

## УДК 656.259.9

ГОНЧАРОВ К. В. – к.т.н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, goncharov\_k@inbox.ru

НАГОРНА Н. А. – студентка групи СК1411, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

# ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ТА ПИЛЬНОСТІ МАШИНІСТА

## Постановка проблеми

Локомотивна бригада працює в умовах, коли короточасні періоди інтенсивної роботи по керуванню локомотивом змінюються довготривалими періодами монотонних неактивних дій. Такий ритм роботи вимагає від машиніста постійної уваги та пильності.

На швидкісних та високошвидкісних залізничних лініях проблема підтримки працездатності та пильності машиніста є особливо актуальною, так як при збільшенні швидкостей руху поїзда зменшується час, за який локомотивна бригада повинна зреагувати на зміну поїзної ситуації. Як показує досвід, значна кількість аварій відбувається саме через помилки машиніста. Наприклад, 24 липня 2013 року в Іспанії на швидкісній магістралі біля залізничної станції Сантьяго-де-Компостела відбулась залізнична катастрофа, в результаті якої загинули 78 людей та 140 отримали поранення [19]. Причиною катастрофи стала помилка машиніста: значне перевищення швидкості руху, що призвело до сходу поїзда. Таким чином, від своєчасних та адекватних дій машиніста багато в чому залежить безпека руху поїзда.

На сьогоднішній день рівень пильності машиніста, як правило, перевіряється шляхом вимірювання часу його реакції на сигнал звукового або світлового попередження. Наприклад, в системі автоматичної локомотивної сигналізації АЛСН, яка використовується на сьогоднішній час в Україні, передбачені однократні та періодичні перевірки пильності машиніста [1, 10, 20]. Од-

нократні перевірки виконуються після зміни показань локомотивного світлофора, а періодичні – при умові, якщо фактична швидкість перевищує цільову, а також при русі поїзда по некодованій ділянці. Під час кожної перевірки машиніст після появи свисту електропневматичного клапана повинен протягом 6-7 секунд натиснути рукоятку пильності. В протилежному випадку здійснюється автоматичне екстремне гальмування. Як показує досвід, такий метод перевірки машиніста не дозволяє об'єктивно визначати рівень його фізіологічного стану. Достатньо часто навіть у дрімотному стані машиніст рефлекторно натискає рукоятку пильності. З іншої сторони постійні періодичні перевірки пильності відволікають локомотивну бригаду від поточної роботи по керуванню поїздом. У зв'язку із цим актуальною є задача удосконалення пристроїв контролю працездатності та пильності машиніста.

## Мета роботи

Метою даної роботи є порівняльний аналіз можливих методів контролю фізіологічного стану та пильності машиніста, формування рекомендацій щодо удосконалення локомотивних пристроїв безпеки.

## Класифікація методів контролю

На сьогоднішній день існують різноманітні методи та пристрої контролю функціонального стану водія транспортного засобу. Їх можна розділити на дві основні групи: контактні та безконтактні (рис.1). Перші включають використання технічних

засобів контролю, що безпосередньо контактують з людиною. Друга група передбачає дистанційний контроль пильності водія.

До контактних методів відносяться електроенцефалографія, аналіз серцевої активності, застосування акселерометра та вимірювання електродермальної активності. В другу групу входять методи, які передбачають контроль положення тіла, руху голови та очей, аналіз моргань за допомогою засобів відеоспостереження. Розглянемо більш детально всі методи, проаналізуємо їх переваги та недоліки.

### Контактні методи

Засобами контактного контролю є різноманітні датчики, які закріплюються на

пальцях рук і зап'ястях, на мочках вух, на головних уборах чи окулярах водія транспортного засобу.

Одним із контактних методів є електроенцефалографія, яка дає змогу отримати характеристику спонтанної електричної активності головного мозку [5]. Її перевага полягає у неінвазивному методі дослідження стану головного мозку, що відображає найменші зміни його активності із затримкою у мілісекунди. При настанні ослаблення та пильності, стомлення та сну, на електроенцефалограмі (ЕЕГ) відображаються низькочастотні коливання з частотою 0.5 - 7.0 Гц. На рис. 2 зображений приклад ЕЕГ, де  $A$  та  $t_i$  – відповідно амплітуда та час, за який мозок видає електричну активність.

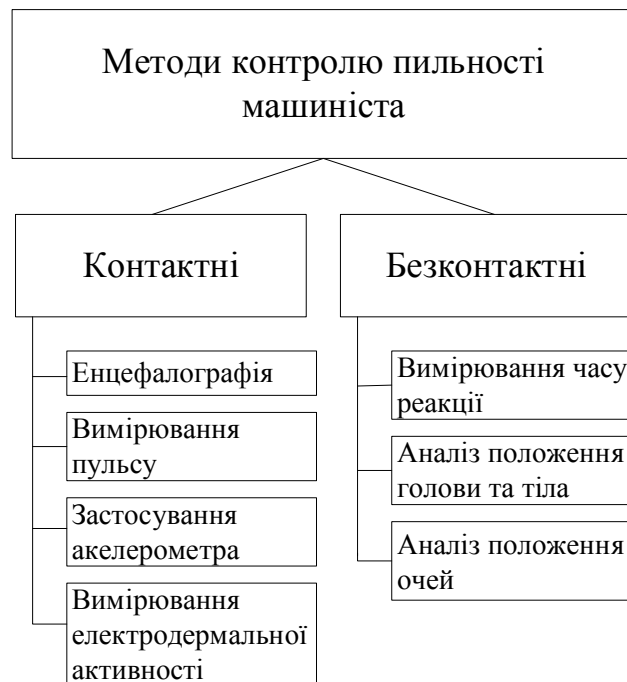


Рис. 1. Класифікація методів контролю пильності машиніста

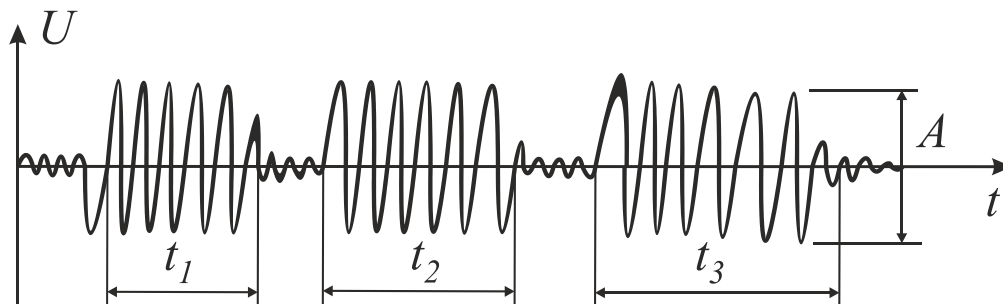


Рис. 2. Електроенцефалограма

На сьогоднішній день існують різноманітні розробки, в яких використовуються дані ЕЕГ для визначення рівня стомленості людини, а також для її сповіщення про це. В якості приклада можна навести систему контролю пильності водія транспортного засобу SleepAlert [14], в якій використовується спеціальна кепка з сенсорним датчиком, кліпса і вібробраслет. За допомогою нейрокепки досліджуються активність головного мозку, а також частота та закономірність моргань. На основі отриманих даних система аналізує ступінь втоми водія. Коли вона доходить до критичного значення, і людина ось-ось засне, лунає звуковий сигнал службового модуля кепки, а браслет починає вібрувати. Існує також патент [7] на так званий спрощений енцефалограф, який представляє собою навушники, у які вбудовані електроди-датчики, що контактують зі шкірою голови, а також додаткові датчики, які розміщують на лобі або маківці. Окрім аналізу електричних потенціалів мозку, пристрій також контролює серцевий ритм людини. Після підсилення вихідних сигналів датчиків виконується їх обробка та розшифрування за допомогою Фур'є перетворення.

Головними недоліками методу контролю пильності людини за допомогою енцефалографії є відносно висока вартість пристроїв, складність аналізу отриманих даних, а також неможливість отримання коректної ЕЕГ при неправильному розташуванні датчиків.

Ймовірно, найбільш простий спосіб контролю за рівнем емоційної напруги людини – вимірювання частоти пульсу (пульсометрія). Зміна цієї частоти інтегрально відображає фізіологічну напругу, зокрема, нервово-емоційну. Сьогодні все більшого поширення набуває метод розрахунку пульсу за допомогою датчиків частоти серцевих скорочень (ЧСС). Кардіомонітори ЧСС представляють собою комп'ютеризовані електронні цифрові прилади, які носять на зап'ясті, як годинник. Кардіомонітор постійно відображає пульс, видаючи кожні кілька секунд нову інформацію про

навантаження на організм. Сучасні датчики зазвичай використовують для вимірювання ЧСС метод оптичної плетизмографії [15]. Його суть полягає в тому, що світло, яке потрапляє в кровотік, буде розсіюватися по різному при зміні швидкості кровотоку (наприклад, при зниженні серцевого викиду). Оптичний сенсор на зворотному боці годинника випромінює світло на зап'ясті за допомогою світлодіодів і вимірює світловий потік, що розсіюється кровотоком (рис. 3). Перевагами методу оптичної плетизмографії є простота вимірювання, аналізу результатів, а також висока точність у порівнянні з пальпацією пульсу.

В цілому метод контролю фізіологічного стану людини за допомогою пульсометрії є достатньо простим. Проте сам по собі не може дати повну картину про рівень активності та працездатності. На нашу думку, доцільним є його застосування у поєднанні з іншими методами.

Останнім часом широко розповсюдження отримали фітнес-браслети [8], за допомогою яких контролюється активність людини, кількість пройдених кроків та фази сну. Чутливим елементом таких браслетів є акселерометр, який дозволяє вимірювати прискорення. Дія акселерометра полягає у перетворенні переміщень в електричний сигнал. Як правило, у фітнес-браслетах використовуються п'єзоелектричні чи емнісні акселерометри. Розглянемо, в якості прикладу, емнісний акселерометр, який вважається більш перевіреним і надійним [6]. Такий датчик прискорень складається, принаймні, з двох пластин: стаціонарної, яка зазвичай з'єднується з корпусом, і тієї, що вільно переміщується всередині корпусу. До останньої приєднується інерційна маса. Ці пластини утворюють конденсатор, ємність якого залежить від відстані  $d$  між ними, а отже і від прискорення руху, яке відчувається датчиком. На рис. 4, а зображено поперечний переріз емнісного акселерометра, а на рис. 4, б – вид зверху на інерційну масу, підтримувану чотирма кремнієвими пружинами.

Метод контролю стану людини, який базується на вимірювання прискорень, не дозволяє чітко визначити процес засинання. Людина може просто знаходитись у нерухомій позі, а фітнес-браслет зафіксує сон.

Один із найбільш ефективних методів реєстрації виникнення емоційної напруженості у людини базується на вимірюванні електродермальної активності (ЕДА). Цей термін означає електричну активність шкіри на долонях чи пальцях рук [16]. Саме ці частини тіла багаті на особливий вид потових залоз під назвою екринні. Такі залози можна представити як набір змінних резисторів, що з'єднані паралельно між собою. В залежності від ступеня активації нервової системи на поверхню шкіри підіймається та чи інша кількість поту, що визначається кількістю активованих потових залоз. Чим

вищий рівень поту, тим нижчий опір такого змінного резистора. На рис. 5 наведена часова залежність опору шкірного покриву людини, де  $R_A$  – базовий опір, відносно якого реєструється імпульс ЕДА,  $dR_A$  – приріст опору за час наростання імпульсу ЕДА,  $t_1$  – тривалість наростання імпульсу,  $t_2$  – тривалість зменшення імпульсу,  $t_3$  – тривалість імпульсу,  $T$  – період імпульсів. Припустимо, що має місце якийсь зовнішній фізіологічний подразник. В цей час у шкірі долонь людини виникає електрична активність, яка на графіку відображається як різке зменшення опору, що з часом збільшується до базового значення. У людини, яка засинає, період імпульсів ЕДА збільшується. Таким чином, даний параметр можна використовувати для діагностування фізіологічного стану та активності людини.

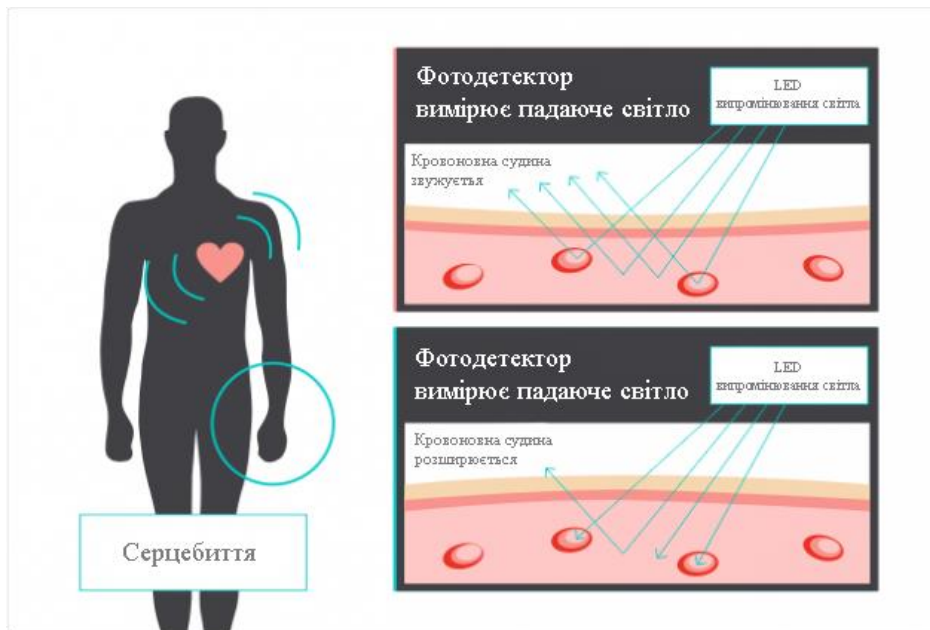


Рис. 3. Принцип дії фотоплетизмографічних датчиків

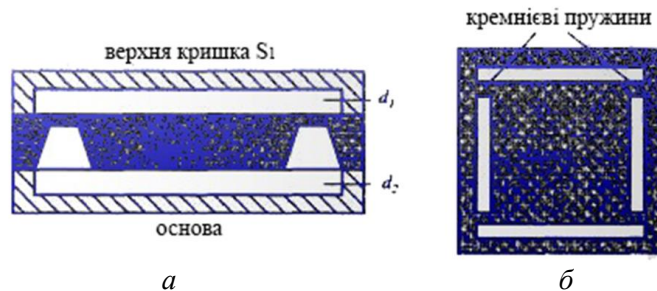


Рис. 4. Ємнісний акселерометр: *a* – поперечний переріз; *б* – вид зверху на інерційну масу

Принцип вимірювання ЕДА застосовується в різних системах та пристроях [2 - 4], зокрема – у телемеханічній системі контролю пильності машиніста (ТСКБМ) [3]. Функціональна схема системи ТСКБМ наведена на рис. 6. Датчик системи (носіма частина ТСКБМ-Н) розміщується на зап'ясті машиніста та містить дві металеві пластинки, що контактують із шкірою зап'ястя. Сигнал ЕДА підсилюється, оцифровується та через радіоканал передається до приймача ТСКБМ-П. Інформація з приймача потрапляє у контролер системи ТСКБМ-К, який аналізує період сигналу ЕДА та визначає рівень активності машиніста. У разі зни-

ження такого рівня до критичного значення сигнал попередження передається у локомотивні системи безпеки АЛСН чи КЛУБ. Приймач ТСКБМ-П також забезпечує відображення на світлодіодному індикаторі інформації про рівень стомленості машиніста.

Безперечно, система ТСКБМ є достатньо простою і ефективною, але з розвитком технологій можна сміливо заявити, що вона застаріла. Перш за все це стосується елементної бази, яка використовується в ТСКБМ. Також, на нашу думку, доцільним є комбінування методу ЕДА з іншими методами задля більш точного діагностування стану машиніста.

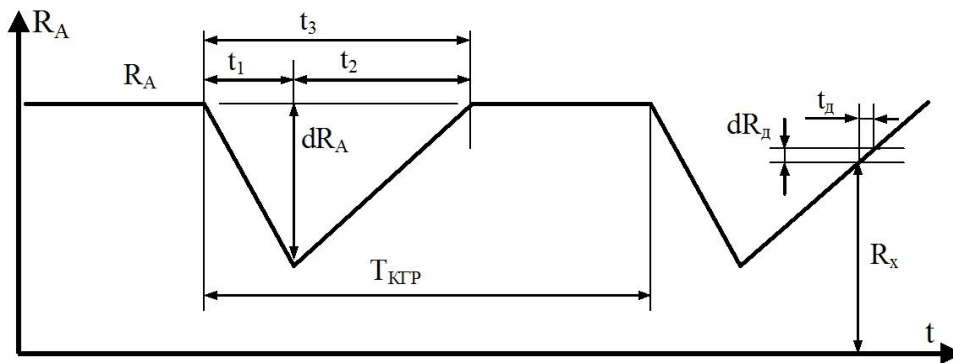


Рис. 5. Сигнал електродермальної активності

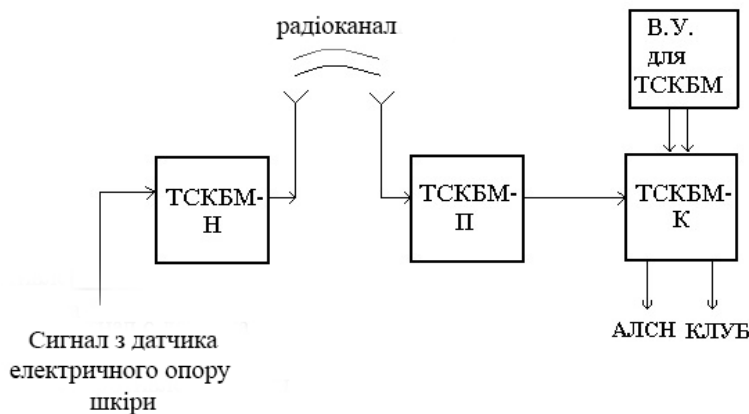


Рис. 6. Функціональна схема системи ТСКБМ

### Безконтактні методи

Найбільш розповсюджений метод перевірки пильності машиніста базується на вимірюванні часу реакції машиніста на сигнали звукового або світлового попередження. Такий метод застосовується, зокрема, в системі автоматичної локомотивної сигналізації безперервної дії АЛСН, яка використовується в країнах пострадянського простору, в тому числі і в Україні [1, 10]. Під час кожної перевірки пильності лунає сигнал звукового попередження (свист електропневматичного клапана). Після цього машиніст повинен натиснути рукоятку пильності протягом 6-7 секунд. В противному випадку відбувається автоматичне екстрене гальмування поїзда. Аналогічні системи використовуються також закордоном [18, 20]. Безперечною перевагою такого методу є його простота. Проте, постійні перевірки пильності відволікають машиніста від поточної роботи по керуванню поїздом та з часом у нього виробляється рефлекс, який змушує його натискати рукоятку пильності навіть у сонному стані.

Наступна група методів контролю водія транспортного засобу передбачає використання засобів відеоспостереження, за допомогою яких відстежується положення тіла, голови та очей, аналіз моргань [11, 13, 17]. Наприклад, існує методика визначення положення голови людини, що використовує дані, отримані з вебкамери [11]. Суть її полягає в тому, щоб зробити отриманий набір зображень у відтінках сірого, а потім проаналізувати їх. Спочатку із конкретного зображення від фону відділяється обличчя людини за певним алгоритмом, а потім застосовується так званий метод проєкцій. У місці розташування очей, носа, рота спостерігається згущення точок, а на гістограмі – максимуми (рис. 7). Відповідно, знаходяться максимуми гістограм і порівнюються їх положення зі стандартними характеристиками.

Ще один з приладів, який аналізує дані, отримані з відеокамери – Driver Fatigue

Monitor [17]. Проте, на відміну від вищеприписаного пристрою, даний контролює ще й положення очей людини. При певному відхиленні положення очей та голови від норми спрацьовує звукова сигналізація (рис. 8).

Головною перевагою методів на базі відеоспостереження є те, що вони не відволікають водія і ніяким чином не заважають процесу перевезень. До недоліків таких методів можна віднести недостатню інформативність. Так, в інформації про положення тіла, голови та очей не міститься достатніх відомостей про функціональний стан водія. Крім цього, системи відеоспостереження мають високу вартість та не завжди точно визначають правильне положення голови чи очей, адже алгоритм обробки даних, зазвичай, коректно працює лише за ідеальних умов – добре освітлення, максимальна відмінність обличчя людини від фону тощо.



Рис. 7. Приклад обчислення гістограм

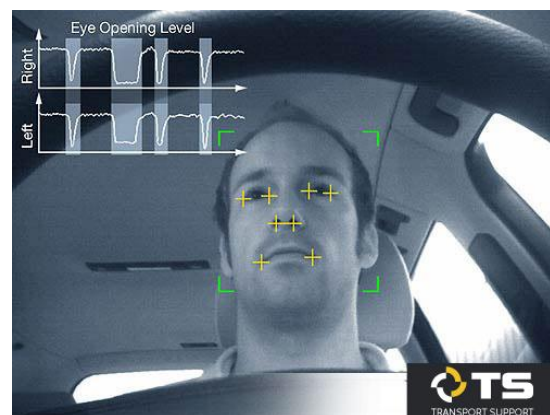


Рис. 8. Приклад ідентифікації положення голови та очей

## Висновки

1. Однією із причин порушення безпеки руху поїзда є зниження рівня пильності та працездатності машиніста.

2. Традиційний метод перевірки пильності шляхом вимірювання часу реакції машиніста на сигнал звукового або світлового попередження не дозволяє об'єктивно визначати рівень його фізіологічного стану. Крім цього постійні періодичні перевірки пильності відволікають локомотивну бригаду від поточної роботи по керуванню поїздом.

3. Метод енцефалографії дозволяє достатньо точно визначити рівень фізіологічної активності людини. Головними недоліками даного методу є відносно висока вартість пристроїв, складність аналізу отриманих даних, а також неможливість отримання коректної енцефалограми при неправильному розташуванні датчиків.

4. Методи контролю фізіологічного стану людини за допомогою пульсометрії, а також за допомогою акселерометра є достатньо простими. Проте кожен з них сам по собі не може дати повну картину про рівень активності та працездатності.

5. Головною перевагою методів на базі відеоспостереження є те, що вони не відволікають водія і ніяким чином не заважають процесу перевезень. Проте такі методи не дозволяють отримати достатню інформацію про функціональний стан людини.

6. Достатньо ефективним є метод вимірювання електродермальної активності. Враховуючи сучасний рівень розвитку інформаційних технологій, доцільним є комплексне застосування даного методу у поєднанні з іншими, наприклад – з пульсометрією або з методами на базі відеоспостереження. Комплексний аналіз різних діагностичних параметрів дозволить об'єктивно визначити рівень фізіологічного стану та працездатності машиніста.

## Бібліографічний список

1. Брылеев, А. М. Автоматическая локомотивная сигнализация и авторегулировка [Текст] / А. М. Брылеев, О. Поупе, В. С. Дмитриев и др. – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.
2. Бушуев, К. С. Современные системы контроля бодрствования человека-оператора в условиях монотонной деятельности [Электрон. ресурс] / К. С. Бушуев // iLab. – Режим доступа: <http://ilab.xmedtest.net/?q=node/6225>
3. Венцевич, Л. Е. Локомотивные устройства обеспечения безопасности движения поездов и расшифровка информационных данных их работы [Текст] / Л. Е. Венцевич. – М.: Маршрут, 2006. – 328 с.
4. Дистанционный контроль бодрствования водителя в рейсе [Текст] / В. В. Бонч-Бруевич и др. // Автоматизация в промышленности. – 2015. – №2. – С. 33-35.
5. Душков, Б. А. Основы инженерной психологии [Текст] / Б. А. Душков. – М.: Высшая школа, 2001. – 390 с.
6. Емкостные акселерометры [Электрон. ресурс] // Датчики и сенсоры онлайн журнал. – Режим доступа: <http://datchikisensor.narod.ru/076.html>
7. Журавлев, И. В. Наушники с дополнительной функцией датчика функционального состояния слушающего [Электрон. ресурс] / И. В. Журавлев // GooglePatents, 2012. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/WO2014074013A1/ru>
8. Зыкова, С. Почему фитнес-гаджеты не гарантируют здоровый сон [Электрон. ресурс] / С. Зыкова // Rusbase. – Режим доступа: <https://rb.ru/longread/trackers/>
9. Ищенко, Е. П. Смертельно опасная триада или Все о дорожной безопасности [Текст] / Е. П. Ищенко. – М.: Проспект, 2016. – 368 с.



10. Казаков, А. А. Автоматизированные системы интервального регулирования движения поездов [Текст] / А. А. Казаков, В. Д. Бубнов, Е. А. Казаков. – М.: Транспорт, 1995. – 320 с.
11. Катаев, М. Ю. Оценка положения головы человека по анализу изображений [Текст] / М. Ю. Катаев, Н. В. Ковалев // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – №1 (21). – С. 183-187.
12. Левинзон, Д. И. Устройства контроля уровня бодрствования водителя [Текст] / Д. И. Левинзон, Г. А. Чаусовский, Р. В. Головаха // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2002. – №1. – С. 32-34.
13. Понамарев, Н. В. Автоматизированная система контроля функционального состояния водителя транспортного средства [Текст] / Н. В. Понамарев // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – №2 (27). – С. 22-23.
14. Система контроля бодрствования SleepAlert [Электрон. ресурс] // Neurotone. – Режим доступа: <https://neurotone.com/>
15. Суборов, Е. Как работает пульсометр в спортивных часах [Электрон. ресурс] / Е. Суборов // Онлайн-журнал Ногибоги, 2017. – Режим доступа: <https://nogibogi.com/kak-rabotaet-pulsometr-chasax/>
16. Corsini, R. J. Concise encyclopedia of psychology [Текст] / R. J. Corsini, A. J. Auerbach. – 2-nd ed. – John Wiley & Sons, Inc, 1996. – 1035 p.
17. Driver fatigue monitor [Электрон. ресурс] // Transport Support. – Режим доступа: <http://www.transportsupport.co.uk/product/ts-dfm-driver-fatigue-monitor>
18. Kumari, I. R. Design And Development Of A Modern Vigilance Control System To Enhance The Rail Passenger Safety Using GSM And GPS Technology [Текст] / I. R. Kumari // International Journal of Engineering Research & Technology. – 2013. – Issue 6. – P. 622-627.
19. Spain train crash: Driver faces investigation [Электрон. ресурс] // BBC News, 2013. – Режим доступа: <http://www.bbc.co.uk/news/world-europe-23453320>
20. Theeg, G. Railway Signalling and Interlocking. International Compendium [Текст] / G. Theeg, S. Vlasenko. – Hamburg: Eurailpress, 2009. – 448 p.

**Ключові слова:** машиніст, контроль пильності, фізіологічний стан людини, електродермальна активність.

**Ключевые слова:** машинист, контроль бдительности, физиологическое состояние человека, электродермальная активность.

**Keywords:** driver, vigilance control, physiological condition of a person, electrodermal activity.

**Рецензенти:**

д.т.н., проф. А. Б. Бойник,  
д.т.н., проф. В. І. Гаврилюк.

Надійшла до редколегії 17.04.2018.

Прийнята до друку 26.04.2018.