территории депо, здесь работа машиниста достаточно изменчива по дням недели, времени дня, текущей производственной ситуации. Для машиниста *грузовых* поездов характерна монотонная езда с невысокими скоростями и редкими, иногда длительными остановками; именно при этом виде железнодорожного движения контроль бодрствования оператора является особенно важной задачей для предотвращения засыпания машиниста.

Методы исследования

В нашей работе использовался метод структурированного интервью, анализ литературы и технической документации. В рамках интервью респондентам были заданы следующие вопросы:

1. Работаете ли Вы в данный момент с ТСКБМ? Если нет — был ли у Вас опыт работы с данной системой?
2. Оцените, пожалуйста, насколько Вы считаете, что ТСКБМ полезна в работе машиниста?
3. В среднем, сколько происходит срабатываний ТСКБМ в час?
4. Как Вы считаете, в каких ситуациях ТСКБМ может мешать в работе машиниста?

Описание исследования

В нашей работе проверялась гипотеза о том, что ТСКБМ может являться причиной развития дополнительных стрессовых состояний у машиниста. Выборка нашего исследования включала 8 машинистов электропоезда, со средним стажем в должности машиниста — 3 года. Все респонденты выразили свое согласие с проведением аудиозаписи всей беседы. Интервью проводилось анонимно в закрытом кабинете.

Результаты интервью

Оказалось, что ТСКБМ установлена не на всех пригородных поездах. Один из респондентов отметил: «В каждом депо прописаны свои законы, свои инструкции. В другом депо есть ТСКБМ». Тема обсуждения заинтересовала респондентов, они активно приводили примеры из своего опыта, высказывали свое мнение. Оценивая полезность применения ТСКБМ, все респонденты сообщили, что считают нецелесообразным применение этой системы в пригородном сообщении. Один из респондентов указал: «Я считаю, ну вот на электричке — она не нужна совсем. Потому что... она там сделана, чтобы ты не уснул, а мы останавливаемся каждые 2–3 минуты. Зачем оно мне?»

<...> Не успею заснуть даже». При этом три машиниста не исключали полезности применения этой системы контроля бодрствования на поездах дальнего следования или грузовых перевозках, где риск засыпания довольно высок. Результаты данного интервью, проведенного в рамках пилотного исследования, показывают особенности функционального состояния машинистов электропоезда, для которого типичны состояния оперативной напряженности, а не состояния, располагающего к засыпанию и релаксации, свойственные машинистам грузовых поездов.

На вопрос № 3 про количество срабатываний ТСКБМ за час мы не получили от респондентов точного ответа. Приведем примеры ответов респондентов на данный вопрос: «Мне кажется, она вообще какая-то... она своей жизнью живет», «Срабатывание за час..., опять же по-разному, иногда ни одного, иногда сразу три, например».

Наибольший интерес у обследуемых вызвал вопрос № 4. Все респонденты ответили, что при подъезде к платформе срабатывание ТСКБМ особенно мешает в работе; в этом случае машинисту важно следить за ситуацией на платформе; контролировать значения приборов и управлять тормозной системой. Четверо машинистов отметили, что «проезд платформы» является грубейшей ошибкой, и эту ошибку провоцирует работа с ТСКБМ. Респонденты указали, что ТСКБМ мешает им сосредоточиться на управлении электропоездом и в пути следования. Один машинист указал, что проверки ТСКБМ вызывают у него раздражение.

Таким образом, можно говорить о том, что выдвинутая гипотеза имеет реальные основания и может быть эмпирически подтверждена при увеличении количественного состава выборки респондентов. Действительно, ТСКБМ может стать причиной развития дополнительных, профессионально не оправданных стрессовых состояний у машиниста.

ТСКБМ как вторичная зондирующая задача

В целях оценки функций внимания оператора Д. Канеман (психолог, лауреат Нобелевской премии) разработал методику вторичной зондирующей задачи (Канеман, 2006). Главная идея состояла в том, что при выполнении человеком основной и дополнительной задачи можно «поймать» момент истощения ресурса внимания, когда эффективность выполнения зондовой задачи снижается, а эффективность выполнения основной остается на заданном уровне. Такая методика может быть использована для оценки работоспособности оператора. Д. Канеман в своих экспериментах показал, что введение дополнительной задачи закономерно ведет к понижению ее выполнения при одновременном осуществлении основной деятельности, таковы закономерности работы человеческого сознания.

Мы не можем рассматривать работу с РБС как зондовую (дополнительную) задачу, так как при срабатывании звукового и светового сигнала первоначально «зондовая» задача становится для машиниста глав-

ной, ибо ее невыполнение приводит к автостоппному торможению поезда. Заложенный проектировщиком ТСКБМ алгоритм действий с РБС меняет приоритеты, при этом текущие профессиональные обязанности оказываются второстепенными и точность их выполнения неизбежно снижается. Отсюда следует вывод о том, что крайне важно минимизировать дополнительные задачи, совмещенные действия, одинаково требующие сознательного контроля оператора, в частности, машиниста электропоезда. Работа с РБС требует контроля длительности нажатия с точностью $2 \pm 0,5$ с, этот интервал не отражается на приборной панели, но должен субъективно контролироваться оператором, что отвлекает его от других сознательно контролируемых действий.

На основе проделанного нами анализа выделим преимущества и недостатки применения ТСКБМ для оценки функционального состояния железнодорожных машинистов.

К *преимуществам* ТСКБМ можно отнести следующее:

1. Наличие данной системы обращает внимание машиниста на его уровень бодрствования.
2. Данная система может указывать на снижение уровня внимания машиниста к новизне рабочей обстановки, повышает его моторную активность, что способствует поддержанию работоспособности в условиях монотонии в течение смены, что особенно актуально для машинистов грузовых поездов.
3. ТСКБМ позволяет уменьшить количество проездов на запрещающий сигнал по причине засыпания машиниста (Деметриенко, 2010).

К основным *недостаткам* применения ТСКБМ на российских железных дорогах относятся следующие моменты:

1. Оценка ЭДА говорит в первую очередь о субъективной значимости рабочей ситуации для оператора, а не о снижении уровня его бодрствования. Возможны ситуации закономерного угасания ориентировочной реакции (и ЭДА как ее компонента) при сохранении бодрствования. Отсюда — закономерное недоверие машинистов к этой системе. Необходимы дополнительные исследования, которые могли бы доказать возможность оценки уровня бодрствования оператора в рабочих условиях исключительно с помощью ЭДА. Оценка функционального состояния оператора важно проводить на всех уровнях: физиологическом, психологическом и поведенческом. ТСКБМ же использует только один уровень (физиологический). Мировая практика контроля состояния бодрствования отдает предпочтение поведенческим показателям снижения бодрствования (фиксируется количество морганий, длительность закрытых глаз и пр.).

2. ТСКБМ не учитывает индивидуальных особенностей машинистов. Британские исследователи отмечают, что возможность регистрировать и запоминать физиологические показатели является одним из центральных критериев приемлемости использования прибора (Whitlock, 2002).

3. Большое количество артефактов при регистрации ЭДА, частые ложные срабатывания ТСКБМ, во-

первых, снижают доверие машиниста к системе в целом, во-вторых, работа машиниста с ТСКБМ отвлекает оператора от основной актуальной рабочей задачи.

4. ТСКБМ способна автоматически экстренно останавливать поезд, что может приводить к авариям. Использование ТСКБМ на пригородных электропоездах меняет приоритеты, обесценивает профессионально заданные цели действий, так как неправильный или несвоевременный ответ машиниста на сигналы этой системы оказывается более важной задачей по сравнению с управлением движением электропоезда, ибо связан с риском его автоторможения. В мировой практике принято положение о том, что приборы контроля бодрствования не должны отвлекать машиниста от основной работы, требование «ответа» прибору контроля работоспособности для подтверждения своего уровня бдительности — не допустимо (Whitlock, 2002, С. 84).

5. Возможны технические сбои работы ТСКБМ.

6. ТСКБМ является причиной возникновения дополнительных не обоснованных объективной рабочей ситуацией стрессовых реакций у машинистов, особенно машинистов электропоездов.

Рекомендации

К общим рекомендациям по использованию ТСКБМ можно отнести следующее:

1. Состояние бодрствования работника важно для практики не само по себе, но как предполагаемое необходимое условие выполнения им профессиональных когнитивных задач на требуемом уровне. В свою очередь, рабочие функции машинистов зависят не только от общего уровня активации организма (уровня бодрствования), но от работы его сознания, которая проявляется в бдительности, произвольном и послепроизвольном внимании, и зависит также от личностно-волевой саморегуляции, мотивации и профессиональной подготовки.

2. Природа ЭДА неспецифична, характеристики ЭДА могут отображать: а) изменение уровня бодрствования (сон — переходное состояние — бодрствование); б) изменение степени субъективной значимости сигналов, эмоциональных реакций субъекта деятельности на сложившуюся ситуацию, уровня эмоционального (профессионального) стресса. Случаи (а) и (б) могут проявляться изолированно, или в разных сочетаниях. Так, сниженная ЭДА может отображать угашение ориентировочной реакции на новизну обстановки, рабочей ситуации, но при сохранении как требуемого уровня бодрствования, так и заданных характеристик бдительности (это случаи «ложной тревоги»). Высокий уровень ЭДА может быть

Литература:

- Безденежных Б.Н., Греченко Т.Н., Шевелева И.А. Психофизиология: Учебник / Под ред. Ю.И. Александрова. 2-е изд. СПб.: «Питер», 2001.
- Бугаёв А.С., Герус С.В., Дементенко В.В., Дорохов В.Б., Миргородский В.И., Шахнарович В.М. Телемеханическая система контроля бодрствования машиниста // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2017. № 2. С. 21–41.
- Дементенко В.В. Физические принципы построения систем безопасного мониторинга состояния человека-оператора: дисс... д-ра технич. наук. Москва, 2010.

индикатором эмоционального стресса, вредного для профессиональной деятельности машиниста. Итак, для контроля необходимого уровня бодрствования важно использовать более валидные, по сравнению с ЭДА, однозначно интерпретируемые индикаторы.

3. Необходимо провести дополнительные исследования эффективности применения системы ТСКБМ на железнодорожном транспорте, такие как: теоретический анализ возможности использования показателя электрической активности кожи для оценки работоспособности оператора; исследования в условиях реальной деятельности с учётом индивидуальных особенностей машинистов, а также видов движения, принятых на железнодорожном транспорте и др.

4. Рекомендуется пересмотреть практику использования ТСКБМ для контроля бодрствования машинистов пригородных электропоездов, так как их рабочий график предполагает разгон поезда и его торможение у платформы через каждые 2–4 минуты в течение всей рабочей смены. Временной режим срабатывания ТСКБМ никак не учитывает реальную временную структуру деятельности машиниста, и действия с ТСКБМ неизбежно создают для машинистов пригородных поездов новые проблемные, стрессовые ситуации.

5. При использовании ТСКБМ на грузовых и маневровых поездах необходимо пересмотреть практику использования ТСКБМ с учетом особенностей вида движения, принятого на железной дороге.

6. На период действия ТСКБМ предлагается более основательное ее освоение машинистами; в подготовке машинистов важно предусмотреть обучение работе с ТСКБМ в практическом блоке обучения, в частности, ввести специальные упражнения по субъективной оценке малых интервалов времени.

7. Рекомендуется использовать системно-деятельностный подход в эргономическом моделировании задач и действий по их выполнению при внедрении любых новых технических устройств, в частности, предназначенных для контроля состояния машиниста.

Заключение

Материалы настоящей статьи могут служить иллюстрацией важности возрождения и развития психолого-эргономической службы в промышленности и на транспорте, а также усиления психолого-эргономической подготовки специалистов в области проектирования, внедрения и эксплуатации нового оборудования, а также специалистов по охране труда и технике безопасности.

- Дементенко В.В., Дорохов В.Б., Корнеева Л.Г., Марков А.Г., Шахнарович В.М. Особенности электродермальной активности при изменении уровня бодрствования человека // Журнал высшей нервной деятельности. 1999. Т. 49, № 6. С. 926–935.
- Елякин С.В. Локомотивные системы безопасности движения: учебное пособие. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016.
- Инструкция по эксплуатации локомотивных устройств безопасности № Л230. М.: Проектно-конструкторское бюро локомотивного хозяйства — филиал ОАО «РЖД». 2016.
- Канеман Д. Внимание и усилие. М.: «Смысл», 2006.
- Мейстер Д. Эргономические основы разработки сложных систем. М.: «МИР». 1979.
- Мониторинг результатов расшифровки скоростемерных лент и электронных носителей информации параметров движения за 11 месяцев 2019 года № ОИ-1788. М.: Филиал ОАО «РЖД» Проектно-конструкторское бюро локомотивного хозяйства, 2019.
- Психология труда, инженерная психология и эргономика. Учебник / Под ред. Е.А. Климова, О.Г. Носковой, Г.Н. Солнцевой. М.: Юрайт, 2015.
- Соколов Е.Н. Восприятие и условный рефлекс. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1958.
- Шиффман Х.Р. Ощущение и восприятие. 5 изд. М.: «Питер», 2003.
- Bernardini, R., Affanni, A., Del Linz, L., Piras, A., Rinaldo, R., Zontone, P. (2020). Stress Evaluation in Simulated Autonomous and Manual Driving through the Analysis of Skin Potential Response and Electrocardiogram Signals. *Sensors* 9 (2494), 1–19.
- Distefano, N., Leonardi, S., Pulvirenti, G., Romano, R., Merat, N., Boer, E., Woolridge, E. (2020). Physiological and driving behaviour changes associated to different road intersections. *European Transport*, 77, 17–25.
- Sakai, L.M., Baker, L.A., Dawson, M.E. (1992). Electrodermallability. Individual differences affecting perceptual speed. *Psychophysiology*, 29 (2), 207.
- Venables, P.H., Mitchell, D.A. (1996). The effects of age, sex and time of testing on skin conductance activity. *Biological Psychology*, 43 (2), 87–101.
- Whitlock, A. (2002). Driver vigilance devices: systems review. Rail Safety and Standards Board, Quintec.
- Zepf, S., Hernandez, J., Schmitt, A., Minker, W., Picard, W.R. (2020). Driver Emotion Recognition for Intelligent Vehicles: A Survey. *ACM Computing Surveys*, 53 (3), 64–94.
- Zontone, P., Affanni, A., Bernardini, R., Piras, A. (2020). Car Driver's Sympathetic Reaction Detection Through Electrodermal Activity and Electrocardiogram Measurements. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 67 (12), 3413–3424.

References:

- Bezdenzhnykh, B.N., Grechenko, T.N., Sheveleva, I.A. Psychophysiology: Textbook (2001). In Yu.I. Alexandrov. 2nd ed. St. Petersburg: "Piter".
- Bugaev, A.S., Gerus, S.V., Dementienko, V.V., Dorokhov, V.B., Mirgorodsky, V.I., Shakhnarovich, V.M. (2017). Telemechanical system for monitoring the driver's wakefulness. *Byulleten' Ob'yedinennogo uchenogo soveta OAO "RZHD"*. (Bulletin of the Joint Scientific Council of JSC "Russian Railways"), 2, 21–41. (in Russ.).
- Dementienko, V.V. (2010). Fizicheskiye printsipy postroyeniya sistem bezopasnogo monitoringa sostoyaniya cheloveka-operatora: diss... d-ra tekhnich. nauk. (Physical principles of constructing systems for safe monitoring of the state of a human operator) Doctoral dissertation. (Tech. sciences). Moscow. (in Russ.).
- Dementienko, V.V., Dorokhov, V.B., Korneeva, L.G., Markov, A.G., Shakhnarovich, V.M. (1999). Features of electrodermal activity with changes in the level of wakefulness of a person. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti (Journal of Higher Nervous Activity)*, 49 (6), 926–935. (in Russ.).
- Elyakin, S.V. (2016). Locomotive traffic safety systems: a tutorial. Moscow: FGBOU "Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte". (in Russ.).
- Operating instructions for locomotive safety devices, L230. Moscow: Proyektno-konstruktorskoye byuro lokomotivnogo khozyaystva — filial OAO "RZHD". (in Russ.).
- Kahneman, D. (2006). Attention and Effort. Moscow: "Smysl". (in Russ.).
- Meister, D. (1979). Ergonomic foundations of complex systems development. Moscow: "MIR". (in Russ.).
- Monitoring of the results of decoding of speed measuring tapes and electronic data carriers of motion parameters for 11 months of 2019 No. ОИ-1788. (2019). Moscow: Filial OAO "RZHD" Proyektno-konstruktorskoye byuro lokomotivnogo khozyaystva. (in Russ.).
- Psychology of Work, Engineering Psychology and Ergonomics. Textbook (2015). In E.A. Klimov, O.G. Noskova, G.N. Solntseva (Eds.), Moscow: "Yurayt". (in Russ.).
- Sokolov, E.N. (1958). Perception and conditioned reflex. Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta. (in Russ.).
- Shiffman, H.R. (2003). Feeling and perception. 5. ed. Moscow: "Piter". (in Russ.).
- Bernardini, R., Affanni, A., Del Linz, L., Piras, A., Rinaldo, R., Zontone, P. (2020). Stress Evaluation in Simulated Autonomous and Manual Driving through the Analysis of Skin Potential Response and Electrocardiogram Signals. *Sensors* 9 (2494), 1–19.
- Distefano, N., Leonardi, S., Pulvirenti, G., Romano, R., Merat, N., Boer, E., Woolridge, E. (2020). Physiological and driving behaviour changes associated to different road intersections. *European Transport*, 77, 17–25.
- Sakai, L.M., Baker, L.A., Dawson, M.E. (1992). Electrodermallability. Individual differences affecting perceptual speed. *Psychophysiology*, 29 (2), 207.
- Venables, P.H., Mitchell, D.A. (1996). The effects of age, sex and time of testing on skin conductance activity. *Biological Psychology*, 43 (2), 87–101.
- Whitlock, A. (2002). Driver vigilance devices: systems review. Rail Safety and Standards Board, Quintec.
- Zepf, S., Hernandez, J., Schmitt, A., Minker, W., Picard, W.R. (2020). Driver Emotion Recognition for Intelligent Vehicles: A Survey. *ACM Computing Surveys*, 53 (3), 64–94.
- Zontone, P., Affanni, A., Bernardini, R., Piras, A. (2020). Car Driver's Sympathetic Reaction Detection Through Electrodermal Activity and Electrocardiogram Measurements. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 67 (12), 3413–3424.