

18. *Lomov A.A., Seredin B.M., Gavrus I.V., Martyushov S.Yu.* Aluminum doped thermomigrated silicon channels for high voltage solar cell: Structure and electrical properties, *Proc. SPIE 12157, International Conference on Micro- and Nano-Electronics*, 2021, pp 1215703.
19. Ansys. Available at: <https://www.ansys.com>.
20. *Sheludyak Yu.E., Kashporov L.Ya., Malinin L.A., TSalkov V.N.* Теплофизические свойства компонентов горючих систем: Справочник [Thermophysical properties of components of combustible systems: Handbook], ed. by N.A. Silina; NPO "Inform TEI". Moscow, 1992, 92 p.
21. *Vigdorovich V.N., Gershanov V.Yu., Konstantinova G.S., Lozovskiy V.N., Popov V.P.* Зонная плавка с градиентом температуры как метод физических исследований [Zone melting with a temperature gradient as a method of physical research], *Zavodskaya laboratoriya [Factory Laboratory]*, 1970, No. 11, pp. 1350-1364.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Курейчик.

Середин Борис Михайлович – Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова; e-mail: seredinboris@gmail.com; г. Новочеркасск, Россия; кафедра физики и фотоники; д. т. н.; заведующий.

Попов Виктор Павлович – e-mail: popovnpri@gmail.com; кафедра физики и фотоники; д.т.н.; профессор.

Малибашев Александр Владимирович – e-mail: a_malib@mail.ru; кафедра физики и фотоники; к.т.н.; доцент.

Зиненко Марина Борисовна – e-mail: p1648@yandex.ru; кафедра физики и фотоники; аспирант.

Скиданов Алексей Александрович – Акционерное общество «ВЗПП-Микрон»; e-mail: askidanov@vsp-mikron.com; г. Воронеж, Россия; главный конструктор.

Seredin Boris Mikhailovich – South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov; e-mail: seredinboris@gmail.com; Novocherkassk, Russia; the department of physics and photonics; dr. of eng. sc.; head of the department.

Popov Viktor Pavlovich – e-mail popovnpri@gmail.com; the department of physics and photonics; dr. of eng. sc.; professor.

Malibashev Alexander Vladimirovich – e-mail: a_malib@mail.ru; the department of physics and photonics; cand. sc.; associate professor.

Zinenko Marina Borisovna – e-mail: p1648@yandex.ru; the department of physics and photonics; Novocherkassk, Russia; postgraduate student.

Skidanov Alexey Alexandrovich – VSP-Micron Joint Stock Company; e-mail: askidanov@vsp-mikron.com; Voronezh, Russia; chief designer.

УДК 612.769

DOI 10.18522/2311-3103-2023-4-210-220

А.В. Леонова, С.А. Синюгин, О.Ю. Шпаковская, З.А. Коков

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ГОТОВНОСТИ ВСАДНИКА И ЛОШАДИ К ИППОТЕРАПИИ

Иппотерапия является уникальным методом для восстановления и активного психофизического и психомоторного развития. Однако эффективность метода иппотерапии не доказана научно. Вследствие отсутствия объективных доказательств эффективности иппотерапии, данный метод вызывает сомнения у врачей; родителей детей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) из-за риска негативного влияния данного метода на организм человека, связанного с возможной травмой физического и психологического ха-

рактера. Поэтому во время занятия иппотерапией важно вести непрерывную оценку функциональной готовности всадника и лошади участвовать в занятии иппотерапии, фиксируя скрытые психофизиологические (ПФ) реакции. Для того, чтобы сеанс иппотерапии имел лечебный эффект с точки зрения биомеханического фактора, важно чтобы всадник и лошадь двигались синхронно. В качестве инструмента для объективной оценки показателей функционального состояния всадника и лошади, и для оценки взаимовлияния локомоций всадника и лошади во время занятия иппотерапией было принято решение разработать аппаратно-программный комплекс (АПК). Данное устройство позволит специалистам по иппотерапии оценивать индивидуальные особенности всадника и подобрать оптимальный уровень нагрузки в соответствии с психофизиологическим состоянием. С помощью аппаратно-программного комплекса тренер по иппотерапии сможет отслеживать сохранение правильного положения всадника на протяжении всего занятия, оценивать синхронность изменения кинетических параметров лошади и всадника во время движения. Аппаратно-программный комплекс позволит провести ряд исследований, направленных на оценку эффективности метода иппотерапии для людей с ограниченными возможностями здоровья и собрать научно-доказательную базу для подтверждения эффективности работы метода иппотерапии.

Аппаратно-программный комплекс; функциональное состояние; психофизиология; иппотерапия; верховая езда; инерциальный датчик; биомеханика; комплементарный фильтр; гироскоп; акселерометр; ограниченные возможности здоровья (ОВЗ); реабилитация; ошибки посадки всадника; вариабельность сердечного ритма (BCP); термография; фотоплетизмограмма.

A.V. Leonova, S.A. Sinyutin, O.Yu. Shpakovskaya, Z.A. Kokov

DEVELOPMENT OF A HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR FUNCTIONAL DIAGNOSTICS OF RIDER AND HORSE READINESS FOR HIPPO THERAPY

Hippotherapy is a unique method for restoration and active psychophysical and psychomotor development. However, the effectiveness of hippotherapy has not been scientifically proven. Due to the lack of objective evidence of the effectiveness of hippotherapy, this method raises doubts among doctors and parents of children with disabilities due to the risk of the negative impact of this method on the human body, associated with possible physical and psychological trauma. Therefore, during hippotherapy, it is important to continuously assess the functional readiness of the rider and horse to participate in hippotherapy, recording hidden psychophysiological (PF) reactions. In order for a hippotherapy session to have a therapeutic effect from a biomechanical point of view, it is important that the rider and horse move synchronously. As a tool for objective assessment of the functional state of the rider and horse, and for assessing the mutual influence of the horse rider's locomotion during hippotherapy, it was decided to develop a hardware-software complex (HPC). This device will allow hippotherapy specialists to assess the individual characteristics of the rider and select the optimal load level in accordance with the psychophysiological state. Using the hardware and software complex, the hippotherapy trainer will be able to monitor the maintenance of the correct position of the rider throughout the entire lesson, assess the synchronicity of changes in the kinetic parameters of the horse and rider during movement. The hardware and software complex will allow us to conduct a number of studies aimed at assessing the effectiveness of the hippotherapy method for people with disabilities and collect a scientific evidence base to confirm the effectiveness of the hippotherapy method.

Hardware-software complex; functional state; psychophysiology; hippotherapy; horse riding; inertial sensor; biomechanics; complementary filter; gyroscope; accelerometer; disabilities; rehabilitation; rider seating errors; heart rate variability (HRV); thermography; photoplethysmogram.

Введение. Рост численности детей с ограниченными возможностями здоровья (далее ОВЗ) по данным Федеральной службы государственной статистики, рис. 1 [1] приводит к все большему увеличению социального запроса на повышение эффективности традиционного лечения [2]. Возникает необходимость новых

методов, которые могли бы войти в комплекс традиционной реабилитации и повысить ее эффективность. Этим вопросам уделяют пристальное внимание медики, ученые, педагоги, реабилитологи, психологи, тренеры и специалисты по иппотерапии. Создание устройств с целью проведения оценки степени влияния эффективности новых методов реабилитации на состояние человека является приоритетным направлением инженерных исследований.



Рис. 1. Общая численность детей инвалидов 2016-2023 гг.

В качестве предмета данного исследования выбран метод иппотерапии – нейрофизиологическое лечение с применением верховой езды. Иппотерапия становится неотъемлемой частью современных медицинских, психологических и педагогических технологий [2]. Метод иппотерапии создает уникальные условия для одновременного позитивного воздействия на физический статус и психоэмоциональную сферу пациента. Терапия с участием посредника – лошади приносит пользу пациентам с различными психиатрическими и психосоматическим расстройствами [3, 4, 6].

Объектами данного исследования являются люди с ОВЗ, проходящие реабилитацию с помощью метода иппотерапии.

Несмотря на общеизвестный факт, что организм человека способен быстрее восстановиться благодаря верховой езде, иппотерапия на сегодняшний день не является научно-доказанным и рекомендованным врачами методом.

Есть следующие проблемы, мешающие широкому применению иппотерапии в рамках комплексной реабилитации. Это отсутствие:

- ◆ Объективной оценки процесса реабилитации с помощью иппотерапии и как следствие – недоверие к методу иппотерапии.
- ◆ Невозможность подбора индивидуальной нагрузки для всадника и объективной оценки функциональных возможностей и состояния лошади.
- ◆ Тренировочный процесс и подбор лошади осуществляется без объективного способа учета состояния всадника и лошади.
- ◆ Возникают риски травм и негативных состояний всадника.

Тренеры по иппотерапии и лечебно-верховой езде обычно работают с людьми с ОВЗ, чаще всего с детьми, у которых присутствуют патологии опорно-двигательного аппарата, неврология, расстройство аутистического спектра, задержка умственного и речевого развития. Проблема заключается в том, что дети с ОВЗ часто не могут объяснить словами, что их беспокоит, их поведение не всегда предсказуемо. Специалисты по иппотерапии обращают внимание на следующие типы негативного функционального состояния: утомление, физическое напряжение, повышенная эмоциональная напряженность, различные формы психологического стресса [2, 3].

Психофизиологические показатели позволяют выявить негативные функциональные состояния на основе ВСР (вариабельности сердечного ритма), изменения температуры определенных участков лица и тела, изменению тембра голоса, мышечного напряжения и др. [13, 14].

Постановка задачи. Оценить функциональное состояние всадника на основе психофизиологических показателей возможно на основе разработки аппаратно-программного комплекса (АПК) для диагностики функционального состояния всадника и лошади и оценки паттернов движения всадника и лошади во время движения. Данный комплекс будет интересен и полезен конным и конно-спортивным клубам, реабилитационными центрами специалистам по иппотерапии и адаптивной верховой езде, тренерам по адаптивному конному спорту.

Для исследования выбраны методы, обеспечивающие наиболее комфортный и незаметный съем ПФС всадника, и кинематику движения лошади: ФПГ, ЭМГ, термометрия, голосовой анализ речи.

Для проведения комплексного исследования и выявления всех необходимых показателей необходимо разработать устройство, позволяющее проводить непрерывный мониторинг ПФС всадника на протяжении всего занятия и передавать данные экспериментатору (тренеру) по беспроводному каналу.

На рис. 2 показан принцип работы АПК и пользовательский сценарий. С датчика 1 на микроконтроллер 4 поступают данные о функциональном состоянии и локомоциях всадника, с датчика 2 – данные о локомоциях лошади, 3 – блок сбора статокINETических психофизиологических показателей, 4 – микроконтроллер, 5 – смартфон тренера на который поступает вся полученная информация в процессе иппотерапии о лошади и всаднике.

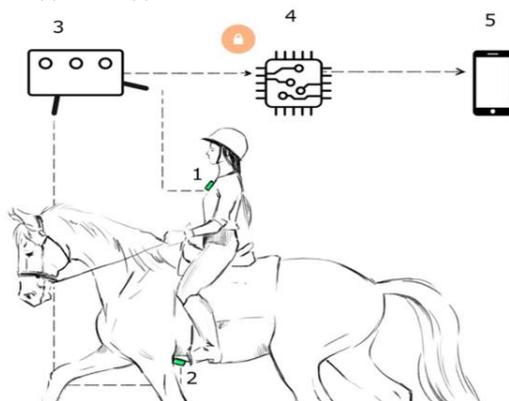


Рис. 2. Принцип работы АПК и пользовательский сценарий, где 1 – датчик 1 (сбор данных о функциональном состоянии и локомоциях всадника), 2 – датчик 2 (сбор данных о ФС и локомоциях лошади), 3 – блок сбора статокINETических психофизиологических показателей, 4 – микроконтроллер, 5 – смартфон тренера

Использование данного комплекса удобно и безопасно как для всадника, так и для лошади. Отсутствие контакта с кожными покровами упрощает процедуру сертификации прибора. Возможно применение в полевых условиях. Крепление на одежду позволит применять и для детей с девиантным поведением. В рамках исследования проблемы проведено проблемное интервью и опрос среди специалистов по иппотерапии. Большинство подтвердили необходимость в объективной комплексной оценке на протяжении всего занятия.

Исследование аналогов показало, что существуют приборы и комплексы для оценки состояния человека, которые используются также для иппотерапии, однако все они не решают указанных выше проблем [4]. В то же время предлагаемый нами АПК обладает рядом дополнительных преимуществ по сравнению с указанными аналогами:

- ◆ Комплексность – прибор объединяет сразу несколько методик, необходимых для иппотерапии.
- ◆ Комфортный съем данных.
- ◆ Возможность оценки необходимых параметров в движении, также за пределами манежа.
- ◆ Синхронизация и анализ данных о взаимном движении всадника и лошади.
- ◆ Цена ниже, чем стоимость аналогов.

Во время иппотерапии работают все основные группы мышц человека. Синхронность движений лошади и всадника составляет основу для коррекции опорно-двигательного аппарата. Во время сеансов терапии лошадь передает человеку более 100 двигательных импульсов в минуту. Тело пациента движется в трех плоскостях (вперед-назад; вправо-влево; вверх-вниз). Постоянные колебания заставляют всадника рефлекторно корректировать положение своего центра тяжести; включаются мышцы корпуса, которые обычно редко напрягаются, формируется мышечный корсет, обеспечивающий поддержку позвоночнику [2, 4]. На занятиях иппотерапией во время прогулки верхом, для инструктора очень важно, чтобы пациент занял правильное положение корпуса и вошел в ритм движения лошади. Центр тяжести всадника должен совпадать с центром тяжести лошади, что позволяет всаднику прочно сидеть в седле. Критичным моментом всегда является начало движения, когда всадник по инерции откидывается назад. Поэтому перед началом движения всаднику необходимо чуть наклониться вперед, задействовав пояснично-крестцовые мышцы, тогда центр тяжести всадника также смещается вперед. Затем во время движения лошади всадник входит в ритм движения лошади и принимает ровное положение корпуса, сохраняя закон равновесия [6]. Определить и зафиксировать правильные положения корпуса всадника во время начала движения и во время движения лошади возможно на основе инерциальных МЭМС-датчиков, встроенных в блок АПК, прикрепленного к одежде всадника. Методика на основе МЭМС-датчиков для сбора статокинетических параметров успешно реализована. Одним из показателей является оценка угловой скорости и углы отклонения всадника и лошади от исходного положения. Полученные данные помогают объективно оценивать результаты тренировки и ее эффективность. Для определения угла отклонения от определенной плоскости и расстояния смещения применен акселерометр и гироскоп. Исследована функция сбора и обработки статокинетических параметров, которая используется в составе АПК. Провели лабораторные испытания, которые показали, что необходимо провести дополнительную обработку сигнала и устранить помехи, подобрать методы обработки и провести ряд и испытаний в лабораторных условиях.

Структурная схема АПК показана на рис. 3.

Аппаратно-программный комплекс для функциональной диагностики готовности всадника и лошади к иппотерапии представляет собой распределенную систему, которая состоит из двух блоков. Один блок – микроконтроллерный блок 1 принимает и обрабатывает данные, с электродов, прикрепленных к лошади. Сам блок состоит из шести осевого инерциального датчика, микроконтроллера, радиомодема. Также предусматривается блок питания ко всем компонентам блока. После обработки ЭКГ лошади по радиосвязи передается на смартфон врача или исследователя (тренера). Также ЭКГ сигнала лошади возможно передать и другим пользователям по радиоканалу. Второй блок – микроконтроллерный блок 2 необ-

ходим для обработки и передачи сигналов с всадника. ФПГ и ЭКГ человека (всадника) поступает на микроконтроллер, где и происходит дальнейшая обработка сигналов. Данный блок также содержит шестиосевой инерциальный датчик, радиомодем и блок питания. После обработки ФПГ и ЭКГ человека (всадника) по радиосвязи передается на смартфон врача или исследователя (тренера). Данные сигналы возможно передать и другим пользователям по радиоканалу. Таким образом, аппаратно-программный комплекс для функциональной диагностики готовности всадника и лошади к иппотерапии является блочной системой с широким спектром возможностей по обработке и дальнейшей передаче сигналов, поступающих как с лошади, так и со всадника [15, 16].

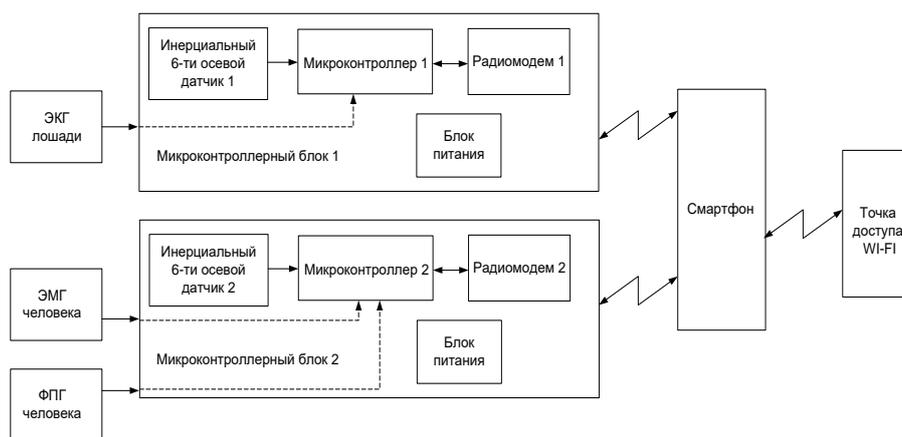


Рис. 3. Структурная схема аппаратно-программного комплекса для функциональной диагностики готовности всадника и лошади к иппотерапии

Рассмотрим работу инерциального датчика МЭМС на основе платы MPU-6050. Используемый датчик для позволяет измерить угловое ускорение и угловую скорость относительно осей X, Y, Z. В состав микросхемы MPU-6050 входят три измерителя ускорения – акселерометра, каждый из них расположен на своей оси X, Y, Z. Если наклонить датчик и взять $\arctg \frac{ax}{az}$, то получим угол поворота относительно оси Y; если взять $\arctg \frac{ay}{az}$, то получим угол наклона по оси X. Недостатком измерений с помощью акселерометра является то, что данный тип измерения сопровождается шумами и помехами. Достоинством измерений, выполненных с помощью акселерометра, является независимость от времени [10;11].

Микросхема MPU-6050 позволяет также измерить угловую скорость ω . Интегрирование по скорости позволяет рассчитать углы. Данные углы не подвержены шумам. Но у данного вида измерений есть недостаток: если в начале измерения есть ошибки, то они «дрейфуют» во времени и усиливаются. Для того чтобы правильно измерить углы отклонения корпуса всадника необходимо объединить оба представленных метода измерения с помощью комплементарного фильтра или фильтра Калмана. Недостатком фильтра Калмана является сложность его настройки и длительное вычислительное время. Комплементарный фильтр использует выходы двух или нескольких датчиков. Комплементарный фильтр представляет собой упрощенную модель фильтра Калмана для одномерного случая, в котором звено интерполяции представляет первое слагаемое. Поскольку угловая оценка с использованием одного датчика акселерометра или гироскопа имеет недостаточную точность, основная идея комплементарного фильтра заключается в объединении выходов гироскопа и акселерометра [7, 12, 17]. Оценка угла составляет полу-

ченные данные из суммы их измерений. Проинтегрированный выходной сигнал с гироскопа подается в фильтр высоких частот и выходной сигнал подается в фильтр низких частот. Функция фильтра нижних частот состоит в том, чтобы изменения происходили, отфильтровывая краткосрочные колебания [7, 18–20].

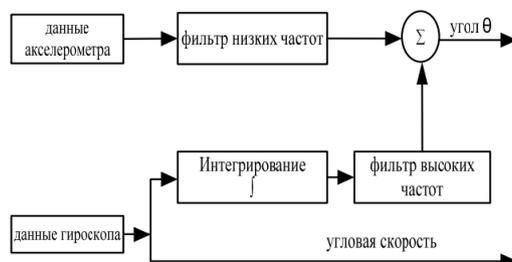


Рис. 4. Структурная схема цифрового комплементарного фильтра для МЭМС гироскопа и акселерометра [5, 7, 8].

Математическая модель комплементарного фильтра может быть представлена, как:

$$\theta_{\text{угол}} = \alpha * (\theta_{\text{угол}} + \omega_{\text{гироскоп}} * dt) + (1 - \alpha) \alpha_{\text{аксе}}, \quad (1)$$

$\theta_{\text{угол}}$ – угол наклона (тангаж или крен), α – коэффициент фильтра, $\omega_{\text{угол}}$ представляет угловую скорость от гироскопа, и $\alpha_{\text{аксе}}$ – угол, полученный спомощью данных от акселерометра [5, 8].

Данные от гироскопа и акселерометра должны быть обнулены и масштабированы перед использованием уравнения (1) для вычисления угла. Коэффициент фильтра α определяется уравнением (2).

$$\alpha = \frac{\tau}{\tau + dt}, \quad (2)$$

где τ – постоянное время фильтра [5, 7].

На рис. 5 представлены сигналы, записанные монитором без обработки во время движения всадника на лошади.

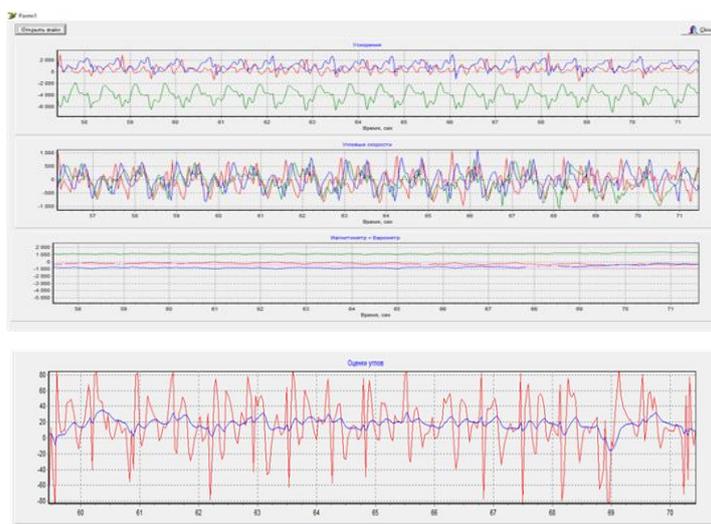


Рис. 5. Данные, полученные во время движения всадника на лошади, без обработки

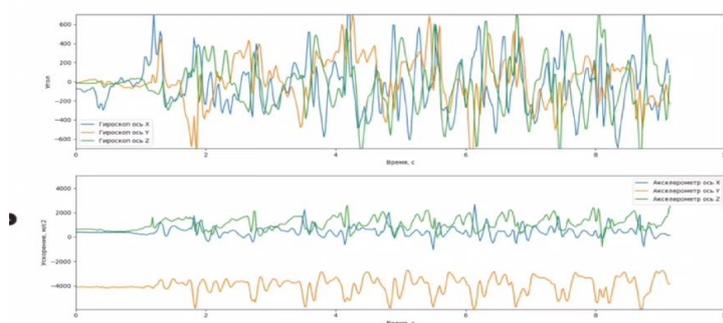


Рис. 6. Данные, полученные во время движения всадника на лошади, постдополнительной обработки

Комплементарный фильтр позволил избавиться от шума и дрейфа, и осуществлять регулируемую фильтрацию оценки угла от помехи [9].

Выводы. Комплементарный фильтр может быть использован для определения фактического угла, сглаживая помех, возникающих при работе акселерометра и гироскопа, он позволяет точно определить фактический угол наклона всадника. Использование АПК на основе МЭМС-датчиков во время сеанса иппотерапии дает возможность инструктору с помощью записи движения всадника обнаружить и зафиксировать ошибки посадки (статические) и ошибки, возникающие во время движения всадника на лошади (динамические). Внедрение данной разработки повысит эффективность занятий иппотерапией, благодаря осуществлению контроля инструктора за тем, насколько правильно всадник занимает положение в седле и выполняет упражнение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральная служба государственной статистики. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13964> (дата обращения: 15.05.2023).
2. Паначев В.Д. Управляющее воздействие адаптивной физической культуры и спорта в социализации личности детей с ограниченными жизненными возможностями // Лечебная физическая культура. – 2004. – № 4. – С. 32-36.
3. Шайдхакер М., Фридрих Д., Бендер В. О лечении расстройств на почве страха с помощью психотерапевтической верховой // Адаптивная физическая культура. – 2003. – № 1. – С. 18-19.
4. Материалы 8 Всероссийской научно-практической конференции: Методы абилитации и реабилитации с помощью лошади в системе комплексной реабилитации // НФ ИАКС. – Ростов-на-Дону, 2022.
5. Зо Мью Наин, А.В. Щагин, Ле Винь Тханг, Хтин Линн У. Комплементарный фильтр для оценки угла с использованием микроэлектромеханической системы гироскопа и акселерометра. // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 3. – ivdon.ru/magazine/archive/n3y2020/6380.
6. Мюзелер В. Учебник верховой езды. – URL: <https://horse-way.ru/informatsiya/informatsiya2/knigi/kniga-2-uchebnik-verhovojoj-ezdy-v-myuzeler/> (дата обращения: 4.09.2022).
7. Адаптивные фильтры / под ред. К.Ф.Н. Коузена и П.М. Гранта. – М.: Мир, 1988. – 392 с.
8. Синютин С.А. Анализ RR интервального ряда водителя в условиях сильных помех с помощью Wavelet преобразования // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 3. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/919> (доступ свободный).
9. Синютин С.А., Коков З.А., Кармов М.А. Адаптивное подавление артефактов движения при записи ЭКГ лошади // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 3 (26). – С. 81.

10. Синютин С.А., Сахаров В.Л. Определение мощности, развиваемой человеком при ходьбе по измерению ускорений // Рассеяние электромагнитных волн. Межвед. сб. науч.-техн. статей. – Вып. 16 / под ред. Ю.В. Юханова. – Таганрог: ТТИ ЮФУ. – 229 с.
11. Синютин С.А. Теория и конструкция полиграфа для регистрации мощности, развиваемой человеком при ходьбе // Тезисы докладов III Международной науч.-практ. конф. (1–4 октября 2009, г. Ростов-на-Дону). – Ростов-на-Дону, 2009. – 277 с.
12. Тарасова И.А., Леонова А.В., Синютин С.А. Алгоритмы фильтрации сигналов биоэлектрической природы // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4 (часть 2). – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1481> (доступ свободный).
13. Семенистая Е.С., Леонова А.В. Экспериментальное исследование зависимости времени пульсовой волны от систолического артериального давления // Актуальные вопросы исследования общественных и технических систем: Матер. Всероссийской научной конференции. Ч. 2. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – Режим доступа: <http://fre.tti.sfedu.ru/conferences/132-aviots.html>.
14. Леонова А.В., Зиновкин П.К., Болдырев Е.Б. Аппаратно-программный комплекс регистрации нагрузки для функциональной диагностики // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4 (часть 1). – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1130> (доступ свободный).
15. Дембо А.Г., Земцовский Э.В. Спортивная кардиология. – Л.: Медицина, 1989. – 464 с.
16. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. – М.: Наука, 1984. – 220 с.
17. Glentis G.O., Berberidis K., Theodoridis S. Efficient Least Squares Adaptive Algorithms for FIR Transversal Filtering // IEEE Signal Processing Magazine. – 1999. – Vol. 16, No. 4. – P. 13-41.
18. Haykin S. Adaptive Filter Theory. – 4th ed. – Prentice Hall, 2002. – 936 p. – ISBN 0-13-048434-2. 1
19. Farhang-Boroujeny B. Adaptive Filters. Theory and Applications. – John Wiley & Sons. – ISBN: 0471983373.
20. Euston M., Coote P., Mahony R., Kim J., Hamel. A Complementary Filter for Attitude Estimation of a Fixed wing UAV // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, France, September, 22-26, 2008. – P. 340-345.

REFERENCES

1. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Federal State Statistics Service]. Available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/13964> (accessed 15 May 2023).
2. Panachev V.D. Upravlyayushchee vozdeystvie adaptivnoy fizicheskoy kul'tury i sporta v sotsializatsii lichnosti detey s ogranichennymi zhiznennymi vozmozhnostyami [Controlling influence of adaptive physical culture and sports in the socialization of the personality of children with limited life opportunities], *Lechebnaya fizicheskaya kul'tura* [Therapeutic physical culture], 2004, No. 4, pp. 32-36.
3. Shaydkhaker M., Fridrikh D., Bender V. O lechenii rasstroystv na pochve strakha s pomoshch'yu psikhoterapevticheskoy verkhovoy [On the treatment of disorders based on fear with the help of psychotherapeutic riding], *Adaptivnaya fizicheskaya kul'tura* [Adaptive physical culture], 2003, No. 1, pp. 18-19.
4. Materialy 8 Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Metody abilitatsii i reabilitatsii s pomoshch'yu loshadi v sisteme kompleksnoy reabilitatsii [Materials of the 8th All-Russian Scientific and Practical Conference: Methods of habilitation and rehabilitation with the help of a horse in the system of complex rehabilitation], *NF IAKS* [NF IACS]. Rostov-on-Don, 2022.
5. Zo M'o Nain, Shchagin A.V., Le Vin' Tkhang, Khtin Linn U. Komplementarnyy fil'tr dlya otsenki ugla s ispol'zovaniem mikroelektromekhanicheskoy sistemy giroskopa i akselerometra. [Complementary filter for angle estimation using microelectromechanical gyroscope and accelerometer system], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2020, No. 3. Available at: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2020/6380.
6. Myuzeler V. Uchebnyy verkhovoy ezdy [Horse riding textbook]. Available at: <https://horseway.ru/informatsiya/informatsiya2/knigi/kniga-2-uchebnik-verhovojev-vezdy-v-myuzeler/> (accessed 4 September 2022).

7. Adaptivnye fil'try [Adaptive filters], pod red. K.F.N. Kouena i P.M. Granta. Moscow: Mir, 1988, 392 p.
8. Sinyutin S.A. Analiz RR interval'nogo ryada voditelya v usloviyakh sil'nykh pomekh s pomoshch'yu Wavelet preobrazovaniya [Analysis of RR interval series of the driver in conditions of strong interference using Wavelet transformation], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2012, No. 3. Available at: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/919> (free access).
9. Sinyutin S.A., Kokov Z.A., Karmov M.A. Adaptivnoe podavlenie artefaktov dvizheniya pri zapisi EKG loshadi [Adaptive suppression of motion artifacts in equine ECG recordings], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2013, No. 3 (26), pp. 81.
10. Sinyutin S.A., Sakharov V.L. Opredelenie moshchnosti, razvivaemoy chelovekom pri khod'be po izmereniyu uskoreniiy [Determination of the power developed by a person when walking by measuring acceleration], *Rasseyanie elektromagnitnykh voln. Mezhdved. sb. nauch.-tekhn. statey* [Scattering of electromagnetic waves. Interdepartmental collection of scientific and technical articles], Issue 16, ed. by Yu.V. Yukhanova. Taganrog: TTI YuFU, 229 p.
11. Sinyutin S.A. Teoriya i konstruktsiya poligrafa dlya registratsii moshchnosti, razvivaemoy chelovekom pri khod'be [Theory and design of a polygraph for recording the power developed by a person when walking], *Tezisy dokladov III Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. (1–4 oktyabrya 2009, g. Rostov-na-Donu)* [Abstracts of reports of the III International Scientific and Practical Conference (October 1–4, 2009, Rostov-on-Don)]. Rostov-on-Don, 2009, 277 p.
12. Tarasova I.A., Leonova A.V., Sinyutin S.A. Algoritmy fil'tratsii signalov bioelektricheskoy prirody [Algorithms for filtering signals of bioelectric nature], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2012, No. 4 (Part' 2). Available at: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1481> (free access).
13. Semenistaya E.S., Leonova A.V. Eksperimental'noe issledovanie zavisimosti vremeni pul'sovoy volny ot sistolicheskogo arterial'nogo davleniya [Experimental study of the dependence of pulse wave time on systolic blood pressure], *Aktual'nye voprosy issledovaniya obshchestvennykh i tekhnicheskikh sistem: Mater. Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii* [Current issues in the study of social and technical systems: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference]. Part 2. Taganrog: Izd-vo TTI YuFU, 2011. Available at: <http://fre.tti.sfedu.ru/conferences/132-aviots.html>.
14. Leonova A.V., Zinovkin P.K., Boldyrev E.B. Apparatno-programmnyy kompleks registratsii nagruzki dlya funktsional'noy diagnostiki [Hardware and software complex for load recording for functional diagnostics], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2012, No. 4 (Part' 1). Available at: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1130> (free access).
15. Dembo A.G., Zemtsovskiy E.V. Sportivnaya kardiologiya [Sports cardiology]. Leningrad: Meditsina, 1989, 464 p.
16. Baevskiy R.M., Kirillov O.I., Kletskin S.Z. Matematicheskiy analiz izmeneniy serdechnogo ritma pri stresse [Mathematical analysis of changes in heart rate under stress]. Moscow: Nauka, 1984, 220 p.
17. Glentis G.O., Berberidis K., Theodoridis S. Efficient Least Squares Adaptive Algorithms for FIR Transversal Filtering, *IEEE Signal Processing Magazine*, 1999, Vol. 16, No. 4, pp. 13-41.
18. Haykin S. Adaptive Filter Theory. 4th ed. Prentice Hall, 2002, 936 p. ISBN 0-13-048434-2. 1
19. Farhang-Boroujeny B. Adaptive Filters. Theory and Applications. John Wiley & Sons. ISBN: 0471983373.
20. Euston M., Coote P., Mahony R., Kim J., Hamel. A Complementary Filter for Attitude Estimation of a Fixed wing UAV, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, France, September, 22-26, 2008*, pp. 340-345.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.В. Боженюк.

Леонова Антонина Валерьевна – Южный федеральный университет; e-mail: leonova@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +79043467991; кафедра встраиваемых и радиоприемных систем; к.т.н.; доцент.

Шпаковская Оксана Юрьевна – e-mail: oshpakovskaya@sfedu.ru; тел.: +79612928515; кафедра систем автоматического управления; аспирант.

Синютин Сергей Алексеевич – e-mail: sasinyutin@sfedu.ru; тел.: 89281579965; кафедра встраиваемых и радиоприемных систем; зав. кафедрой; к.т.н.; доцент.

Коков Заур Анатольевич – Институт физики и математики; e-mail: zak@kbsu.ru; г. Нальчик, Россия; тел.: +79034959004; кафедра теоретической и экспериментальной физики; к.ф.-м.н.; доцент.

Leonova Antonina Valerievna – Southern Federal University; e-mail: leonova@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +79043467991; the department of embedded and radio receiving systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

Shpakovskaya Oksana Yuryevna – e-mail: oshpakovskaya@sfedu.ru; phone: +79612928515; the department of automatic control systems; graduate student.

Sinyutin Sergey Alekseevich – e-mail: sasinyutin@sfedu.ru; phone: +79281579965; the department of embedded and radio receiving systems; head of department; cand. of eng. sc.; associate professor.

Коков Заур Анатол'евич – Institute of Physics and Mathematics; e-mail: zak@kbsu.ru; Nalchik, Russia; phone: +79034959004; the department of theoretical and experimental physics; cand. of phys. and math. sc.; associate professor.

УДК 621.382.32:621.314

DOI 10.18522/2311-3103-2023-4-220-229

А.С. Синюкин, Б.Г. Коноплев, А.В. Ковалев**ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ-УМНОЖИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ
ДЛЯ ПИТАНИЯ МАЛОМОЩНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ ПАССИВНЫХ
МИКРОУСТРОЙСТВ**

В связи с активным развитием технологий автоматизации и их широким внедрением в логистику, торговлю, промышленность, строительство и другие отрасли экономики все большее распространение за счет своего удобства и доступности получают беспроводные системы. Чаще всего в них используются миниатюрные устройства, способные выполнять операции по идентификации, измерению параметров внешней среды, приему и передаче сигналов. В свою очередь, существует ряд областей, в которых использование батарейных микроустройств ограничено, поскольку замена разрядившейся батареи не всегда осуществима и целесообразна, к тому же стоимость активных устройств относительно высока. В таких приложениях могут применяться пассивные устройства, получающие энергию для работы посредством принимаемого антенной радиочастотного излучения из окружающего пространства. Для массового производства подобных недорогих устройств требуется интегральное исполнение микросхемы, ключевым модулем источника питания которой является выпрямитель напряжения с функцией умножения. В работе представлены результаты разработки интегральных выпрямителей-умножителей напряжения по типовым КМОП-технологиям SM018G 180 нм и HCMOS8D 180 нм в САПР Cadence IC. Рассмотрена степень влияния порогового напряжения и числа каскадов на выходные характеристики умножителей. Показано, что в восьмикаскадном умножителе, построенном по технологии HCMOS8D, уровень выходного напряжения 2 В, необходимый для питания микросхемы беспроводного устройства, достигается при амплитуде входного напряжения 375 мВ, а в умножителе на шестнадцать каскадов - при амплитуде 300 мВ. Предлагаемые выпрямители-умножители могут быть использованы при построении источников питания беспроводных пассивных устройств.

Интегральная микросхема; КМОП; мониторинг состояния конструкций; выпрямитель напряжения; каскадирование; подпороговый режим работы.