

# Електронна система контролю бадьорості

Саган<sup>f</sup> Р. П., ORCID [0000-0001-9605-7922](https://orcid.org/0000-0001-9605-7922)

Бевза<sup>s</sup> О. М., ORCID [0000-0002-0903-1263](https://orcid.org/0000-0002-0903-1263)

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" ROR [00syn5v21](https://orcid.org/00syn5v21)

Київ, Україна

**Анотація**—Робота присвячена розробці пристрою для контролю бадьорості. Виходячи з переваг та недоліків існуючих систем та методик була розроблена структурна схема системи контролю бадьорості та обґрунтовано вибір компонентів системи.

Недостатня людська увага на робочому місці може стати джерелом помилок або навіть катастрофи. У деяких професіях сон під час виконання службових обов'язків є злісним проступком і може призвести до дисциплінарних стягнень, включаючи звільнення.

Сон на роботі є важливою проблемою, і про нього часто говорять у правилах компанії. Контроль за працівниками проводиться з метою запобігання погіршенню роботи, погіршенню зовнішнього вигляду працівників та можливості небезпечної ситуації.

Для вирішення деяких перелічених вище проблем була створена електронна система, яка контролює фізіологічний стан людини за допомогою датчиків

Метою роботи є розробка системи управління енергією людини. Система повинна бути мобільною та зручною для користувача, не втручаючись в обов'язки працівника.

Один з найефективніших методів контролю виникнення емоційної активності у людини заснований на вимірюванні електродермальної активності (ЕДА). Цей метод визначає електричну активність шкіри на долонях або пальцях. Ці частини тіла багаті на особливий тип потових залоз, які називаються екринними. Головна перевага - точність вимірювання.

На основі особливостей методів контролю бадьорості для розробленої електронної системи контролю пильності були обрані наступні методи контролю енергії: Фотоплетизмографія; Вимірювання електродермальної активності, вимірювання температури.

**Ключові слова** — контроль бадьорості; поліграф; електродермальна активність; детектор сну; фізіологічний стан людини.

## I. ВСТУП

Недостатня увага людини на робочому місці може бути джерелом помилок або навіть катастрофи.

Сон під час виконання службових обов'язків (сон на роботі) в деяких професіях є злісно неправомірною поведінкою і може привести до дисциплінарних стягнень, аж до звільнення. В інших професіях, таких, як пожежники або рятувальники, сон протягом деякої частини зміни може входити до оплачуваного робочого часу. Сон на роботі може бути як навмисним, так і випадковим.

Сон на роботі є важливою проблемою, тому про неї часто згадується в правилах підприємства. Щоб запобігти зниженню продуктивності, погіршенню зовнішнього вигляду працівників та виключити можливість виникнення небезпечної ситуації, за працівниками ведеться спостереження [1].

Для вирішення ряду проблем, які були перелічені вище, була створена електронна система, яка контролює фізіологічний стан людини за допомогою датчиків.

## II. МЕТА І ЗАВДАННЯ

Метою роботи є розробка системи контролю бадьорості людини. Система має бути мобільною та зручною в експлуатації, при цьому не заважати робітнику виконувати свої службові обов'язки.

## III. АКТУАЛЬНІСТЬ

Дослідження в даній області ведуться доволі тривалий час, подібні системи зазвичай спрацьовують, коли людина заснула.

Система, що розробляється має попереджати людину про зниження рівня уваги і можливість засинання.

## IV. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ.

Для контролю уваги застосовуються наступні методи, технології та системи:

- фотоплетизмографія;
- електроенцефалографія;
- застосування акселерометра
- системи машинного зору;



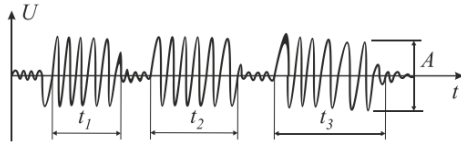


Рис. 1. Енцефалограма головного мозку

- вимірювання електродермальної активності [2].

Один із найбільш ефективних методів контролю виникнення емоційної напруженості у людини базується на вимірюванні електродермальної активності (ЕДА). Цей метод визначає електричну активність шкіри на долонях чи пальцях рук. Саме ці частини тіла багаті на особливий вид потових залоз під назвою екринні [3]. Основна перевага методу вимірювання ЕДА — точність визначення бадьорості людини. Недоліком даного методу є вплив на показники індивідуальних особливостей шкіри людини.

Одним із контактних методів є електроенцефалографія, яка дає змогу отримати характеристику спонтанної електричної активності головного мозку [4]. Її перевага полягає у дослідженні стану головного мозку, що відображає найменші зміни його активності із затримкою у мілісекунди. На Рис. 1 зображений приклад ЕЕГ, де  $A$  та  $t_i$  — відповідно амплітуда та час, за який мозок видає електричну активність.

Головними недоліками методу енцефалографії є відносно висока вартість пристроїв та складність аналізу отриманих даних.

Фотоплетизмографія — це метод вимірювання пульсу людини. Одночасно зі зменшенням концентрації уваги відбувається зменшення частоти пульсу. Це сигналізує про те, що людина розслаблена та може втратити пильність. Перевагами методу оптичної плетизмографії є простота вимірювання, аналізу результатів, а також висока точність у порівнянні з пальпацією пульсу. Проте сам по собі метод не може дати повну картину про рівень активності та працездатності. Доцільним є його застосування у поєднанні з іншими методами.

Використання акселерометру. Принцип даного методу досить простий: при певному нахилі голови (приблизно 15-20 градусів) прилад видає довгий звуковий сигнал з метою розбудити людину, не дати їй заснути. Недоліком даного методу є те, що якщо людина закидає голову назад, пристрій не розпізнає нахилу. Метод контролю стану людини, який базується на вимірювання прискорень, не дозволяє чітко визначити процес засинання. Основною перевагою є простота та низька ціна

Датчик температури. Периферична температура, виміряна на поверхні шкіри, змінюється залежно від кровопостачання шкіри. У реальному застосуванні температуру шкіри можна виміряти, помістивши датчик на лівий великий палець. Звичайно коливання температури шкіри пов'язані з розширенням периферичних кровоносних судин. Це розширення пов'язане

зі збільшенням активності симпатичної системи. А ця зміна залежить від стану суб'єкта.

Якщо людина боїться, кров буде спрямована до м'язів, які контролюють рух тіла, наприклад, м'язів ніг, так що суб'єкт може підготувати втечу. Ця реакція організму викликає низькі температури на кінцівках тіла внаслідок звуження судин.

Дослідники виявили, що для індивіда температура шкіри обернено корелює зі стресом [5]. Якщо суб'єкт перебуває в стресовому стані, температура кінцівок його тіла зменшується. Недоліком даного методу є те, що датчики потрібно закріплювати на кінцівках тіла. Перевагами є точність та швидкість отримання даних.

Існують пристрої, які використовують алгоритми машинного зору, щоб визначити, чи знаходиться людина в зосередженому стані. В цьому випадку відбувається постійний аналіз частоти моргання, руху очей та інші форми виразу обличчя. Якщо людина почне засинати, пристрій подасть сигнал тривоги протягом 1-2-х секунд і розбудить її [6].

Головною перевагою методів на базі машинного зору є те, що вони не відволікають людину і ніяким чином не заважають процесу роботи. До недоліків таких методів можна віднести недостатню інформативність. Крім цього, системи машинного зору 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.

## V. ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ БАДЬОРСТІ

Виходячи з особливостей розглянутих методів, для електронної системи контролю бадьорості, що розробляється, були обрані такі методи:

- фотоплетизмографія;
- вимірювання електродермальної активності;
- вимірювання температури.

Саме ці методи дозволять контролювати рівень бадьорості, не використовуючи великі розрахункові потужності, як для контролю рівня бадьорості за допомогою машинного зору, проте точність визначення стану бадьорості даних методів доволі висока.

Вимірювання електродермальної активності разом з фотоплетизмографією дозволить в реальному часу контролювати бадьорість людини що важливо при роботі для недопускання помилок. Вимірювання температури в даному випадку є додатковим методом який підвищить точність вимірювань. На Рис. 2 наведена структурна схема електронної системи контролю бадьорості людини.

Структурна схема системи містить: датчик пульсу; датчик температури; датчик опору шкіри; модуль живлення; мікроконтролер; вібродвигун; динамік.

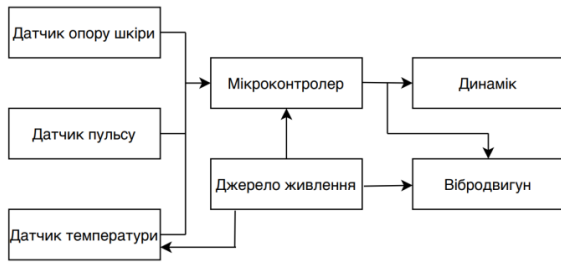


Рис. 2. Структурна схема електронної системи контролю бадьорості людини

Датчик опору шкіри. Екранні залози можна представити як набір змінних резисторів, що з'єднані паралельно між собою. В залежності від ступеня активності 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. 3 наведена часова залежність опору шкірного покрыву 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.

Датчик опору шкіри системи розміщується на зап'ясті людини та містить дві металеві пластинки, що контактують із шкірою зап'ястя. Сигнал ЕДА підсилюється, оцифровується та обробляється мікропроцесором, який аналізує період сигналу ЕДА (Рис. 4, а) та визначає рівень активності людини. У разі зниження такого рівня до критичного значення (Рис. 4, б, Рис. 5) [7] пристрій сповіщає звуковим сигналом і вібрацією за 2-5 хвилин до можливого засинання [8].

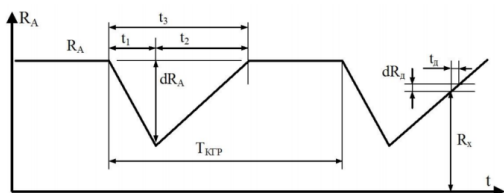


Рис. 3. Сигнал електродермальної активності

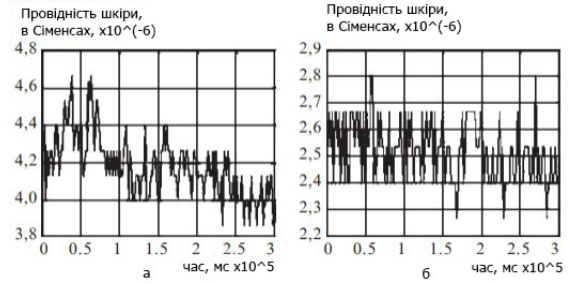


Рис. 4. Сигнал ЕДА а) бадьорий стан людини б) концентрація уваги людини зменшена

Опір зовнішнього шару шкіри  $Z_n$  складається з активного і ємнісного опорів, включених паралельно. Опір зовнішнього шару шкіри  $Z_n$  залежить від площі електродів, частоти струму, а також від значення прикладеної напруги і при площі електродів в кілька квадратних сантиметрів може досягати дуже великих значень.

Внутрішній опір тіла вважається чисто активним, хоча, суворо кажучи, він також має ємнісну складову. Внутрішній опір  $R_v$  практично не залежить від площі електродів, частоти струму, а також від значення прикладеної напруги і дорівнює приблизно 500-700 Ом [9].

Схему, наведену на Рис. 6, можна спростити, уявивши опір тіла людини як паралельне з'єднання опору  $R_h$  і ємності  $C_h$ , які назовемо відповідно активним опором і ємністю тіла людини. При цьому  $R_h = 2R_n + R_B$ , а  $C_h = 0.5C_n$ .

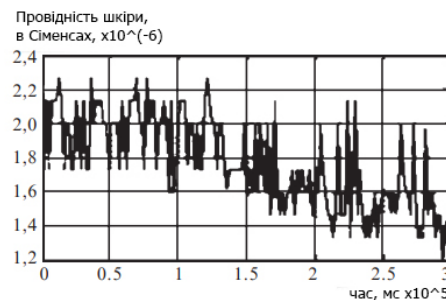


Рис. 5. Сигнал ЕДА при критичному стані концентрації уваги (можливе засинання)

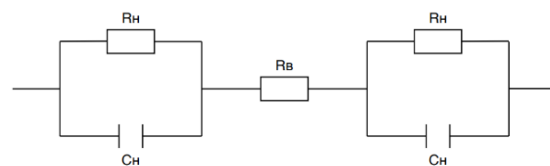


Рис. 6. Еквівалентна схема заміщення опору тіла людини

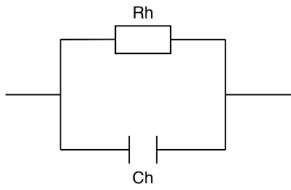


Рис. 7. Спрощена схема заміщення опору тіла людини

В випадку спрощеної схеми заміщення опору людини (Рис. 7) вираз повного опору тіла людини має вигляд:

$$z_h = \frac{R_h}{\sqrt{1 + w^2 R_h^2 C_h^2}}, \quad (1)$$

де  $Z_h$  — опір зовнішнього шару шкіри в комплексній формі, Ом;  $w = 2\pi f$  — циклічна частота, рад/с;  $f$  — частота струму, Гц.

При малій ємності (коли її можна прийняти рівною нулю) повний опір тіла людини виявляється рівним сумі активних опорів обох шарів епідермісу і внутрішнього опору тіла, тобто:

$$z_h = 2R_H + R_B = R_h, \quad (2)$$

Датчик пульсу. Для вимірювання пульсу в даній системі використовується метод фотоплетизмографії [10], який передбачає використання фоточутливих елементів. В цьому випадку реєструється зміна інтенсивності світла від штучного джерела через проходження пульсової хвилі.

Для реєстрації фотоплетизмограми потрібні джерело світла і фотоприймач. Джерелом зазвичай служить світлодіод, а приймачем — фототранзистор або фотодіод. Світло, що випромінюється джерелом, поглинається тілом людини. У першому наближенні можна сказати, що ступінь поглинання залежить від кількості крові в тій точці тіла, де знаходиться датчик. При зміні кількості крові, змінюється поглинання світла і сигнал на виході фотоприймача.

По відношенню один до одного джерело і приймач можуть розташовуватися двома способами. Ці способи називаються «на відбиття» і «на просвіт». У разі використання методу «на відбиття» приймач і джерело розташовуються в одній площині. Світло від джерела потрапляє на шкіру, частково поглинається і, відбиваючись, потрапляє на приймач. Сигнал з фотоприймача надходить на схему посилення і фільтрації. Після посилення сигнал надходить на ще один розділовий каскад, щоб остаточно прибрати напругу зсуву. Потім відбувається оцифрування даних за допомогою АЦП [11].

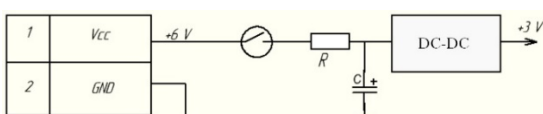


Рис. 8. Схема живлення браслета з використанням дискових батарей і накопичувача енергії

Датчик температури необхідний для вимірювання температури зап'ястя людини. Температура тіла людини протягом дня коливається в вузьких межах. Під час фізичної активності вона підвищується, під час інтенсивних вправ на два градуси Цельсію. В стані спокою температура тіла зменшується. Для пристрою, що розробляється, обрано датчик температури ADT7320 з точністю вимірювання  $\pm 0,25^\circ\text{C}$ . Відповідно до технічної документації, точність можна збільшити до  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ , якщо живити датчик температури напругою 3,0 В.

Модуль живлення. Зазвичай в виробках з автономним живленням використовують літій-іонні дискові батареї. Однак, елементи вимірювального браслета короткочасно споживають відносно великий струм, який такі батареї не можуть забезпечити. Обійти цю проблему можна, використовуючи літєві дискові батареї разом з накопичувачем енергії, який забезпечує в потрібні моменти часу струм потрібної сили (Рис. 8) [12].

Мікроконтролер потрібен для отримання і обробки інформації від датчиків по шині SPI, а також подальшої передачі інформації в блок приймача.

Мікроконтролер повинен мати вбудований АЦП для оцифровки електродермальної активності людини. У системі буде використовуватися мікроконтролер компанії Silicon Laboratories C8051F412. Даний мікроконтролер має вбудований АЦП, розрядності якого вистачить для обробки сигналу від датчика опору шкіри, є таймери, необхідні для визначення пульсу і для підрахунку часу інтервалів між запусками датчиків. Також мікроконтролер має необхідні інтерфейси для підключення до інструментального підсилювача і цифрового датчика температури.

Система, що розробляється, обладнана вібродвигуном Це невеликий електродвигун, на осі якого встановлено металевий циліндр. Вісь двигуна навмисно не збігається з віссю циліндра, що дозволяє останньому вібрувати при обертанні. При надходженні електричного сигналу від мікроконтролера мотор починає працювати і з великою швидкістю розкручує циліндр. Вібрація передається на корпус приладу, і він починає вібрувати [13].

При зниженні пульсу та зниженні електродермальної активності система видає попередження в вигляді вібрації.

При зниженні показників до критичних (Рис. 5) (при загрозі засинання), окрім вібрації, система буде подавати короткі звукові сигнали для інформування людини про те, що потрібно зосередитись.

## ВИСНОВКИ

Розроблена система вимірює такі фізіологічні параметри, як температура тіла на зап'ясті, частота пульсу людини і електродермальна активність.

Аналіз даних параметрів дозволяє визначати, в якому стані знаходиться людина та попереджати її про засинання. На відміну від аналогів, дана система не сигналізує про момент, коли людина заснула,

а попереджає це, що дозволить виключити можливість виникнення небезпечних ситуацій на робочому місці через зниження рівня бадьорості працівника.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] “Son na rabote [Sleep at work].”  
**URL:** [https://ru.wikipedia.org/wiki/Сон\\_на\\_работе](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сон_на_работе)
- [2] “Detektor lzhi na Arduino svoimi rukami [Do-it-yourself lie detector on Arduino].” **URL:** <https://masterclub.online/topic/13600-detektor-lzhi-na-arduino>
- [3] “Elektrodermal'naya aktivnost” [Electrodermal Activity].”  
**URL:** [https://en.wikipedia.org/wiki/Electrodermal\\_activity](https://en.wikipedia.org/wiki/Electrodermal_activity)
- [4] “Dushkov, B. A. Osnovy inzhenernoyi psikhologii [Tekst].”
- [5] “John T Cacioppo and Louis G Tassinary. Inferring psychological significance from physiological signals. American Psychologist. 1990. Vol.45, No.1. P.16.”
- [6] “Dunobil insomnia [Dunobil insomnia].”  
**URL:** <http://dunobil.ru/insomnia>.
- [7] “DESIGN AND IMPLEMENTING AN INSTRUMENT FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL DIAGNOSIS (CASE OF

**Надійшла до редакції 07 квітня 2020 року**

ELECTRODERMAL ACTIVITY,” **URL:**

<http://dspace.nbu.gov.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/47483/13-Medenou.pdf?sequence=1>

[8] “Tekhnicheskoye opisaniye pribora StopSleep [Technical description StopSleep].”

**URL:** <http://www.stopsleep.com/web/pdf/ttx.pdf>

[9] “Elektricheskoye soprotivleniye tela cheloveka [Electrical resistance of the human body].”

**URL:** [http://ftemk.mpei.ac.ru/bgd/\\_private/sopr\\_tel\\_chel.htm](http://ftemk.mpei.ac.ru/bgd/_private/sopr_tel_chel.htm)

[10] “Fotopletyzmohrafiya [Photoplethysmography].”

**URL:** <https://en.wikipedia.org/wiki/Photoplethysmogram>

[11] “Pul'sometr z Bluetooth abo prystriy fotopletizmohrafiya. Chastyna 1 [Bluetooth heart rate monitor or photoplethysmography device. Part 1].” **URL:** <https://habr.com/ru/post/258115/>

[12] “Ocherednyye umnyye chasy svoimi rukami [Another smart watch with your own hands].” **URL:** <https://habr.com/ru/post/404737/>

[13] “Yak pratsyuye vibratsiya v telefonakh How vibration works in phones.” **URL:** <https://go-radio.ru/ustroystvo-dinamika.html>



# Electronic Vigor Control System

R. P. Sahan<sup>f</sup>, ORCID [0000-0001-9605-7922](https://orcid.org/0000-0001-9605-7922)

O. M. Bevza<sup>s</sup>, ORCID [0000-0002-0903-1263](https://orcid.org/0000-0002-0903-1263)

National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute" ROR [00syn5v21](https://ror.org/00syn5v21)  
Kyiv, Ukraine

**Abstract**—The work is devoted to the development of a device for controlling vigor. Based on the advantages and disadvantages of existing systems and methods, a block diagram of the system for controlling vigor was developed and the choice of system components was justified.

Insufficient human attention in the workplace can be a source of error or even disaster. In some professions, sleeping in the line of duty (sleeping at work) is a malicious misconduct and can lead to disciplinary action, including dismissal.

In other occupations, such as firefighters or rescuers, sleeping for some part of the shift may be paid hours. Sleeping at work can be both intentional and accidental.

Sleep at work is an important issue and is often referred to in company rules. Employees are being monitored to prevent performance degradation, deterioration of employees' appearance and the possibility of a hazardous situation.

To solve some of the problems listed above, an electronic system has been created that monitors the physiological state of the person through sensors.

The purpose of the work is to develop a system of human vigor control. The system must be mobile and user-friendly, without interfering with the worker's duties.

Research in this area is conducted for more than one year, such systems usually work when a person falls asleep.

The developed system should warn the person about decrease of level of attention and possibility of falling asleep.

Usually the main methods of attention control are:

- Encephalography
- Photoplethysmography
- Accelerometer application
- Machine vision systems
- Measurement of electrodermal activity

One of the most effective methods of controlling the occurrence of emotional tension in humans is based on the measurement of electrodermal activity (EDA). This method determines the electrical activity of the skin on the palms or fingers. These parts of the body are rich in a special type of sweat glands called eccrine. The main advantage is the accuracy of vigor.

Pulse measurement (Encephalography) has a role to play. Simultaneously with the decrease in concentration - there is a decrease in heart rate. This signals that the person is relaxed and may lose their alertness.

Using an accelerometer. The principle of operation of the device against sleep is simple: at a certain inclination of the head (approximately 15-20 degrees) the device produces a long beep. Thus, the device wakes the person, does not allow him to fall asleep. The disadvantage of this system is - if the person throws his head back, the device does not recognize the tilt.

There are devices that use machine vision algorithms to determine if a person is in a concentrated state. He constantly analyzes the frequency of blinking of the eyes, eye movements and other forms of facial expression. If a person starts to fall asleep, the device will sound an alarm for 1-2 seconds and immediately wake up. [4] The main disadvantage of this system is the high cost and complexity of implementation.

Based on the features of the vigor control methods for the developed electronic vigilance control system, the following vigor control methods were selected: Photoplethysmography; Measurement of electrodermal activity

*Key words* — vigor control; polygraph; electrodermal activity; sleep detector; physiological camp people