

УДК 621.3.084.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МЕТОДА ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТРЕМОРА ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ СХЕМЫ ТЕРМЕНВОКСА

С. А. Новиков, аспирант кафедры ЭВМ, Рязань, Россия;

orcid.org/0009-0003-3868-3644, e-mail: noviser96@gmail.com

М. Б. Никифоров, к.т.н., доцент кафедры ЭВМ, Рязань, Россия;

orcid.org/0000-0002-4796-0776, e-mail: nikiforov.m.b@mail.ru

О. В. Мельник, д.т.н., профессор кафедры ИИБМТ, Рязань, Россия;

orcid.org/0000-0002-3513-2180, e-mail: omela111@yandex.ru

Рассматривается электромагнитный метод отслеживания постурального тремора в рамках задачи предрейсового контроля состояния водителя. Исследована разрешающая способность метода, а также найдена оптимальная рабочая зона, в которой необходимо производить измерения параметров тремора. Определена работоспособность метода, а также схемотехнического решения.

Ключевые слова: тремор, опьянение, предрейсовый контроль, анализ, постуральный, водитель.

DOI: 10.21667/1995-4565-2024-87-128-134

Введение

Управление транспортом в состоянии алкогольного или наркотического опьянения является распространенным фактором риска в среде профессиональных водителей. В связи с этим выявление признаков опьянения или его последствий, приводящих у водителя к нарушению способности адекватно реагировать на дорожную ситуацию, является одной из самых важных задач предрейсового контроля.

Для объективного выявления алкогольного опьянения имеется возможность использовать алкотестер, измеряющий концентрацию паров спирта в выдыхаемом воздухе. Однако для выявления опьянения, вызванного другими психоактивными веществами, необходимо применять химический анализ биологических жидкостей человека, что не представляется возможным при проверке в промежуточных точках пути. В связи с этим необходимо разработать альтернативные методы выявления признаков опьянения.

Одним из признаков опьянения является усиление постурального тремора верхних конечностей. Тремор может быть оцифрован и проанализирован современными техническими средствами. Анализ записей тремора позволит выявить отклонения колебаний конечности по частоте и амплитуде от нормальных значений (от 4 до 12 Гц) [1]. По уровню и характеру отклонений можно сделать вывод не только о наличии опьянения, но и о том, что человек имеет сильную усталость, высокий уровень стресса, а также лихорадку.

Материалы и методы

В статье [2] рассмотрены различные подходы к регистрации тремора, также в ней был сделан вывод о том, что наиболее перспективным и интересным методом оцифровки тремора является электромагнитный метод, который включает в себя систему генерирования электромагнитного поля генератором с емкостной зависимостью.

При внесении конечности в электромагнитное поле излучателя емкостная нагрузка системы увеличивается и, соответственно, меняется частота генерации. Для проверки возможностей данного метода был изготовлен датчик по схеме, представленной на рисунке 1.

Данная схема состоит из двух генераторов, собранных по принципу мультивибратора: первый генератор собран на счетверенном логическом элементе И-НЕ DD1, второй – на ана-

логичном элементе DD2. Далее сигналы с обоих элементов поступают на смеситель, собранный на аналогичном элементе DD3, который одновременно выполняет роль усилителя мощности.

Элементы DD1, DD2, DD3 могут быть реализованы на микросхеме 74НСТ00D (Toshiba Corporation) или её отечественном аналоге IN74HC03AN производства ОАО «ИНТЕГРАЛ».

При включении питания оба генератора имеют одинаковую частоту генерации, и на выходе смесителя, который выполняет задачу вычитать частоту стабильного генератора из частоты перестраиваемого генератора, при равенстве частот $F_1 = F_2$ биения равны нулю $\Delta F = F_1 - F_2 = 0$.

Частоты генерации задаются элементами C_1 и R_1 для перестраиваемого, и C_2 и R_2 для постоянного генераторов, соответственно, по формуле (1)

$$F = \frac{K}{RC}, \tag{1}$$

где R – номинальное сопротивление резистора в цепи генератора; C – номинальная емкость конденсатора в цепи генератора; K – коэффициент, который зависит от типа элемента (в нашем случае коэффициент принимается равным 0.5).

К перестраиваемому генератору подключена антенна (на схеме выводы 1, 2 элемента DD1) через конденсатор C_1 . Так как частота генератора достаточно высокая (порядка нескольких сотен МГц), поднесенная к этой антенне рука вызывает большие изменения частоты генерации.

Чем ближе мы подносим руку, тем сильнее изменяется частота генератора. Поскольку частота второго генератора в это время остается постоянной, на выходе смесителя появится разностная частота ΔF (частота биений). Чем ближе рука к антенне, тем выше становится выходная частота смесителя ΔF , что отражает положение руки относительно антенны.

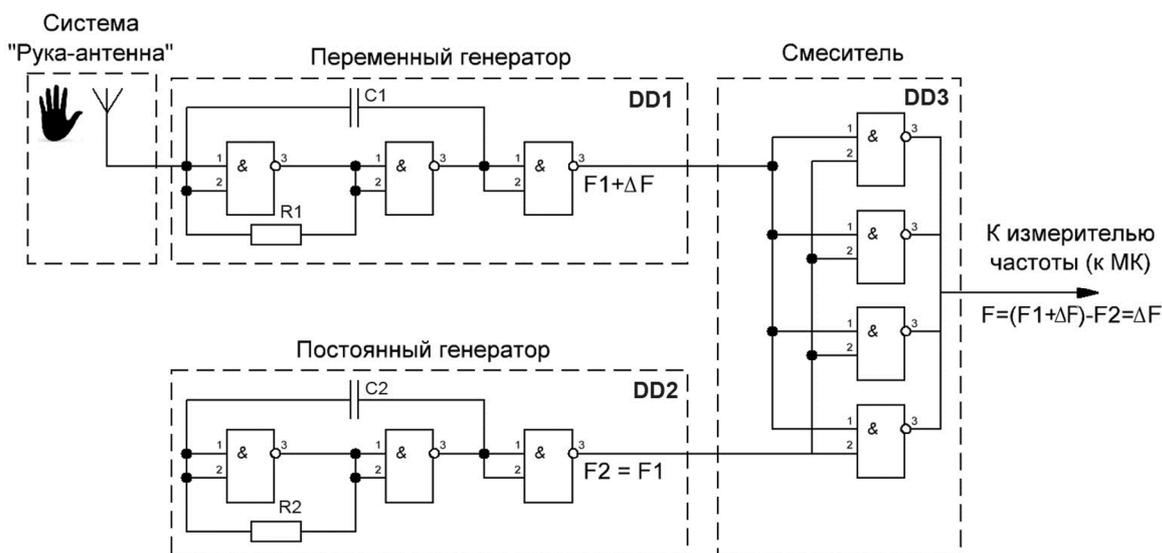


Рисунок 1 – Принципиальная схема датчика
Figure 1 – Sensor schematic diagram

При этом емкость конечности добавляется к собственной емкости антенны, получается параллельное включение емкостей, потому результирующая емкость будет суммой собственной емкости антенны, емкости конденсатора C_1 и емкости конечности. Частота на выходе смесителя описывается формулой (2)

$$\Delta F = \frac{0,5}{C_2 \times R_2} - \frac{0,5}{(C_1 + C_a + C_h) \times R_1}, \tag{2}$$

где C_1, R_1 – RC-цепь перестраиваемого генератора; C_2, R_2 – RC-цепь стабильного генератора; C_a – собственная емкость антенны; C_h – емкость руки, внесенной в поле.

Для проверки работоспособности предлагаемого подхода к измерению тремора был собран стенд, включающий в себя датчик (терменвокс), источник питания и осциллограф, который использовался для оценки формы сигнала, а также для измерения частоты сигнала и отслеживания ее изменения. Структурная схема испытательного стенда представлена на рисунке 2.

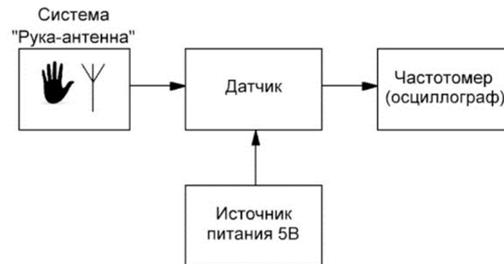


Рисунок 2 – Структурная схема испытательного стенда
Figure 2 – Test stand structure diagram

На рисунке 3 представлен изготовленный стенд для проверки работоспособности метода исследования, особенности технического решения изложены в работе [3].

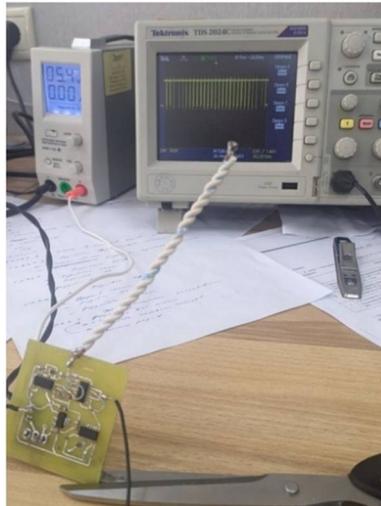


Рисунок 3 – Стенд для проверки метода
Figure 3 – Test stand structure diagram

Более детально пассивные электрические характеристики конечности могут быть описаны трехкомпонентной эквивалентной схемой. Тогда эквивалентная схема системы «рука-антенна» примет вид, представленный на рисунке 4.

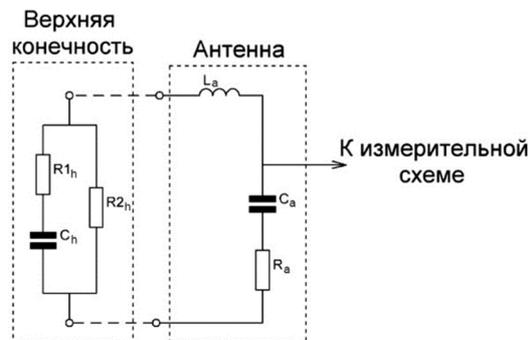


Рисунок 4 – Эквивалентная схема системы «рука-антенна»
Figure 4 – Equivalent circuit of «arm-antenna» system

Компоненты L_a , C_a и R_a входят в эквивалентную схему антенны, а цепочка $R1_h$, $R2_h$, C_h представляет собой эквивалентную схему человеческих тканей. Соответственно, изучение влияния индивидуальных особенностей конечности человека на результирующее значение ΔF требует проведения дополнительных экспериментальных исследований.

Результаты и выводы

С помощью испытательного стенда были проведены экспериментальные исследования для нахождения оптимального расстояния между конечностью и антенной с целью выявления низкоамплитудных колебаний конечности (тремора).

Исследования показали, что колебания с амплитудой менее 1 мм не вызывают изменения частоты на расстоянии более 7 мм, которое было бы больше колебаний, связанных с наводками и колебаниями частоты генератора. С приближением к точке резонанса чувствительность увеличивается многократно, в области данной точки смещение конечности в поле на 0,5 мм вызывает увеличение частоты на 10 кГц. При этом при прохождении точки перегиба частота генерации резко уменьшается на величину около 60 кГц. Результаты измерения для разных испытуемых показаны на рисунке 5.

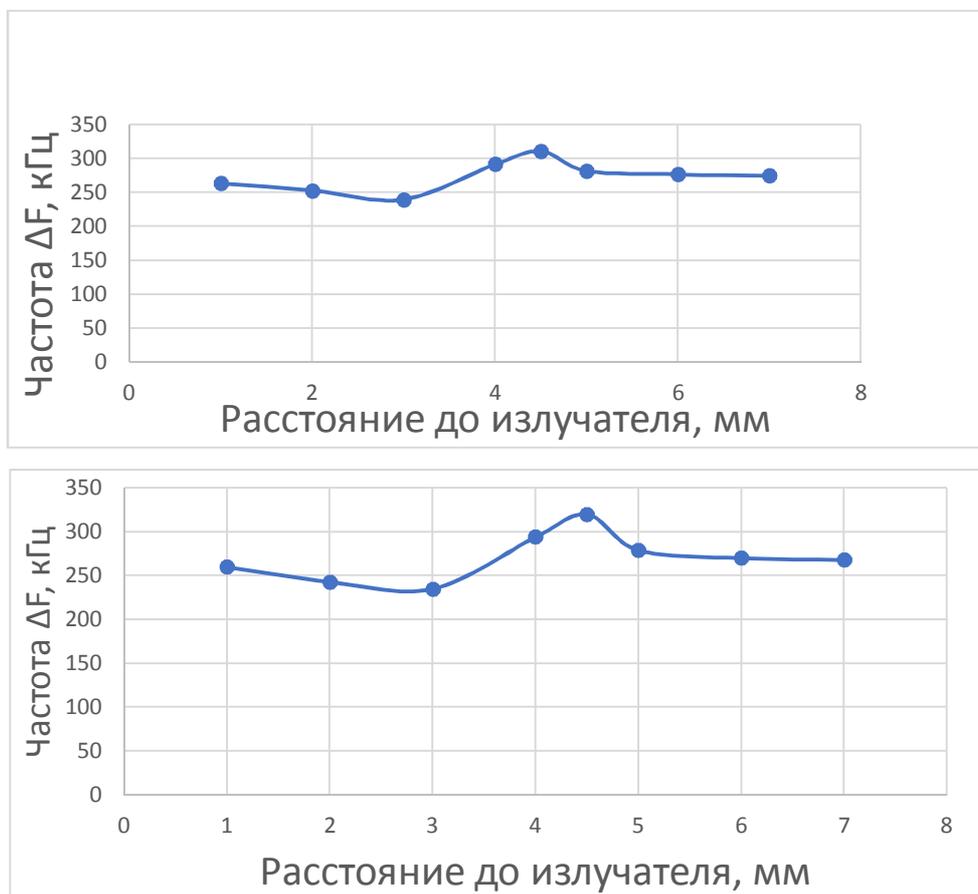


Рисунок 5 – Результаты измерения частоты при приближении конечности к излучателю
Figure 5 – Results of frequency measurements when a limb approaches emitter

Таким образом, для наиболее эффективного обнаружения тремора рационально работать в точке перегиба или же вблизи нее.

Сравнение с другими методами

Диагностика тремора производится с использованием различных технических средств. Во многих работах для выявления тремора в качестве устройства регистрации используется видеокамера, например, для отслеживания угла поворота конечности в кадре [4], отслеживания вертикальных и горизонтальных колебаний конечности в кадре [5] с дальнейшей обра-

боткой изображения. Данные методы имеют достаточно высокую точность отслеживания за счет использования камеры с высоким разрешением и компьютерной обработки. Однако данный подход имеет сильную зависимость от внешних факторов, таких как правильное размещение камеры и положение испытуемого относительно камеры, освещение в помещении, где происходит проверка, а также высокопроизводительный процессор для обработки видео.

Из этого можно сделать вывод, что данный метод имеет высокий потенциал при применении в помещении, однако совершенно не подходит для мобильной системы диагностики в связи с тем, что в данном исполнении системы затруднительно расположить камеру под требуемым углом, добиться хорошего освещения, обеспечить отсутствие вибраций камеры, а также обеспечить высокую производительность в мобильной системе.

Предлагаемая нами система для оценки тремора не только позволяет скрыть чувствительный элемент в корпусе, но и не имеет зависимости от освещения и положения, главное – сохранять параллельность плоскости чувствительного элемента и конечности. Также наша система не требует высокой производительности для оцифровки и обработки, так как представляет собой набор измеренных значений частот.

Метод диагностики тремора на основе электромиографии, предложенный в статье [6], является наиболее точным и помехозащищенным из всех, однако основной его недостаток – это необходимость прямого контакта с конечностью, что создает дискомфорт пользователю, а также увеличивает время проведения тестирования. При этом желательно, чтобы чувствительные элементы на конечности были хорошо зафиксированы и правильно расположены.

Альтернативный подход на основе использования портативных датчиков движения, описан в статье [7]. Помимо указанных выше недостатков, связанных с необходимостью фиксации датчиков, метод, рассмотренный авторами статьи, имеет более низкую точность в сравнении с предыдущим.

Наш метод диагностики является бесконтактным и неинвазивным, это позволяет быстрее проводить диагностику и не создает лишнего дискомфорта для пользователя. При этом разница в точности измерения тремора может быть скомпенсирована за счет алгоритмов обработки измерительных данных. Наиболее близкий к предлагаемому нами вариант датчика описан в статье [8], однако в данной работе для измерения тремора авторы использовали параметр индуктивности цепи «рука-антенна» как величину, зависящую от расстояния между конечностью и антенной. При этом преобразование индуктивности осуществлялось с помощью цифрового преобразователя индуктивности LDC1000 (Texas Instruments Incorporated), аналогов которому в РФ нет, что ведет к возможным затруднениям в производстве конечного устройства.

В РФ также ведутся подобные разработки, например, в работе [9] исследователи используют самостоятельно разработанные токовихревые датчики для фиксации микродвижений конечности с надетым на нее кольцом. Недостатками данной реализации являются необходимость наличия металлического изделия, зафиксированного на конечности, для того, чтобы датчики могли фиксировать колебания, а также высокая стоимость этих датчиков относительно предложенного нами.

Заключение

Исследование показало, что выбранная схема, являясь простейшей, позволяет отслеживать тремор с амплитудой более 0,5 мм при условии работы вблизи точки резонанса. Однако схема имеет низкую стабильность частоты, при этом разность частоты много выше, чем величина изменения, связанного с движением конечности. Также имеется высокая нестабильность, обусловленная наличием в непосредственной близости от антенны источников помех, что приводит к изменению положения точки перегиба. Полезной доработкой может стать отказ от использования цифровых элементов в пользу аналоговых схем генераторов на транзисторах, что должно потенциально увеличить чувствительность.

В связи с этим можно сделать вывод о том, что выбранный метод отслеживания тремора имеет высокий потенциал к практическому применению в системе предрейсового контроля состояния водителя.

Отдельно стоит отметить, что поиск серийно изготавливаемых устройств, использующих аналогичный метод измерения тремора, не дал результатов не только в РФ, но и за рубежом, несмотря на возможную низкую цену конечного устройства и простоту схемотехнических решений.

Библиографический список

- 1 **Smaga S.** Tremor. Am Fam Physician. 2003 Oct 15;68(8):1545-52. PMID: 14596441.
- 2 **Новиков. С.А., Никифоров М.Б.** Анализ технической базы для определения и диагностирования тремора верхних конечностей человека. Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы. // Биомедсистемы-2021 [текст]: сб. тр. XXXIV Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 8-10 декабря 2021 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021. – 344-346 с., ил.
- 3 **Melnik O.V., Nikiforov M.B., Novikov S.A.** System for Non-contact Diagnostics of Tremor. Proceedings of the 2023 International Conference on Systems and Technologies of the Digital HealthCare (STDH – 2023) October 4-6, 2023, 167-170.
- 4 **Soran B., Hwang J., Lee S. & Shapiro L. G.** (2012). Tremor detection using motion filtering and SVM. Proceedings of the 21st International Conference on Pattern Recognition (ICPR2012), 178-181.
- 5 **Pintea, Silvia & Zheng, Jian & Li, Xilin & Bank, Paulina & Hilten, Jacobus & Gemert, Jan.** (2018). Hand-tremor frequency estimation in videos.
- 6 **Milanov, Ivan & Sheinkova, G.** (2000). Clinical and electromyographic examination of tremor in patients with thyrotoxicosis. International journal of clinical practice. 54. 364-7.
- 7 **Elble, Rodger & Mcnames, James.** (2016). Using Portable Transducers to Measure Tremor Severity. Tremor and other hyperkinetic movements (New York, N.Y.). 6. 375. 10.7916/D8DR2VCC.
- 8 **Shi, W. & Chiao, J.-C.** (2018). Contactless hand tremor detector based on an inductive sensor. Analog Integrated Circuits and Signal Processing. 94. 10.1007/s10470-017-1055-7.
- 9 **Еськов В.М., Брагинский М.Я., Козлова В.В., Джалилов М.А., Баженова А.Е.** Биомеханическая система для изучения микродвижений конечностей человека: хаотические и стохастические подходы в оценке физиологического тремора // ВНМТ. 2011. № 4.

UDC 621.3.084.2

STUDY OF ELECTROMAGNETIC METHOD FOR TRACKING TREMOR OF HUMAN UPPER LIMB BASED ON THEREMENVOX SCHEME

S. A. Novikov, postgraduate student, Department of Electronic Computers, RSREU, Ryazan, Russia; orcid.org/0009-0003-3868-3644, e-mail: noviserg96@gmail.com

M. B. Nikiforov, Ph. D. (Tech.), Associate Professor, Department of Electronic Computers, RSREU, Ryazan, Russia; orcid.org/0000-0002-4796-0776, e-mail: nikiforov.m.b@mail.ru

O. V. Melnik, Dr. Sc. (Tech.), Professor, Department of information measurement and biomedical technologies, RSREU, Ryazan, Russia; orcid.org/0000-0002-3513-2180, e-mail: omela111@yandex.ru

The article discusses an electromagnetic method for tracking postural tremor within the framework of the task of pre-trip driver analysis. The resolution of the method was studied, and the optimal working area in which it is necessary to measure tremor parameters was found. The performance of the method, as well as the circuit solution, was determined.

Keywords: tremor, intoxication, pre-trip, analysis, postural, driver.

DOI: 10.21667/1995-4565-2024-87-128-134

References

1. **Smaga S.** Tremor. *Am Fam Physician*. 2003 Oct 15;68(8):1545-52. PMID: 14596441.
2. **Novikov S.A., Nikiforov M.B.** Analysis of the technical basis for determining and diagnosing tremor of the human upper extremities. Biotechnical, medical and environmental systems, measuring devices and robotic complexes - Biomedsystems-2021 [text]: collection. tr. *XXXIV All-Russian. scientific-technical conf. stud., mol. scientists and specialists*, December 8-10, 2021 / general. ed. IN AND. Zhulev. – Ryazan: IP Konyakhin A.V. (Book Jet), 2021. – 344-346 pp., ill.
3. **Melnik O.V., Nikiforov M.B., Novikov S.A.** System for Non-contact Diagnostics of Tremor. *Proceedings of the 2023 International Conference on Systems and Technologies of the Digital HealthCare (STDH – 2023)* October 4-6, 2023, 167-170.
4. **Soran, B., Hwang J., Lee, S., Shapiro, L.G.** (2012). Tremor detection using motion filtering and SVM. *Proceedings of the 21st International Conference on Pattern Recognition (ICPR2012)*, 178-181.
5. **Pintea, Silvia & Zheng, Jian & Li, Xilin & Bank, Paulina & Hilten, Jacobus & Gemert, Jan.** (2018). *Hand-tremor frequency estimation in videos*.
6. **Milanov Ivan, Sheinkova, G.** (2000). Clinical and electromyographic examination of tremor im patients with thyrotoxicosis. *International journal of clinical practice*, no. 54, pp. 364-7.
7. **Elble, Rodger, Mcnames, James.** (2016). Using Portable Transducers to Measure Tremor Severity. *Tremor and other hyperkinetic movements* (New York, N.Y.). 6. 375. 10.7916/D8DR2VCC.
8. **Shi W., Chiao, J.-C.** (2018). Contactless hand tremor detector based on an inductive sensor. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*. 94. 10.1007/s10470-017-1055-7.
9. **Eskov V.M., Braginsky M. Y., Kozlova V.V., Jalilov M.A., Bazhenova A.E.** *Biomechanical system for the study of human limb micromovements: chaotic and stochastic approaches in the assessment of physiological tremor*. VNMT. 2011, no.4.