

УДК 621.3.078: 629.113

## БОРТОВА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ СТАНУ ВОДІЯ

М.Є. Сергієнко, доцент, к.т.н.,  
О.М. Маренич, аспірант, НТУ «ХПІ»

*Анотація.* Наведено методiku оцінки стану водія автомобіля бортовою системою аналізу ЕКГ у процесі керування транспортним засобом.

*Ключові слова:* бортова система, транспортний засіб, оцінка, стан водія, кардіограф, аналіз Фур'є, спектр, вейвлет перетворення.

## БОРТОВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ

Н.Е. Сергиенко, доцент, к.т.н.,  
А.Н. Маренич, аспирант, НТУ «ХПИ»

*Аннотация.* Приведена методика оценки состояния водителя автомобиля бортовой системой анализа ЭКГ в процессе управления транспортным средством.

*Ключевые слова:* бортовая система, транспортное средство, оценка состояния водителя, кардиограф, анализ Фурье, спектр, вейвлет преобразования.

## ONBOARD CONTROL SYSTEM OF DRIVER'S HEALTH STATE

N. Sergienko, Associate Professor, Candidate of Technical Science,  
A. Marenich, graduate, NTU «KhPI»

*Abstract.* The method of driver's health state determination by onboard ECG analysis system at vehicle driving is presented.

*Key words:* onboard system, vehicle, assessment of driver's condition, cardiograph, Fourier analysis, spectrum, wavelet transform.

### Вступ

У процесі руху автомобіля водій постійно оцінює дорожню ситуацію, а за показаннями датчиків і сигналізаторів панелі приладів отримує інформацію про роботу систем і функціональних показників. На сьогодні мало уваги приділяється ретельній оцінці стану здоров'я водія у процесі керування автомобілем і перед допуском до керування транспортним засобом, а в системи управління автомобілем ще не закладено зв'язок стану водія із системою управління. Використання систем, здатних аналізувати стан здоров'я водія під час керування транспортним засобом, дозволило б контролювати його роботу з урахуванням поточного стану, а так само конт-

ролювати рівень його можливостей і фізичної активності. У разі виникнення небажаних відхилень у напрямку, швидкості руху транспортного засобу, викликаних погіршенням стану здоров'я водія, система повинна рекомендувати спеціальний режим руху або, в крайньому випадку, відпрацювати команду зупинки автомобіля. Крім того, використання такої автономної системи дозволить реалізувати оперативний контроль допуску водія до роботи (вхідний контроль) без залучення фахівців.

За статистикою, найчастіше причинами ДТП є: неякісне покриття дорожнього полотна; невідповідність стану здоров'я водія необхідним умовам руху транспортного засобу;

невірна оцінка водієм дорожньої ситуації; порушення алгоритму керування автомобілем; недотримання швидкісного режиму на дорогах. Кількість жертв внаслідок втоми водіїв становить 25 % від усіх ДТП [1].

### Аналіз публікацій

На сьогодні відома велика кількість систем, які контролюють параметри стану організму водія. Система компанії Siemens реєструє стан повік водія [2], положення голови, електричний опір шкіри водія і частоту його пульсу [2, 3]. Інженери фірми Mercedes [4] спеціально для непрямого контролю стану здоров'я водія розробили систему Attention Assist, принцип роботи якої базується на відстеженні дій водія в кожній поїздки і складанні індивідуальної водійської моделі водіння. Грунтуючись на ній, можна оцінити ступінь стомлення водія. Бортовий комп'ютер помічає значні відхилення від звичайної манери водіння, порівнюючи їх з відомими ознаками втоми, оцінює довжину поїздки, час доби і попереджає водія про надмірну втому [4].

При підготовці космонавтів [5] встановлено, що для збору інформації про стан здоров'я людини більш доцільно основну увагу приділити оцінці роботи серцево-судинної системи. Її реакція на навантаження під час руху повинна оцінюватися шляхом порівняння частоти серцевих скорочень і артеріального тиску з нормованими величинами, що відображають ступінь працездатності людини. Так само важлива інформація може бути отримана з частоти серцевих скорочень, яка відповідає за активність організму. Аналогічну інформацію в собі несе також шкірно-гальванічна реакція тіла і електрокардіограма (ЕКГ).

### Мета і постановка задачі

Визначення методики оцінки зміни стану водія шляхом реєстрації та аналізу його ЕКГ під час керування транспортним засобом і при входному контролі. Розробка структурної схеми елемента бортового комплексу оцінки стану здоров'я водія і зв'язку із системою управління автомобіля.

### Контроль стану водія

У кардіології для постановки діагнозу про стан людини необхідно зареєструвати кардіосигнал з 12 точок, розташованих на тілі лю-

дини, для більш швидкого аналізу ЕКГ іноді використовують кардіосигнал від I стандартного відведення – 2 точки. Цей сигнал являє собою різницю потенціалів між правою і лівою рукою людини, що виникає внаслідок роботи серця. У медичній практиці такий кардіосигнал реєструється за допомогою пластинчастих металевих електродів, накладених на зап'ястя. При управлінні автомобілем такої можливості немає.

Пропонується вмонтувати металеві електроди в рульове колесо (рис. 1). Далі отриманий сигнал слід посилити, оцифрувати і передати у спеціальний пристрій для обробки та видачі команди управління.



Рис. 1. Рульове колесо з вмонтованими пластинчастими електродами (1-2)

На практиці для аналізу кардіосигналу користуються методом вимірювання амплітуд і тривалостей всіх зубців ЕКГ (*P*, *Q*, *R*, *S*, *T*, *U*, рис. 2) [6]. На підставі аналізу форми зубців ЕКГ робиться висновок про стан здоров'я людини в даний момент часу.

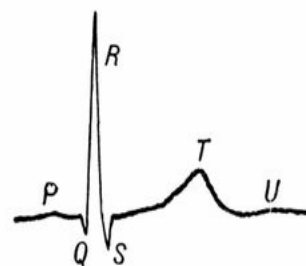


Рис. 2. Кардіосигнал I стандартного відведення

Не менш значущим є фізіологічний аспект, пов'язаний з дослідженням не тільки хворих, але і практично здорових людей, що знаходяться на межі виходу з нормального стану. Це може бути оцінка впливу рівня стресу, втоми на адаптивні можливості організму.

Одним з таких методів є спектральний аналіз сигналу, що базується на використанні пря-

мого перетворення Фур'є, функції  $x(t)$ , в частотний розподіл. При реалізації цього методу використовують дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) і, зокрема, швидке перетворення Фур'є (ШПФ)

$$X_l = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-jl\Delta\omega k\Delta t}, \quad l = 0, 1, \dots, N-1;$$

$$x_k = \frac{1}{2\pi} \sum_{l=0}^{N-1} X_l e^{-jl\Delta\omega k\Delta t} \Delta\omega, \quad k = 0, 1, \dots, N-1,$$

де  $x_k = x(k\Delta t)$ ,  $k = 0, 1, \dots, N-1$ ;  $X_l = X(l\Delta\omega)$ ,  $l = 0, 1, \dots, N-1$ ;  $N$  – кількість відкликів;  $\Delta t$  – інтервал часу між відкликами;  $\Delta\omega$  – крок спектра в частотній області.

Результати спектрального аналізу ЕКГ представлено на рис. 3. По горизонтальній осі відкладено частоту, а по вертикальній – амплітуду сигналу ЕКГ. За видом кривої залежності амплітуди від частоти можна судити про співвідношення періодичної і хаотичної компоненти в динаміці кардіограми. Спектр кардіограми здорової людини (рис. 3) – кілька чітко виражених гармонік, кратних основній частоті – частоті пульсу, а на більш високим частотам – суцільний спектр, характерний для хаотичних сигналів. Але даний метод зручний лише для швидкої, а отже, не зовсім точної оцінки стану людини. Більший інтерес представив б опис частотних складових сигналу з прив'язкою їх до його зміни у часі. Для вирішення даної задачі використовуємо вейвлет перетворення сигналу.

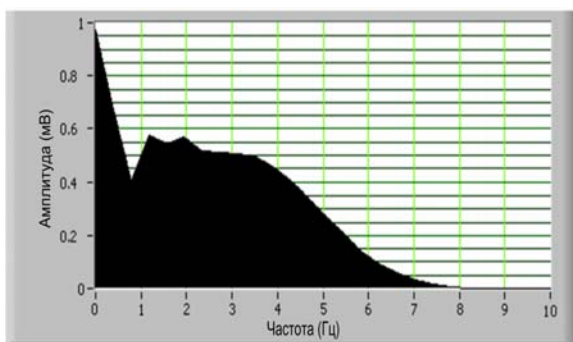


Рис. 3. Спектр кардіосигналу здорової людини

Метод вейвлет перетворень забезпечує велику розгортку за частотою і за часом. У цьому випадку нестационарний сигнал  $x(t)$  аналізується шляхом розкладання по базисних функціях, отриманим з певного прототипу шляхом розтягування, стиснення і зрушень. Основна ідея вейвлет перетворення полягає в

розбитті сигналу вейвлета на маленькі інтервали для аналізу кожного з них і визначення частоти, яка існує на досліджуваному відрізку. Вейвлет перетворення кожного відрізка часу здійснюється із залученням меншої кількості масштабів, але з більшою роздільною здатністю

$$\Psi_x^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t) \psi^* \left( \frac{t-\tau}{s} \right) dt,$$

де  $\tau$  – параметр зсуву;  $s$  – масштаб;  $\psi^*$  – функція перетворення - материнський вейвлет.

Рівень масштабів на кожному відрізку адаптується (настроюється) під сигнал автоматично. Функція прототип називається аналізуючим (материнським) вейвлетом, обраним для дослідження даного сигналу.

Для аналізу кардіосигналу за допомогою вейвлет перетворення необхідно порівняти розподіл частоти в контрольних точках сигналу, що збігаються за часом з виникненням зубців ЕКГ. У кожному вейвлет розкладанні виділяють рівень розкладання, який повинен бути кратним  $2^n$ . Для розкладання застосовувався вейвлет Добеші 2 з глибиною розкладання 128.

Так, для того щоб проаналізувати кожен зубець кардіограм, необхідно обчислити площу кривої  $S(i)$ , що відповідає кожному зубцю кардіограми на  $2^n$  рівні розкладання

$$S(i) = \sum_{n=0}^8 2^n \int_{\min}^{\max} f(t) dt, \quad (1)$$

де  $i$  – зубці електрокардіограми  $P, Q, R, S, T, U$ ;  $n$  – рівень розкладання сигналу;  $\int f(t) dt$  – площа кривої на  $n$ -му рівні розкладання.

Візуально вейвлет аналіз показує, що нахил складових графіків у контрольних точках сигналу розрізняється у здорових людей і у людей з можливим серцевим захворюванням або відхиленнями (рис. 4). Це підтверджується тим, що площі фігур, які описують зубці кардіограми на різних рівнях розкладання, будуть різними.

У ході аналізу двох сигналів а) і б) за формулою (1) були розраховані площі  $QRS$  комплексів обох сигналів. Дослідження показали, що найбільш інформативними є аналіз при

ступенях розкладання 0, 1 і 2. На рис. 5 наведено площі *QRS* комплексів на ступенях розкладання 0, 1 і 2.

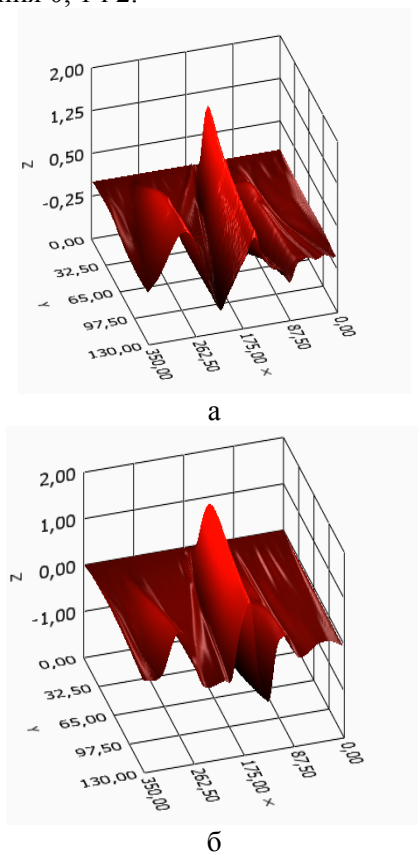


Рис. 4. Вейвлет-розкладання двох сигналів ЕКГ: а – аномальний сигнал; б – нормальний сигнал

Розрахунок площ даних комплексів показав наступне при  $N = 2$ :

– для сигналу А)

$$S(Q) = 0,198; S(R) = 0,273; S(S) = 0,193;$$

– для сигналу Б)

$$S(Q) = 0,1146; S(R) = 0,089; S(S) = 0,103.$$

Аналіз отриманих значень показує, що найбільш відчутні відхилення спостерігаються в зубцях *R* і *S*. Це може бути викликано зсувом електричної осі серця вправо, причиною цього може бути: гіпертрофія правого шлуночка, блокада правої ніжки пучка Гіса, бічний інфаркт міокарда, блокада задньої гілки лівої ніжки пучка Гіса, набряк легенів, декстрокардія, синдром WPW [7].

Обидва види аналізу (вейвлет і спектральний) ЕКГ несуть в собі попереджувальний характер [8]. Це дозволяє в разі реєстрації

порушень вчасно попередити водія, змінити режим руху транспортного засобу, не створюючи перешкод іншим учасникам дорожнього руху.

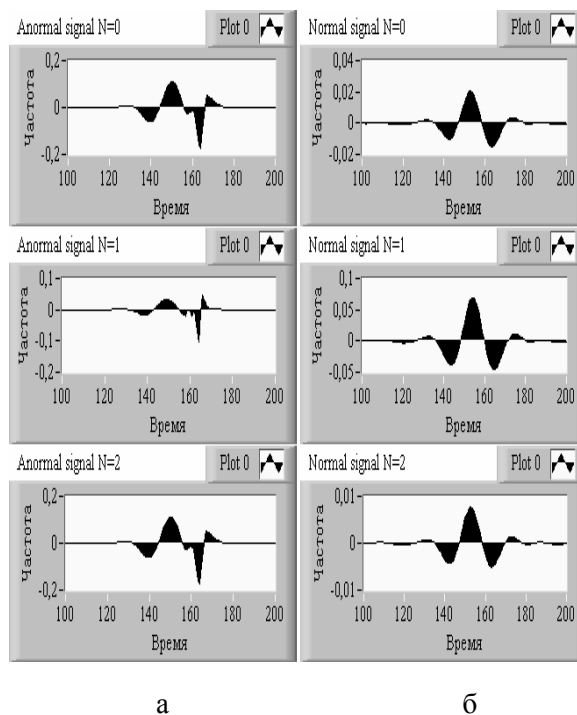


Рис. 5. Площі *QRS* комплексів двох кардіосигналів зі ступенями розкладання  $N = 0, 1, 2$ : а – аномальний сигнал; б – нормальний сигнал

Крім того, інформативним параметром в ЕКГ є частота серцевих скорочень (ЧСС). Ця величина пропорційна пульсу і показує рівень фізичної активності людини. Її контроль дозволяє визначити виникнення короткочасного сну водія й уникнути аварій.

На підставі проведених досліджень пропонується алгоритм роботи бортової системи автомобіля (рис. 6) і його структурна схема (рис. 7). Металеві датчики, які вбудовані в рульове колесо автомобіля, реєструють електричну різницю потенціалів з рук водія. Далі у схемі включення цих датчиків здійснюється фільтрація та масштабування сигналу. Потім сигнал надходить у мікроконтролер для аналізу стану водія. Бортова система відображає інформацію про можливі порушення стану водія і, за необхідності, змінює режим руху транспортного засобу шляхом впливу на систему управління автомобіля. Алгоритм бортової системи передбачає передачу інформації диспетчеру автотранспортного підприємства та відповідним медичним закладам.

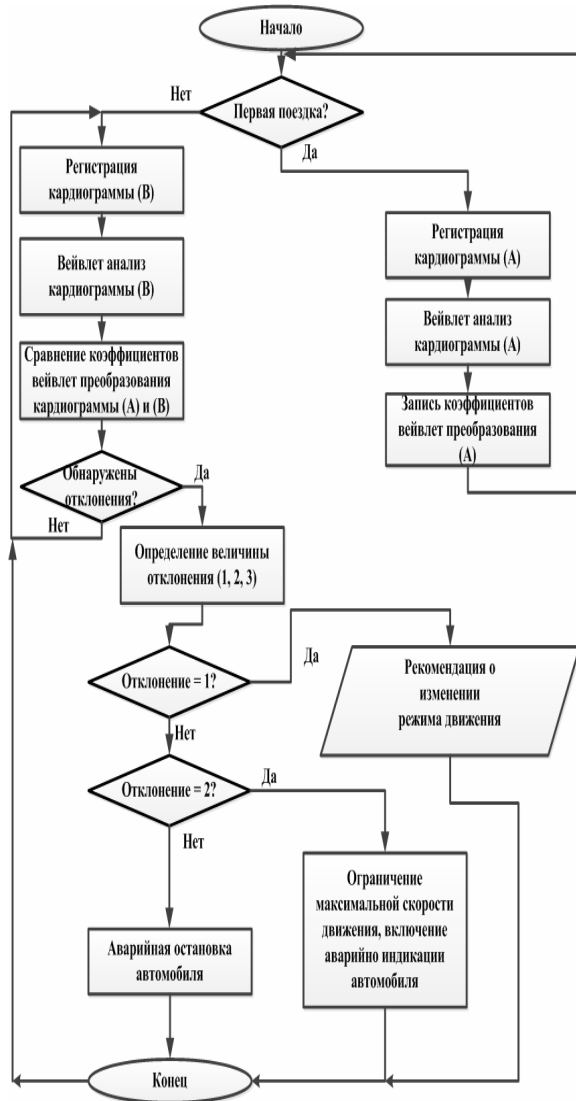


Рис. 6. Алгоритм работы бортовой системы

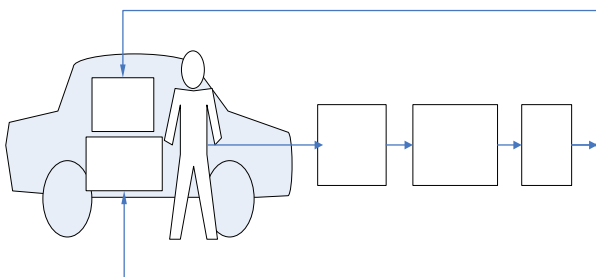


Рис. 7. Структурна схема бортовой системи

### Висновки

У зв'язку зі зростанням швидкостей і кількості автомобілів стає важливим контроль стану водія бортовою системою. Реєстрація ЕКГ водія на автомобілі й обробка її за допомогою спектрального аналізу і відхилення вейвлет перетворень базової ЕКГ та поточної дозволяє оцінювати зміну його стану. Оцінка ЕКГ здорового чоловіка і чоловіка з можливим серцевим за-

хворюванням або відхиленнями запропонованим методом підтверджує можливість використання запропонованої методики та алгоритму роботи системи. Запропонований варіант встановлення датчиків у рульове колесо автомобіля та розроблену функціональну схему бортової системи аналізу стану водія доцільно виготовити і випробувати на автомобілях різних класів в реальних умовах експлуатації.

### Література

1. Сайт <http://www.sai.gov.ua/>.
2. Диод против сна // Еженедельный журнал «Автоцентр», 2010 – № 44. – С. 38.
3. Малоземов В. В. Системы контроля при управлении транспортными средствами / В.В. Малоземов, В.Ф. Рожнов, В.Н. Правецкий. – М.: Машиностроение, 1996. – С. 77–79.
4. Сайт <http://mercedes.com>.
5. Сайт <http://ru.wikipedia.org/wiki/> Система медицинского контроля состояния экипажа (космонавтика).
6. Burdon Sanderson J. Experimental results relating to the rhythmical and excitatory motions of the ventricle of the heart / J. Sanderson Burdon. – Proc Roy Soc London, 1998. – P. 26–30.
7. Сайт <http://stratum.ac.ru/textbooks/modelir/lecture30.html>
8. Земцовский Э.В. О языке врачебных ЭКГ-заключений / Э.В. Земцовский // Кардиология. – 1979. – №4. – С. 93–98.
9. Орлов В.Н. Руководство по электро-кардиографии / В.Н. Орлов. – М.: Медицина, 2004. – 142 с.
10. Новиков Л.В. Основы вейвлет-анализа сигналов: учебное пособие / Л.В. Новиков. – СПб.: Изд-во ООО «Модус+», 1999. – 100 с.
11. Истомина Т.В. Применение теории вейвлетов в задачах обработки информации / Т.В. Истомина. – Пенза: Мир, 2000. – 447 с.
12. Fridman H.H. Diagnostic Electro-cardiography and Vertocardiography / H.H. Fridman. – New York, 2007. – P. 50–54.
13. Pat. 4572207 USA, МКИ А61В 5/04 Pulsimeter for vehicle / Tomohisa Yoshimi, Yuji Takeo, заявка №593,497; Filed 27.05.1984; Date of patent 25.02.1986.

Рецензент: В.П. Волков, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 17 листопада 2010 р.