

2. *Титов В.С., Мишустин В.Н., Новиков А.В., Коровин Е.Н.* Классификация функциональных состояний и оценка уровня психоэмоционального напряжения и утомления на основе гибридных нечетких моделей // Медицинская техника. 2013. № 4. С. 11-13.
3. *Алпатов А.В., Кирюхин А.В.* Система поддержки водителя на основе анализа пульса и параметров движения транспортного средства // Медицинская техника. 2015. № 2. С. 29-34.
4. *Zhai S., Accot J., Woltjer R.* Human Action Laws in Electronic Virtual Worlds – An Empirical Study of Path Steering Performance in VR // Teleoperators and Virtual Environments. 2004. Vol. 13. № 2. PP. 113-127.
5. *Корневский Н.А., Гадалов В.Н., Коровин Е.Н., Серебровский В.И.* Оценка эргономичности биотехнических систем с помощью нечетких моделей Шортлифа // Медицинская техника. 2013. № 4. С. 4-6.
6. *Струнин Р.М.* Биотехническая система определения психоэмоционального состояния человека // Технические науки. Апрель 2016 / <http://research-journal.org/technical/biotexnicheskaya-sistema-opredeleniya-psychoemocionalnogo-sostoyaniya-cheloveka/> (дата обращения 26.04.16 г.).
7. *Скринникова А.В.* Изменение индивидуальной динамики манипуляций устройствами управления курсором под влиянием эмоций страха и радости // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 5. С. 246-251.
8. *Скринникова Г.В.* Модели эмоций: проблемы та рішення / Материалы МНТК «САИТ 2011», Киев, 2011. – К.: ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2011. С. 310.
9. *Навалихина А.И.* Структура ассоциативного поля в условиях доминирования разных модальностей восприятия // Вестник Челябинского гос. ун-та. 2013. № 14 (305). С. 38-44.
10. *Chernova I.V., Sumin S.A., Bobyr M.V., Seregin S.P.* Forecasting and diagnosing cardiovascular disease based on inverse fuzzy models // Biomedical Engineering. 2016. Vol. 49. № 5. С. 263-267.
11. *Ротштейн А.П., Штовба С.Д.* Моделирование надежности человека-оператора с помощью нечеткой базы знаний Сугено // Автоматика и телемеханика. 2009. № 1. С. 180-187.
12. *Бобырь М.В., Кулабухов С.А., Титов Д.В.* Оценка влияния числа обучаемых точек на аддитивность нечетких систем // Промышленные АСУ и контроллеры. 2014. № 10. С. 30-35.
13. *Гадалов В.Н., Иванов В.А., Снопков В.Н., Серебровский В.И.* Прогнозирование и ранняя диагностика заболеваний на основе оценки функционального резерва организма человека с помощью гетерогенных нечетких моделей // Медицинская техника. 2013. № 4. С. 6-8.
14. *Емельянов С.Г., Титов В.С., Бобырь М.В.* Интеллектуальные системы на основе нечеткой логики и мягких арифметических операций / Уч. пособие. – М.: АРГАМАК-МЕДИА, 2014. 341 с.
15. *Бобырь М.В., Кулабухов С.А.* Дефаззификация вывода из базы нечетких правил на основе метода разности площадей // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 9 (135). С. 32-41.
16. *Бобырь М.В., Кулабухов С.А., Милостная Н.А.* Обучение нейро-нечеткой системы на основе метода разности площадей // Искусственный интеллект и принятие решений. 2016. № 4. С. 15-26.
17. *Бобырь М.В., Милостная Н.А.* Анализ использования мягких арифметических операций в структуре нечетко-логического вывода // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 7. С. 7-15.

*Максим Владимирович Бобырь,
д-р техн. наук, профессор,
кафедра вычислительной техники,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск,
Анна Владимировна Скринникова,
ст. преподаватель,
кафедра фундаментальной математики,
ГОУ ВПО ЛНР «Луганский
государственный университет им. Т. Шевченко»,
г. Луганск,
Наталья Анатольевна Милостная,
канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,
Станислав Петрович Серегин,
д-р мед. наук, профессор,
кафедра биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск,
e-mail: max_b@mail333.com*

С.Н. Саягин

Принцип построения адаптивного мобильного пространственного реабилитационного робота-манипулятора на основе октаэдрального додекапода

Аннотация

Представлена новая концепция адаптивного мобильного пространственного реабилитационного робота-манипулятора параллельной структуры на основе октаэдрального додекапода. Описаны его конструктивные принципы и функциональные возможности, позволяющие автоматизировать процесс проведения массажа верхних и нижних конечностей, включая локтевые и коленные суставы, а также шею пациента.

Массаж эффективно применяется с древних времен и в настоящее время считается одним из самых эффективных немедикаментозных методов лечения и профилактики травм и заболеваний. В ряде случаев применение фармакологических препаратов может быть ограничено, а хирургическое вмешательство способно привести к осложнениям. В связи с этим наблюдается возросший интерес к развитию и практическому применению лечебного и профилактического массажа [1]. Одними из самых распространенных массируемых участков тела являются нижние и верхние конечности, включая коленные и локтевые суставы, а также шею пациента. При этом массажист использует следующие основные приемы: поглаживание и ра-

стирание, продольное и поперечное разминание верхних или нижних конечностей, мобилизацию и манипуляцию на локтевом или коленном суставе, манипуляцию вибрационного воздействия на конечность, манипуляцию принудительного движения свободной части конечности относительно смежной и др. Из-за необходимости силового воздействия на данные участки тела пациентов массажист в течение рабочего дня испытывает длительную физическую нагрузку, что приводит к его утомляемости и снижению производительности. Так, например, нагрузка массажиста при 6,5-часовом рабочем дне и 6-дневной рабочей неделе составляет 30 условных единиц (у. е.) в день. При этом на массаж верхней конечности отводится 1,5 у. е.;

массаж локтевого сустава – 1 у. е.; массаж лучезяпестного сустава – 1 у. е.; массаж кисти и предплечья – 1 у. е.; массаж нижней конечности – 1,5 у. е.; массаж коленного сустава – 1 у. е.; массаж голеностопного сустава – 1 у. е.; массаж стопы и голени – 1 у. е.; массаж шеи – 1 у. е. [1], [2]. Кроме того, массаж может производиться одновременно только одному пациенту, что снижает количество обслуживаемых пациентов. Таким образом, автоматизация процесса проведения массажа верхних и нижних конечностей, включая локтевые и коленные суставы, а также шею пациента является актуальной задачей реабилитационной медицины.

Существующие в настоящее время многочисленные массажные робототехнические комплексы (РТК) предназначены для проведения массажа лишь определенных участков тела пациента, например массажные кресла, РТК для массажа локтевых, коленных и голеностопных составов, шеи, а также РТК с антропоморфными манипуляторами и др. [3]. Однако ни один из них не является универсальным РТК, способным автоматизировать процедуру массажа не отдельного, а всех перечисленных выше участков тела. В случае применения РТК с одним (*рис. 1а*) [3] или несколькими (*рис. 1б*) [4] антропоморфными манипуляторами траектория их движений может задаваться управляющей программой, не требующей непосредственного участия массажиста. Однако в процессе проведения процедуры, в отличие от адаптивных движений массажиста, массируемые части тела пациента должны быть зафиксированы относительно базовой системы координат антропоморфного манипулятора. Кроме того, отсутствие у РТК дистанционной связи с массажистом, находящимся вне массажного кабинета, может привести не только к снижению эффективности массажа, но и к возникновению нестандартных ситуаций, угрожающих здоровью пациента. Из-за своих габаритно-массовых характеристик подобные РТК не являются переносными и пригодными для использования в домашних или полевых условиях. Для устранения указанных недостатков предлагается новая концепция адаптивного мобильного пространственного реабилитационного робота-манипулятора (АМПРРМ) [5], построенного на основе октаэдрального додекапода (ОД) (*рис. 1в, г, е*) [5], [6].

ОД представляет собой универсальный активный пространственный механизм параллельной структуры с 12 степенями свободы в виде октаэдрального модуля (ОМ) 1, характеризующийся высокой удельной жесткостью, несущей способностью и низкой удельной массой [6]. Ребра ОМ 1 выполнены в виде 12 стержней, концы которых соединены с помощью сферических или эквивалентных им шарниров в шести его вершинах 2, по четыре в каждой (*рис. 1в, г*). При этом тыльная грань ABC расположена с противоположной стороны от направления его движения, а параллельная ей фронтальная грань DEF – со стороны направления движения. Каждый из стержней снабжен линейным приводом (ЛП) 3 с датчиком относитель-

ного перемещения (ДОП) 4 и выполнен с возможностью изменения длины ЛП 3 по управляющим командам от системы управления (СУ) 5. Срединные участки стержней тыльной и фронтальной граней снабжены радиальными упорами с датчиками силы (РУДС) 6 с возможностью образования адаптивных схватов робота-манипулятора (*рис. 1, 2*). Каждый из РУДС 6 установлен на ЛП 3 в положении их максимальной длины (*рис. 1в*). На контактных поверхностях РУДС 6 установлены датчики температуры (ДТ) 7 и изолированные друг от друга электрические контакты (на *рисунках* условно не показаны), позволяющие осуществлять контроль температуры на поверхности кожи в соответствующих точках, а также измерять электрическое сопротивление и разность потенциалов между точками контакта. ЛП 3 всех стержней ОМ 1 снабжены осевыми датчиками силы (ОДС) 8 и датчиками относительной скорости (ДОС) 9. Вершины 2 снабжены совмещенными датчиками пространственного положения 10 и ускорений 11, выполненными в виде миниатюрных трехосных блоков гироскопов-акселерометров, которые служат для оперативного контроля пространственного положения каждой из вершин 2 и виброускорений вдоль каждой из осей стержней с ЛП 3. Каждая из вершин 2 может быть выполнена с возможностью установки массажных приспособлений и ультразвуковых датчиков (на *рисунках* условно не показаны), направленных к центру тыльной и фронтальной граней. СУ 5 включает в себя нейроконтроллер 12, программно-алгоритмическое обеспечение (ПАО) 13 и цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) 14. Входы СУ 5 через шины данных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) подключены соответственно к выходам АЦП 15 РУДС 6 и ОДС 8, АЦП 16 ДОП 4, АЦП 17 совмещенных датчиков пространственного положения и ускорений 10 и 11; АЦП 18 ДОС 9; АЦП 19 ДТ 7. Выходы СУ 5 через шины выходных данных подключены к соответствующим входам ПАО 13 и последовательно соединенных ЦАП 14, усилителей мощности 20 и ЛП 3. Выбор длин стержней и отработка кинематики ОМ 1 были осуществлены на физической модели (*рис. 1е*). АМПРРМ, включающий в себя ОМ 1, работает следующим образом. РУДС 6 при уменьшении длин ЛП 2 фронтальной и тыльной граней обеспечивают обхват и обжатие наружной поверхности конечности с требуемым усилием (*рис. 1, 2*). Однако из *рис. 1е, ж* видно, что для перемещения ОМ 1 вдоль конечностей требуется существенное изменение длин стержней тыльной и фронтальной граней ОМ 1, что приведет к значительному увеличению его габаритно-массовых характеристик и потребует для каждой части конечности или ее участка своего типоразмера ОМ. Для устранения указанных недостатков РУДС 6 выполнены в виде тензометрических упругих элементов, имеющих форму пластины или круглого стержня, концы которых жестко соединены с концами ЛП 3 [5]. Благодаря этому удалось достичь надежного контакта РУДС 6 фронтальной и тыльной граней ОМ

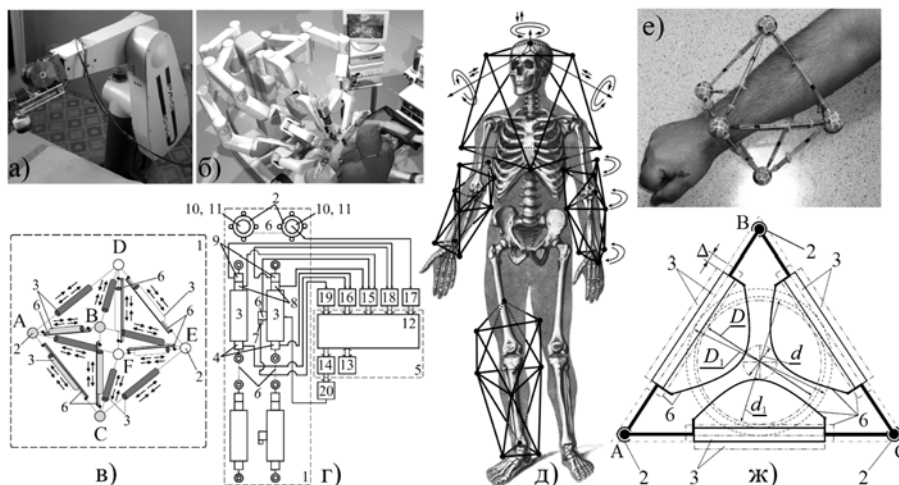


Рис. 1. РТК с одним (а) и четырьмя (б) антропоморфными манипуляторами; кинематическая (в) и структурная (г) схемы АМПРРМ; схемы установки АМПРРМ на теле пациента (д); установка физической модели ОМ без схватов на предплечье (е); кинематическая схема тыльной грани ОМ со схватами (ж) (пояснения в тексте)

1 с поверхностью конечности и передачи на нее требуемых радиальных усилий, используя один типоразмер ОМ (рис. 1ж, рис. 2). На рис. 1ж показано изменение диаметра контакта с конечностью стержней грани ОМ с радиальными упорами 6 (D и d) и без них (D_1 и d_1) при уменьшении длин стержней на величину Δ .

При проведении массажа ОМ устанавливают на верхней или нижней конечности, например на предплечье пациента в области запястья, и осуществляют необходимые перемещения и массажные манипуляции (рис. 2).

С помощью ЛП 3 и СУ 5 осуществляют согласованные изменения длин ребер ОМ. В результате происходят заданные пространственные перемещения вершин 2 относительно базовой системы координат. Оперативный контроль передаваемых усилий в местах контакта РУДС 6 с наружной поверхностью кожи осуществляют с помощью датчиков силы 6 и 8. Управляющие команды от СУ 5 формируются по показаниям датчиков силы 6, 8, ДОП 4 и ДОС 9, совмещенных датчиков пространственного положения и ускорений 10, 11. При этом сигналы от датчиков поступают на входы АЦП 15, 16, 18 и 17 соответственно и через шину данных в нейрокомпьютер 12 СУ 5. После обработки в реальном масштабе времени данных с использованием ПАО 13 формируют управляющие команды, которые через ЦАП 14 и усилители мощности 20 поступают на исполнительные органы ЛП 3 и ОМ 1 изменяет свою геометрическую форму (трансформируется). При этом по показаниям ДОП 4, выполненным в виде линейных позиционеров, осуществляют контроль длин всех стержней ОМ. Геометрическая неизменяемость ОМ 1 позволяет определять пространственные координаты вершин 2 по измеренным длинам всех стержней и управлять их перемещениями подобно организации пространственных перемещений l -координатного манипулятора [7]. А показания датчиков пространственного положения 10 позволяют повысить точность данных измерений. Ниже приведены основные реабилитационные режимы, реализуемые с помощью АМПРРМ.

Первый режим – организация манипуляций поглаживания и растирания верхних или нижних конечностей пациента. Манипуляция поглаживания заключается в скольжении руки (рук) по коже, не сдвигая ее в складки, с различной степенью надавливания, а растирания – в смещении, передвижении, растяжении тканей в различных направлениях [1]. На рис. 2 показана циклограмма перемещения ОМ вдоль предплечья и его радиальный обхват гранью АВС с помощью РУДС 6. Перед установкой ОМ 1 на предплечье пациента в СУ 5 вводят геометрические параметры массируемых участков и связывают их с базовой системой координат. После этого в СУ 5 вводят координаты участков, не подлежащих проведению массажа. Затем на выбранном начальном участке массажа устанавливают ОМ 1 (рис. 2, 0) и включают на обратный ход ЛП 3 для уменьшения длин стержней АВ, ВС, СА, DE, EF и FD. При этом РУДС 6 перемещаются к центрам соответствующих граней до момента фиксации на конечности тыльной грани АВС и обжатия предплечья фронтальной гранью DEF с заданными усилиями (рис. 2, I), которые определяют по показаниям датчиков силы 6 и 8. После остановки ЛП 3 вычисляют координаты вершин граней относительно базовой системы координат и производят манипуляции поглаживания и растирания путем согласо-

ванного изменения длин стержней боковых граней ОМ 1. По окончании массажа начального участка длины стержней фронтальной грани DEF увеличивают до расфиксации с конечностью и согласованным изменением длин ЛП 3 стержней боковых граней производят поворот фронтальной грани DEF относительно тыльной грани АВС на заданный угол (на рис. 2 не показан). После этого осуществляют обжатие фронтальной гранью DEF нового участка конечности и манипуляции поглаживания или растирания повторяют аналогично предыдущим. Далее по командам от СУ 5 на соответствующие ЛП 3 производится самоперемещение ОМ 1 вдоль конечности на новый участок. Для этого после расфиксации фронтальной грани (рис. 2, II) путем увеличения длин стержней боковых граней ее перемещают вдоль конечности (рис. 2, III) и с помощью РУДС 6 производят обжатие конечности фронтальной гранью и расфиксацию тыльной грани АВС (рис. 2, IV). Затем путем уменьшения длин стержней боковых граней тыльную грань АВС перемещают вдоль конечности (рис. 2, V) и фиксируют на ней с заданным усилием (рис. 2, I). При этом манипуляционной может быть как фронтальная, так и тыльная грань. Далее алгоритм манипуляций поглаживания и растирания конечности и перемещения ОМ 1 на новый участок повторяют.

Второй режим – организация манипуляций продольного и поперечного разминания верхних или нижних конечностей пациента, которые заключаются в непрерывном или прерывистом захватывании, сдавливании, отжимании, сдвигании, «перетирании» тканей (мышц). При этом различают продольное и поперечное разминание [1]. Организация требуемых манипуляций осуществляется подобно предыдущему режиму путем согласованного изменения длин стержней ОМ 1.

Третий режим – организация мобилизации и манипуляции на локтевом или коленном суставе конечностей (рис. 1д). Мобилизация представляет собой пассивные ритмично повторяемые движения в суставах в пределах их физиологического объема [1]. При организации процедур мобилизации и манипуляции на локтевом или коленном суставе с помощью ЛП 3 фронтальную грань ОМ 1 фиксируют на плече или бедре, а тыльную – на предплечье или голени соответственно на заданном расстоянии друг от друга в установленных местах. После этого по показаниям датчиков 4 и 10 вычисляют координаты вершин 2 относительно базовой системы координат. Затем путем согласованного изменения длин стержней боковых граней ОМ 1 выполняют осевые мобилизационные продольные и поворотные знакопеременные воздействия. При этом рабочие ходы ЛП 3 контролируют по показаниям ОДС 8 и совмещенных датчиков пространственного положения 10 и ускорений 11, а длины стержней AD, AF, BD, BE, CE, CF – по показаниям ДОП 4. Положение конечности контролируют по датчикам пространственного положения 10, а скорости перемещения граней – по показаниям ДОС 9 и пространственных ускорений 11. Данный режим может быть применен для мобилизации и манипуляции головы и ее фиксации относительно туловища (рис. 1д).

Четвертый режим – организация манипуляций вибрационного воздействия. Здесь приведенные выше алгоритмы знакопеременных движений при поглаживании, растирании и разминании конечностей организуют с заданными вибрационными значениями частот, амплитуд и усилий, которые определя-

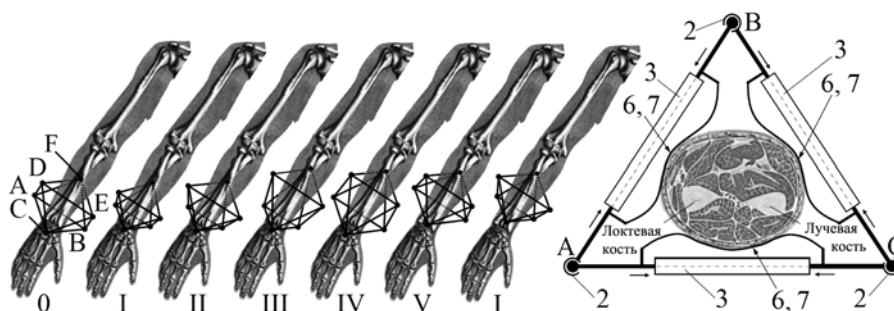


Рис. 2. Циклограмма перемещения ОМ вдоль предплечья и его радиальный обхват гранью АВС (пояснения в тексте)

ют по показаниям датчиков пространственного положения 10 и ускорений 11, датчиков силы 6 и 8, ДОП 4 и ДОС 9. После окончания манипуляций ОМ 1 самоперемещается на новый заданный участок и алгоритм манипуляций вибрационного воздействия повторяют.

Пятый режим – организация манипуляций принудительно-го движения свободной части конечности относительно смежной. Для обеспечения данного режима два ОМ 1 объединяют в спаренный модуль с образованием общей грани, при этом общую грань размещают в зоне соединительного сустава конечности (рис. 1д). Затем по установленной в СУ 5 массажной программе организуют заданные принудительные (пассивные) пространственные движения свободной части конечности относительно смежной.

Во всех режимах пациент имеет возможность отключить устройство, о чем СУ 5 незамедлительно подаст сигнал массажисту. При этом все произведенные массажные действия регистрируются в СУ 5 для последующего анализа и назначения новых процедур. В режимах 3 и 5 по показаниям ОДС 8 ЛП 3 можно судить о силах сопротивления сустава при организации его пассивных движений и диагностировать степень его подвижности (разработанности). Также имеется возможность с помощью ДТ 7 непрерывно измерять температуру конечности в местах контакта и по ее значениям судить о степени ее разогрева при проведении массажных процедур, например при растирании. Измерение в процессе массажа электрического сопротивления между участками контакта радиальных упоров с конечностью при измеряемых расстояниях между ними и температурами позволяет судить о сухости кожи и индивидуальной переносимости массажа и подбирать более благоприятные для пациента режимы воздействия.

Предлагаемая концепция может быть использована в домашних условиях для проведения квалифицированного автономного программного самомассажа, а при подключении СУ 5 к сети Интернет может быть организована on-line связь АМПРМ и пациента с массажистом для оперативного контроля проведения массажа и принятия решений при возникновении нестандартных ситуаций, например для передачи команды в СУ 5 на остановку устройства и оперативного вызова медпомощи пациенту на дом. В результате у пациентов, не имеющих возможности самостоятельного посещения лечебного учреждения, появляется возможность проведения массажа под on-line контролем массажиста без его физического присутствия в одном помещении с пациентом.

Использование предлагаемой концепции АМПРМ позволит автоматизировать процесс проведения массажа верхних и нижних конечностей, а также шейного участка пациента и за счет этого увеличить количество одновременно обслуживаемых пациентов одним массажистом и снизить его физическую усталость и утомляемость.

Список литературы:

1. Дубровский В.И., Дубровская А.В. Лечебный массаж. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2004. 505 с.
2. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 20 августа 2001 г. № 337 «О мерах по дальнейшему развитию и совершенствованию спортивной медицины и лечебной физкультуры».
3. Разумов А.Н., Головин В.Ф., Архипов М.В., Журавлев В.В. Обзор состояния робототехники в восстановительной медицине // Вестник восстановительной медицины. 2011. № 4. С. 31-38.
4. Габутдинов Н.Р., Глазунов В.А., Духов А.В. и др. Хирургические роботы. Возможность использования манипуляторов последовательной и параллельной структуры // Медицина и высокие технологии. 2015. № 1. С. 45-50.
5. Саяпин С.Н. Адаптивный мобильный пространственный реабилитационный робот-манипулятор и способ организации движений и диагностики пациента с его помощью / Патент РФ на изобретение № 2564754. Оpubл. 10.10.2015 г. Бюл. № 28.
6. Саяпин С.Н. Додекапод как современный этап развития пространственных параллельных роботов // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2012. № 6. С. 31-45.
7. Колискор А.Ш. Разработка и исследование промышленных роботов на основе I-координат // Станки и инструмент. 1982. № 12. С. 21-24.

*Сергей Николаевич Саяпин,
д-р техн. наук, профессор,
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
гл. научный сотрудник,
Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова РАН,
г. Москва,
e-mail: S.Sayapin@rambler.ru*

А.М. Гатауллин, А.В. Овчинников

Виртуальный прибор для анализа параметров соматосенсорных вызванных потенциалов

Аннотация

Предлагается виртуальный прибор для анализа вызванных потенциалов на основе LabVIEW. Он позволяет, не используя аппаратные средства, выделять компоненты вызванных потенциалов, автоматически определять их амплитуду, частотный спектр, мощность, среднеквадратическое значение, разность максимального и минимального значений амплитуды. Предлагаемый виртуальный прибор может быть полезен для разработки телеметрических систем функциональной диагностики с автоматической обработкой больших объемов информации на основе метода вызванных потенциалов.

Введение

Метод соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП) в клинической практике используется преимущественно для оценки центральной нервной системы (ЦНС) и афферентных (восходящих чувствительных) проводящих путей, а также для анализа состояния тонких нервных волокон [1], [2]. Применяется метод коротколатентных ССВП для обнаружения поражения быстропроводящих хорошо миелинизированных путей, проходящих в задних столбах спинного мозга, медиальной лемнисковой системе и активирующих соматосенсорные зоны

коры мозга [3], а также метод длиннолатентных ССВП, связанный с медленнопроводящими тонкими волокнами болевой и температурной чувствительности, проводниками в спиноталамическом тракте и неспецифическими системами мозга [1], [4], [5].

В связи с этим ССВП нашли применение в диагностике демиелинизирующих заболеваний, связанных с разрушением проводящей миелиновой оболочки нервов, для локализации поражения, мониторинга сенсорных функций в течение болезни [6] и в целом ряде других нейродегенеративных [4], [7], а также соматических [8] заболеваний.