

УДК 331.464.3

В.Г. Брусенцов, М.И. Ворожбян, А.В. Гончаров, И.И. Бугайченко, О.В. Брусенцов

Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков

КОНТРОЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

Существующие методы оценки надежности работников локомотивных бригад не обеспечивают точности и достоверности оценки на период рабочей смены. В данной работе предложен метод оценки текущего функционального состояния работников локомотивных бригад на основе измерения и расчета ряда психофизиологических параметров.

Ключевые слова: профессиональная надежность, функциональное состояние, работники локомотивных бригад, предрейсовый осмотр.

Постановка проблемы

Согласно принятой правительством «Стратегии развития железнодорожного транспорта Украины до 2020 года», предусматривается улучшение безопасности движения и экологических показателей деятельности железнодорожной отрасли, привлечение инвестиций и повышение конкурентоспособности этого вида транспорта [1]. Следовательно, вопрос безопасности является главным, и в связи с этим тщательно рассматриваются все факторы влияющие на нее. По данным статистики, главной причиной аварий на транспорте является человеческий фактор, на долю которого приходится до 90% случаев [2].

Уровень работоспособности работников локомотивных бригад (РЛБ) оценивается при предрейсовом контроле, который в настоящее время заключается в измерении частоты сердечных сокращений (ЧСС), артериального давления (АД) и наблюдении внешних признаков отклонений от нормального состояния. Таким образом, можно с высокой вероятностью выявить состояния, связанные с патологией, но такой контроль не позволяет выявить функциональные состояния (ФС) снижающие уровень профессиональной надежности, но не входящие в зону патологии. Следовательно, можно сделать вывод, что наибольшего повышения надежности деятельности РЛБ можно добиться путем контроля их уровня работоспособности, поскольку в настоящее время именно этой составляющей надежности деятельности РЛБ уделяется наименьшее внимание. Для обеспечения возможности такого контроля требуется наличие методов количественной оценки функционального состояния РЛБ.

Анализ последних исследований и публикаций.

Вопросы количественной оценки функционального состояния РЛБ рассматривались такими учеными как В.Н. Самсонкин, В.Г. Пузырь, О.В. Шапка, В.Г. Брусенцов, Л.В. Аладышева и др. В [3-7] показаны методы оценки функционального состояния РЛБ, однако для их практической реализации требуется затратить от десяти до пятнадцати минут на каждого РЛБ, что может быть неприемлемо при предрейсовом осмотре.

Целью данной статьи является разработка комплексного показателя, позволяющего за короткий интервал времени (не более пяти минут) количественно оценить функциональное состояние РЛБ.

Изложение основного материала

Синтезируем модель функционального состояния человека-оператора на основе подхода, изложенного в [8].

Для получения модели функционального состояния организма в соответствии с данным подходом, рассмотрим организм человека как совокупность двух иерархических уровней регулирования: физиологического уровня и уровня высшей нервной деятельности.

Физиологический уровень будем характеризовать параметрами, показанными в таблице 1

Выразим измеряемые психофизиологические показатели в относительных единицах, используя соотношение:

$$y_j = \frac{k_i - k_{i \min}}{k_{i \max} - k_{i \min}},$$

где y_j – нормированное значение измеренного показателя k_j в относительных единицах;

$k_{j \max}$ и $k_{j \min}$ – максимальное и минимальное физиологические значения показателя k_j соответственно.

Таблица 1

Параметры, характеризующие физиологический уровень

Параметр	Обозначение измеренного параметра	Единицы измерения	Диапазон изменения значений	Обозначение нормализованного параметра	Физический смысл параметра
$K_{\text{вар}}$	k_1	—	0,03-0,12	y_1	Коэффициент вариации значений R-R интервалов
УФС	k_2	—	0,526-1	y_2	Уровень физического состояния [9]

Проанализировав возможные максимальные и минимальные значения y_j , получим:

$$y_{j \min} = 0 \Big|_{k_i=k_{i \min}}$$

$$y_{j \max} = 1 \Big|_{k_i=k_{i \max}}$$

Следовательно, данное выражение для y_j применимо только в случае, если оптимальным значением показателя k_j является максимальное или минимальное его значение. Если же максимальное и минимальное его значение симметричны относительно оптимального, нормированное значение показателя k_j можно определить из выражения:

$$y_j = \frac{|k_j - k_{j \text{opt}}|}{k_{j \text{opt}} - k_{j \min}}, (*)$$

где $k_{j \text{opt}}$ – оптимальное значение показателя k_j .

В противном случае, если оптимальное значение показателя $k_{j \text{opt}}$ не является центром симметрии минимального и максимального значений показателя k_j , требуется ввести функцию $K_j=f(k_j)$, линеаризующую и симметрирующую шкалу измерения k_j . При этом задача состоит в таком выборе зависимости $f(k_j)$, чтобы после замены переменных k_j на K_j привести шкалу измерения к виду, соответствующему требованиям к нормализуемому показателю.

Учитывая вышесказанное, получим:

$$y_1 = \frac{1 - k_1}{0,474}.$$

Особого внимания заслуживает определение нормализованного показателя y_2 . Для показателя k_2 характерны следующие особенности: значение, принимаемое за норму, равно 0,06, минимальное значение – 0,03, максимальное – 0,12. При этом если значение показателя уменьшается, данное явление свидетельствует об ухудшении состояния сердечно-сосудистой системы. Легко видеть, что нормальное значение k_2 больше минимально допустимого в 2 раза, и меньше максимального тоже в 2 раза. Отсюда, требуется заменить переменную k_2 на функцию K_2 . Для удобства вычислений дополнительно введем коэффициент, приводящий к целочисленным вычислениям:

$$K_2 = \log_2(k_2 \times 100)$$

Подставив функцию K_2 в выражение (*), получим:

$$y_2 = \frac{|K_2 - K_{2 \text{opt}}|}{K_{2 \text{opt}} - K_{2 \min}} =$$

$$= \frac{|\log_2(k_2 \times 100) - \log_2(0,06 \times 100)|}{\log_2(0,06 \times 100) - \log_2(0,03 \times 100)} =$$

$$= \left| \log_2 \frac{k_2}{0,06} \right|$$

Вычисление весовых коэффициентов будем производить на основании словесного описания, приведенного в [8], по следующей формуле:

$$\alpha_j = \frac{\frac{k_{j \max}}{k_{j \min}}}{\sum_{j=1}^n \frac{k_{j \max}}{k_{j \min}}} = \frac{k_{j \max}}{k_{j \min} \sum_{j=1}^n \frac{k_{j \max}}{k_{j \min}}}$$

Для каждого их показателей k_j имеем:

$$\frac{k_{1 \max}}{k_{1 \min}} = \frac{1}{0,526} = 1,901$$

$$\frac{K_{2 \max}}{K_{2 \min}} = \frac{\log_2(k_{2 \max} \times 100)}{\log_2(k_{2 \min} \times 100)} = \frac{3,585}{1,585} = 2,262 ;$$

$$\sum_{j=1}^n \frac{k_{j \max}}{k_{j \min}} = 1,901 + 2,262 = 4,163$$

Вычислим весовые коэффициенты α_j для каждого из показателей y_j :

$$\alpha_1 = \frac{1,901}{4,163} = 0,457 ; \alpha_2 = \frac{2,262}{4,163} = 0,543$$

Таким образом, модель оценки состояния физиологической подсистемы организма имеет вид:

$$F_1 = \frac{1 - k_1}{0,964} + \left| \log_2 \frac{k_2}{0,06} \right| \times 0,543$$

Оценим состояние уровня высшей нервной деятельности в виде

$$F_2 = \sum_{j=1}^{m_2} \beta_j z_j$$

где z_j – психофизиологические параметры, характеризующие уровень высшей нервной деятельности;

β_j – весовые коэффициенты, определяющие значимость показателей z_j

Уровень высшей нервной деятельности будем характеризовать параметрами, представленными в таблице 2.

Выразим измеряемые показатели в относительных единицах:

$$z_1 = \frac{n_1 - 200}{400}, z_2 = \frac{n_2}{4}$$

Так как при расчете весового коэффициента β_2 возникает необходимость деления на ноль, данный подход неприемлем. В этом случае вклад z_2 в оценку уровня высшей нервной деятельности будем определять из следующих соображений.

Максимально допустимое время сложной двигательной реакции составляет 600 мс, минимально возможное – 200мс, а максимально допустимое количество ошибок – 4 штуки [10].

Таким образом, поставив в соответствие каждой допущенной ошибке пропорциональное увеличение времени реакции, получим временную цену ошибки:

$$Ц = \frac{n_{1\max} - n_{1\min}}{n_{2\max}} = \frac{600 - 200}{4} = 100\text{мс}$$

Определим выражение для оценки уровня высшей нервной деятельности:

$$F_2 = \frac{n_1 - 200 + Ц \cdot n_2}{2 \cdot 400}$$

Ввод коэффициента 2 в знаменателе обусловлено суммированием двух показателей в числителе.

Таблица 2

Параметры, характеризующие уровень высшей нервной деятельности

Параметр	Обозначение измеренного параметра	Единицы измерения	Диапазон изменения значений	Обозначение нормализованного параметра	Физический смысл параметра
\bar{t}_{np}	n_1	мс	200-600	z_1	Время сложной зрительно-моторной реакции
ош	n_2	шт	0-4	z_2	Количество ошибочных реакций

Исследуем полученное выражение

$$F_{2\min} = 0 \left| \begin{array}{l} n_1=200 \text{ мс} \\ n_2=0 \end{array} \right.$$

$$F_{2\max} = 1 \left| \begin{array}{l} n_1=600 \text{ мс} \\ n_2=4 \end{array} \right.$$

Если же испытуемый превысит допустимые ограничения по параметрам n_1 и n_2 , значение F_2 может стать больше, чем 1. По интерпретации результатов выполнения теста ВСДР, время реакции не должно превышать 600 мс, одновременно, количество ошибок не должно быть более четырех [10]. Кроме того, нельзя исключать возможность того, что обследуемый покажет время реакции меньше 200мс при отсутствии ошибок. В этом случае F_2 может принять отрицательное значение. Таким образом, после уточнения и наложения ограничений выражение для F_2 примет вид:

$$F_2^{ym} = \begin{cases} \frac{n_1 - 200 + Ц \cdot n_2}{800}, & 0 < F_2 < 1 \\ 0, & F_2 \leq 0 \\ 1, & F_2 \geq 1 \end{cases}$$

Оценку психофизиологического состояния человека-оператора определим из следующих

соображений: при снижении статуса либо физиологического уровня, либо уровня высшей нервной деятельности оценка общего состояния должна снижаться, т.е. недопустимое снижение статуса каждого из уровней должно вызывать адекватное снижение оценки общего психофизиологического состояния. Таким образом, будем вычислять оценку состояния человека-оператора по следующей формуле:

$$d = \sqrt{(1 - F_1) \times (1 - F_2^{ym})}$$

Таким образом, предложенный метод учитывает как состояние физиологического уровня, так и уровня высшей нервной деятельности, которые профессионально значимы для операторского труда.

Выводы

Развитие железнодорожного транспорта и организация скоростного движения поездов требуют совершенствования методов предрейсового осмотра РЛБ. Предложенный метод, в отличие от известных, позволяет количественно оценить функциональное состояние РЛБ, учитывая состояния как физиологического уровня регулирования, так и уровня высшей нервной деятельности.

Литература

1. Правительство одобрило ряд решений относительно развития железнодорожного транспорта в Украине. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=243209545.
2. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України за 2013 рік [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. - К.: [б.в.], 2014. - 88 с.: табл.
3. Брусенцов В.Г. Объективная оценка функционального состояния человека-оператора. [Текст] / Брусенцов В.Г., Гончаров А.В., Козодой Д.С. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.–2003.– №3. –с.38-42.
4. Пузырь В.Г. Контроль «надежности» локомотивных бригад. [Текст] / Пузырь В.Г., Брусенцов В.Г., Гончаров А.В. // Локомотив-информ.– 2006.– №2.– с.38-40.
5. Брусенцов В.Г. Уровень здоровья работников локомотивных бригад Украины как предпосылка их профессиональной надежности. [Текст] / Брусенцов В.Г., Ворожбян М.И., Гончаров А.В., Бугайченко И.И., Брусенцов О.В. //Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сборник. Вып. 91.– К.–Харьков: Основа, 2010.– с. 404-407.
6. Брусенцов В.Г. Проверка эффективности интегрального показателя функционального состояния для оценки уровня утомления работников локомотивных бригад/ Брусенцов В.Г., Гончаров А.В., Ворожбян М.И., Бугайченко И.И., Брусенцов О.В.// ИУСЖТ, 2010.
7. А.В. Гончаров. Объективная оценка функционального состояния работников локомотивных бригад [Текст]// Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета и Северо-Восточной

- Транспортной академии Украины: Сборник научных трудов. Вып. 59.– 2012.– с. 184-187.
8. Управление физическим состоянием организма. Тренирующая терапия [Текст] / Т. В. Хутиев, Ю. Г. Артамонов, А. Б. Котова, О. Г. Пустовойт. – М.: Медицина, 1991. – 256 с.: ил.
9. Пирогова Е. А. Влияние физических упражнений на работоспособность и здоровье человека. [Текст]. / Пирогова Е. А., Ивашенко Л. Я., Страпко Н. П. – К.: Здоров'я, 1986. – 152 с.
10. Справочник по инженерной психологии [Текст] /Под ред. Б. Ф. Ломова. – М.: Машиностроение, 1982. – 368с., ил.

Автор: БРУСЕНЦОВ Виталий Гаврилович
Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков, доктор технических наук, профессор.
E-mail – brus-hiit@mail.ru

Автор: ВОРОЖБИЯН Михаил Иванович
Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков, доктор технических наук, профессор.
E-mail – oios@kntedukua

Автор: ГОНЧАРОВ Андрей Викторович
Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков, ассистент.
E-mail – a@ua.fm

Автор: БУГАЙЧЕНКО Игорь Иванович
Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков, старший преподаватель.
E-mail – igorket@ukrnet

Автор: БРУСЕНЦОВ Олег Витальевич
Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков, ассистент.
E-mail – speedjet@bk.ru

КОНТРОЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ-ОПЕРАТОРА

В.Г. Брусенцов, М.И. Ворожбян, А.В. Гончаров, И.И. Бугайченко, О.В. Брусенцов.

Існуючі методи оцінки надійності працівників локомотивних бригад не забезпечують точності та достовірності оцінки на період робочої зміни. У даній роботі запропоновано метод оцінки поточного функціонального стану працівників локомотивних бригад на основі вимірювання і розрахунку низки психофізіологічних параметрів.

Ключові слова: професійна надійність, функціональний стан, працівники локомотивних бригад, передрейсовий огляд.

THE HUMAN OPERATOR'S FUNCTIONAL STATE CONTROL

V.G. Brusentsov, M.I. Vorozhbian, A.V. Goncharov, I.I. Bugaichenko, O.V. Brusentsov.

Existing methods for evaluating of locomotive crews' reliability do not provide the accuracy and reliability of the estimates for the period of the work shift. This paper proposes a method for estimating the locomotive crews' current functional state on the basis of measurement and the calculation of a number of psychophysiological parameters.

Keywords: professional reliability, functional state, locomotive crews, pretrip inspection.