

**Журавский В. И., Костюк Д. А., Латий О. О.,  
Маркина А. А., Поляков В. И.**

## ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КОЖИ ДЛЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

**1. Введение.** Оценка состояния пользователя, взаимодействующего с ЭВМ, на основе регистрации параметров организма, связанных с физической и когнитивной нагрузкой (таких, как сердечный ритм, кровяное давление, электропроводность кожи,  $\beta$ -ритмы головного мозга и др.) находит все большее применение при анализе эффективности человеко-машинных интерфейсов [1, 2]. Регистрация биометрических показателей при работе пользователя с программным обеспечением позволяет эффективно выявлять «узкие места» интерфейса и, как следствие, сформировать на основе сравнительного анализа набор предложений по улучшению ПО.

Одним из важных биометрических показателей, востребованных в подобных задачах, является электрическая активность кожи (ЭАК) – фактически, одно из наиболее широко изученных свойств организма, которое доступно к количественному определению относительно нетрудоемкими средствами.

Электрическая проводимость кожи варьируется в зависимости от ее влажности, которая в свою очередь обеспечивается потовыми железами, контролируемые симпатической нервной системой [3]. По этой причине электропроводность часто используется как показатель психологического или физиологического возбуждения. Болезненные стимулы (например, досада) вызывают симпатический отклик, приводящий к увеличению секреции потовых желез. Хотя это увеличение обычно очень незначительное, пот обладает электролитическими свойствами, вследствие чего увеличивается электрическая проводимость кожи. Эта особенность ЭАК и используется в психологических исследованиях.

Связь между когнитивным состоянием, возбуждением, эмоциями и вниманием позволяет расширять ЭАК как один из возможных показателей изменения эмоциональных состояний. Недавние исследования показали, что она также является полезным показателем обработки внимания, например, когда внешние стимулы и требующие ресурсов задачи вызывают увеличение откликов (реакций) ЭАК. Однако внешние факторы, такие как температура и влажность, заметно влияют на результаты измерений, ухудшая согласованность результатов. Аналогичным образом обстоит дело с внутренними факторами, такими как воздействие принятых медикаментов. Отклик на одни и те же уровни воздействия может существенно изменяться с течением времени. По этой причине изменения электропроводности кожи обычно используются совместно с регистрацией других показателей, таких как сердечный ритм, частота дыхательных движений, кровяное давление.

В настоящей работе рассмотрен опыт авторов по применению измерений ЭАК в качестве сопутствующего параметра в задачах биометрической оценки эргономики программных продуктов.

**2. Особенности ЭАК.** Показатель ЭАК является сложносоставным (рис. 1) [4]. Согласно классификации, предложенной Обществом физико-психологических исследований [5], он разделяется на фоновый тонический компонент (SCL, от англ. skin conductivity level – уровень проводимости кожи) и быстрые фазовые составляющие (SCR, (skin conductivity reaction – реакция проводимости кожи). В SCR, в свою очередь, выделяются две составляющие: спонтанная (неспецифическая) реакция проводимости кожи (SSPR - spontaneous skin potential response, либо NS-SCR – non-specific SCR) и реакция проводимости кожи на раздражитель (ER-SCR – event-related). В качестве дополнительных параметров выделяют уровень и реакцию

сопротивления (соответственно SRL – skin resistance level, SRR – skin resistance reaction), спонтанную реакцию сопротивления кожи (SSRR), а также уровень потенциала кожи (SPL – skin potential level).

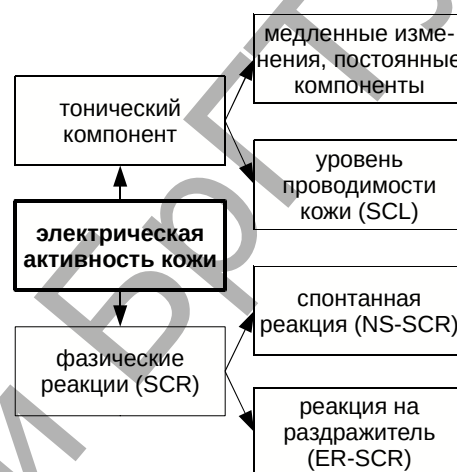


Рисунок 1 – Компонентное представление ЭАК

Тонический компонент связан с более медленными процессами и фоновыми характеристиками сигнала (общий уровень, медленное изменение с течением времени). Наиболее распространенной мерой этого компонента является параметр SCL и его колебания, которые отражают общие изменения в вегетативном возбуждении. Фазический компонент относится к быстро изменяющимся элементам сигнала и оценивается по SCR. В ходе исследований часто наибольший интерес представляет именно SCR несмотря на то, что данный параметр составляет лишь небольшую часть общего комплекса ЭАК.

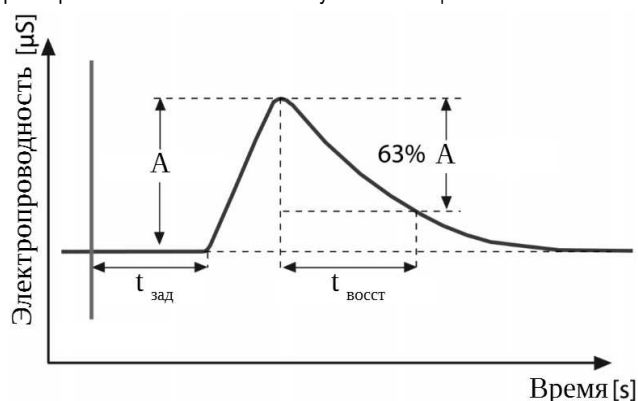


Рисунок 2 – Реакция проводимости кожи на раздражитель

Вид реакции электропроводности кожи на раздражитель показан на рис. 2. Реакция проводимости кожи на раздражитель наступает с некоторой задержкой  $t_{зад}$ , как правило, варьирующейся в диапазоне от 1 до 3 с [4]. Далее следует резкое увеличение проводимости кожи до пикового значения  $A$ , а после всплеска наступает период релаксации. Временем восстановления считается время, за которое пока-

*Журавский Владимир Иванович, доцент кафедры ЭВМиС Брестского государственного технического университета.*

*Маркина Анастасия Александровна, преподаватель кафедры ЭВМиС Брестского государственного технического университета.*

*Поляков Виктор Иванович, к. т. н., профессор кафедры ЭВМиС Брестского государственного технического университета.*

*Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*

зания электропроводности снизятся на величину, равную  $0.63 \text{ A}$  [6], а сама величина  $A$  в случае SCR в обычных ситуациях составляет от 2 до  $3 \mu\text{S}$ . При этом эксперименты, вызывающие у испытуемого повышенный уровень стресса, характеризуются более высокими амплитудными значениями всплесков SCR, достигающими до  $8 \mu\text{S}$  [4].

**3. Регистрация сигнала ЭАК.** Измерительная схема, использованная нами для получения данных ЭАК в процессе работы оператора ПК, представлена на рис. 3. В качестве основы для микроконтроллерного измерительного модуля в измерительной схеме используется микроконтроллер Atmega328, а его программирование и обмен данными с ПК выполняется через USB-обертку последовательного интерфейса.



Рисунок 3 – Схема измерения ЭАК

В основе схемы, реализующей данную задачу, лежит управляемый потенциометром делитель напряжения. Резистор  $R$  на схеме (рис. 4) показывает сопротивление кожи, которое может принимать значение от  $50 \text{ k}\Omega$  до  $10 \text{ M}\Omega$ . Сигнал ЭПК довольно незначительно изменяется во времени, поэтому для получения более точных показаний применяется фильтрация на низких частотах со срезом  $0.5 \text{ Гц}$  для устранения нежелательных шумов.

Для измерения электропроводности используются электроды кольцевой формы, закрепляемые на фалангах указательного и среднего пальцев оператора.

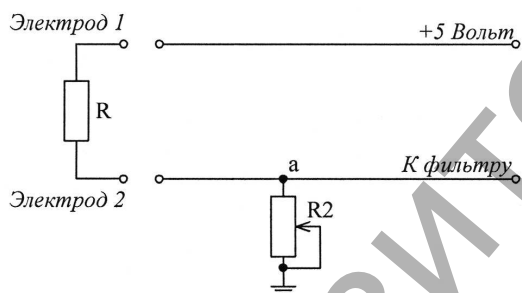


Рисунок 4 – Схема датчика ЭАК

При взаимодействии пользователя с программным продуктом любые затруднения, возникающие в рабочем процессе, должны проявляться в компоненте SCR, а точнее, в виде ER-SCR (реакции на раздражители). С точки зрения обработки сигнала, данные SCR представлены всплесками напряжения.

В общем случае процесс извлечения качественных и количественных характеристик SCR из сигнала должен включать предварительную обработку принятого сигнала, выделение характерных признаков реакций пользователя, а также постобработку, заключающуюся в вычислении количественных характеристик пользовательской реакции за время работы с программным продуктом.

Для выделения физической составляющей используется высокочастотная фильтрация сигнала ЭАК с частотой среза, равной  $0,05 \text{ Гц}$  (рис. 5). Далее для обнаружения в результирующем временном ряду SCR экстремумов выполняется численное дифференцирование, после чего ведется подсчет локальных максимумов по факту смены знака значениями первой производной (с селекцией по амплитуде пика).

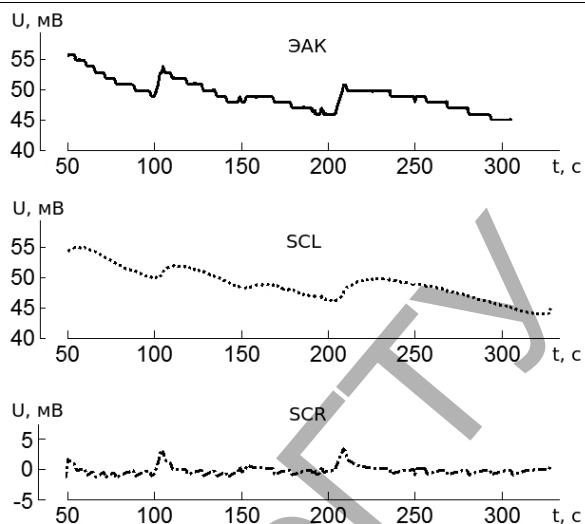


Рисунок 5 – Выделение показателя SCR из значений ЭАК

**3. Пример использования схемы в реальной задаче.** В качестве реальной задачи, на которой обкатывалось применение разработанной схемы и методики оценки ЭАК, была выбрана задача сравнения эффективности интерфейсов современных офисных пакетов.

Актуальность данной задачи связана в первую очередь с появлением ленточных инструментальных панелей (Ribbon, Microsoft Fluent Interface или MFI), которые можно назвать самой кардинальной (и самой противоречивой) GUI-инновацией Microsoft со времен изобретения данной компанией панели задач. Уже использовавшийся ранее в некоторых продуктах способ переключения содержимого панели с помощью вкладок был сильно модифицирован в MFI полным отказом от системного меню (что делает ленточную панель единственным органом управления), делением видимой части панели на секции, каждая с виджетами самого разного размера, а также автоматическим переключением вкладок панели в зависимости от прогноза о намерениях пользователя.

В ряде источников отмечалось, что, хотя MFI нередко обеспечивает доступность нужных элементов в один клик, совмещение в одной полосе множества элементов чередующихся размеров рождает у пользователя ощущение хаоса [8]. Хотя в продуктах Microsoft и других популярных приложениях под Windows этот подход признается пользователями как минимум приемлемым (иногда после первоначального шока), тем не менее он не набрал среди сторонних разработчиков достаточной популярности, чтобы проявиться на других платформах. В итоге, когда в 2011–2014 гг. возник ажиотаж вокруг экспериментальных интерфейсов, разработчики свободных офисных пакетов экспериментировали не с MFI, а с другими альтернативными элементами (например, боковой секционированной панелью).

Однако за 8 лет сформировалась категория пользователей, специально натренированных на применение MFI. Поэтому представляет интерес выяснение того, насколько различается эффективность взаимодействия с более традиционными интерфейсами и с MFI у современных пользователей. Попытке прояснить эти вопросы и были посвящены экспериментальные исследования, в которых применялся предлагаемый подход к оценке SCR.

Для исследования вопроса анализа уровня комфортности для современных пользователей традиционных интерфейсов и MFI нами были выбраны 3 варианта инструментальных панелей:

- 1) инструментальная панель в стиле MFI – представлена MS Office 2007;
- 2) классическая панель сверху экрана – представлена LibreOffice;
- 3) боковая панель справа от страницы, содержащая раскрываемые секции (присутствует в IBM Symphony Office, Calligra Office Suite, опционально в LibreOffice) – представлена LibreOffice с отключенной верхней панелью.

В тестировании приняли участие 23 студента в возрасте 20–22 лет. Тестируемые выполняли задания в два этапа: сначала в трех приложениях для ознакомления с интерфейсом, а затем другие варианты тех же заданий в режиме мониторинга. Каждый вариант состоит из 16 операций, связанных с форматированием и разметкой документа, выбранных с учётом предположения о влиянии организации инструментальных панелей преимущественно на действия, выполняемые без клавиатуры.

По скорости выполнения заданий боковая панель оказалась аутсайдером, что хорошо согласуется с затруднениями большинства пользователей при прецизионных горизонтальных движениях мышью. 58% тестируемых достигли наибольшей скорости работы в MFI, для 32% более быстрая работа отмечена при использовании верхней панели, и только 10% проявили наибольшую эффективность в интерфейсе с боковой панелью.

При нормировании скорости работы относительно интерфейса с верхней панелью, MFI оказался более быстрым интерфейсом для 63% пользователей (средний выигрыш времени 30%). Соответственно только для 37% пользователей верхняя панель оптимальнее, чем MFI (причем средний выигрыш времени в их случае всё же 30%). Наконец, боковая панель предпочтительнее верхней для 38% пользователей (средний выигрыш времени 33%), и почти для 2/3 этих пользователей наиболее эффективен интерфейс MFI.

У ряда пользователей наблюдались выраженные серии всплесков S, соответствующие эмоциональной реакции на события. Исходя из предположения о сосредоточенности на решаемой задаче, это говорит о переживаниях или от тестовых заданий (различия вариантов не позволяли выполнять работу бездумно), или от поиска нужного виджета на панели.

Ярко выраженный ER-SCR зарегистрирован в 1/4 от общего числа тестов: всего 1 раз при использовании боковой панели, чаще всего при использовании MFI, в т. ч. нередко у пользователей, для которых она оптимальна по скорости их работы. Аналогичное наблюдение верно и для пользователей, для которых оптимальна верхняя панель: иначе говоря, использование наиболее привычного и эффективного интерфейса может косвенно способствовать. Заметим, что данный фактор хорошо согласуется с рядом исследований [8, 9], показывающих, что возбуждающий стресс помогает выполнить задачу, поскольку увеличивает бдительность. Однако слишком большой стресс затрудняет выполнение этой задачи. Закон Йеркса – Додсона утверждает, что способность к выполнению задачи возрастает под влиянием физиологического или умственного стимула, но только до определенной точки. Когда стимул становится слишком большим, эта способность уменьшается [10].

тает под влиянием физиологического или умственного стимула, но только до определенной точки. Когда стимул становится слишком большим, эта способность уменьшается [10].

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Журавский, В. И. Программно-аппаратная система для сравнительных исследований эргономики программного обеспечения / В. И. Журавский, Д. А. Костюк, О. О. Латий, А. А. Маркина // Информационные технологии и системы 2015 (ИТС 2015): материалы Международной научной конференции. – Минск: БГУИР, 29 октября 2015 г. – С. 252–253.
2. Rebsamen, B. Evaluation of cognitive workload from EEG during a mental arithmetic task / B. Rebsamen, K. Kwok, T. B. Penney // Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting. – Vol. 55. – Iss. 1. – 2011. – P. 1342–1345.
3. Martini, F. Essentials of Anatomy & Physiology / F. Martini, E. Bartholomew – San Francisco: Benjamin Cummings, 2003. – p. 267.
4. Braithwaite, J. J. A Guide for Analysing Electrodermal Activity & Skin Conductance Responses for Psychological Experiments / J. Jason Braithwaite, Derrick G Watson, Robert Jones, Mickey Rowe. – Selective Attention & Awareness Laboratory Behavioural Brain Sciences Centre, University of Birmingham. – UK: Tech. Rep., 2013. – p. 42.
5. Boucsein, W. Electrodermal Activity Second Edition / W. Boucsein. – Germany: Springer, 2012. – 618 p.
6. Kappeler-Setz, C. Towards Long Term Monitoring of Electrodermal Activity in Daily Life / Cornelia Kappeler-Setz, Johannes Schumm, Martin Kusserow, Bert Arnrich, Gerhard Tröster // International Workshop on Ubiquitous Health and Wellness. – Zurich, 2010. – p. 4.
7. Костюк, Д. А. Инструментальная оценка состояния пользователя в задаче сравнения интерфейсов офисных приложений / Д. А. Костюк, О. О. Латий, А. А. Маркина // XII конференция разработчиков свободных программ: тезисы докладов. – Калуга, 16–18 октября 2015г. – М.: Альт Линукс, 2015. – С. 8–12.
8. Lupien, S. J. The effects of stress and stress hormones on human cognition: Implications for the field of brain and cognition / S. J. Lupien [et al.] // Brain and Cognition. – No. 65. – 2007. – P. 209–237.
9. LeDoux, Joseph Emotion circuits in the brain // Annual Review of Neuroscience. – No. 23. – 2000. – P. 155–184.
10. Yerkes, Robert M. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation / Robert M. Yerkes, J. D. Dodson // Journal of Comparative Neurology and Psychology. – No. 18. – 1908. – P. 459–482.

Материал поступил в редакцию 26.03.2019

#### ZHURAVSKY V. I., KOSTIUK D. A., LATIY O. O., MARKINA A. A., POLYAKOV V. I. Measurement and analysis of the skin electrical activity for the tasks of the of the user's state monitoring

The article presents an analysis of the skin electrical activity parameters and the possibility of their use for the monitoring of changes in the user's emotional state in the process of working with software. The registration hardware is considered, as well as the filtering of the measured signal information component. The results of the assessment of the phasic component of the user's skin electrical activity to monitor his work with a software product are presented.

УДК 517.91: 004.021

Швычкина Е. Н.

### МЕТОД МАЛОГО ПАРАМЕТРА В ЗАДАЧЕ ХЕМОСТАТА С ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМЫМИ СУБСТРАТАМИ

**Введение.** Рассмотрим ресурсную модель, которая описывает процесс роста микроорганизма в хемостате [1]. Базовая модель роста популяций в хемостате, которая основывается на кинетике Моно, описывается безразмерной системой

$$\begin{cases} \dot{s}(t) = (s_0 - s(t))D - x_1(t) \frac{m_1 s(t)}{a_1 + s(t)} - x_2(t) \frac{m_2 s(t)}{a_2 + s(t)}, \\ \dot{x}_i(t) = \left( \frac{m_i s(t)}{a_i + s(t)} - D \right) x_i(t), \quad (i = 1, 2), \end{cases} \quad (1)$$

Швычкина Елена Николаевна, к. физ.-мат. н., доцент, доцент кафедры высшей математики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.