

7. *Тепляков Е.Ю.* Применение низкочастотного ультразвука и раневых покрытий в лечении гнойных ран / Автореферат диссертации канд. мед. наук. – Красноярск, 2005. 24 с.
8. *Улащик В.С., Хайдар Мохамед* Применение низкочастотного ультразвука при язвенной болезни // *Здравоохранение*. 1997. № 9. С. 35-37.
9. *Самосюк И.З., Мясников В.Г., Клименко И.В.* Применение низкочастотного ультразвука в комплексной терапии больных туберкулезом легких // *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры*. 1999. № 2. С. 9-11.
10. *Дедович Н.Н. и др.* Ультразвуковой терапевтический аппарат / Патент РБ № 4832 от 15.04.2008 г.
11. *Иващенко С.В.* Лечение зубочелюстных аномалий и деформаций в сформированном прикусе с применением физических и физико-фармакологических методов (экспериментально-клиническое исследование) / Автореферат дис. доктора медицинских наук. – Минск, 2011. 44 с.
12. *Морозова И.Л., Куклова Е.Н., Улащик В.С.* Модуляция низкочастотным ультразвуком ноцицептивной чувствительности крыс при тонической боли // *Новости медико-биологических наук*. 2012. Т. 5. № 2. С. 158-163.
13. *Улащик В.С.* Новые данные о физиологическом и лечебном действии низкочастотного ультразвука // *Физиотерапевт*. 2012. № 8. С. 3-10.
14. *Улащик В.С., Куклова Е.Н., Морозова И.Л.* Действие низкочастотного ультразвука на ноцицептивную чувствительность крыс // *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2012. № 5. С. 3-8.
15. *Улащик В.С., Иващенко С.В., Наумович С.А.* Низкочастотная ультразвуковая терапия: механизм действия, техника и методики применения. Методические рекомендации. – Минск: БГМУ, 2011. 18 с.
16. *Улащик В.С.* Физиотерапия. Новейшие методы и технологии. – Минск: Книжный дом, 2013. 448 с.

Николай Николаевич Дедович,
научный сотрудник,
Анатолий Филиппович Романов,
канд. техн. наук, зав. лабораторией,
НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ,
Владимир Сергеевич Улащик,
д-р мед. наук, профессор,
академик,
Национальная академия наук
Республики Беларусь,
гл. научный сотрудник,
Институт физиологии НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь,
e-mail: ramanaui@bsu.by

Е.И. Воробьев, А.В. Михеев, К.О. Моргуненко

Макет протеза кисти руки с управлением от движений стопы и пальцев ног

Аннотация

Предложен подход к управлению протезом руки от движения пальцев ног и стопы. Дано описание конструкции макета протеза кисти руки с независимым движением пальцев. Предложена беспроводная система дистанционного управления протезом от тактильной стельки, вкладываемой в обувь. Выбраны параметры передаточного механизма методом его синтеза по заданным конечным положениям входного и выходного звеньев. Выбраны параметры пневматических сильфонов, жесткость пружин схвата, давление в пневматической сети из условия габаритных ограничений и усилий на пальцах кисти.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 16-08-00305А.

В настоящее время наибольшие успехи в протезировании рук связаны с созданием протезов кисти руки, управляемых от биопотенциалов оставшихся мышц руки. Создание протезов рук, приближенных по своим функциональным возможностям к руке человека, до сих пор является нерешенной задачей. Основным способом управления протезом кисти руки, предложенным в 1957 году в России профессором А.Е. Кобринским с соавт. [1], является способ управления от биопотенциалов оставшихся мышц. Однако существующие в настоящее время коммерческие образцы протезов кисти не имеют независимых движений пальцев, что значительно снижает их функциональность. Это связано с ограниченностью числа управляющих сигналов, снимаемых с мышц, оставшихся после ампутации. В случае полного удаления руки задача создания многофункционального протеза становится еще более сложной. Кисти существующих полных протезов рук имеют одну-две степени свободы [2], [3]. Отдельным вопросам создания и управления полным протезом руки посвящены работы [4]-[6].

Альтернативным подходом к управлению протезом руки является использование движений, отдаленных от протеза мышц и частей тела. Наиболее привлекательным для управле-

ния протезом кисти руки является использование движений пальцев ног, которые обладают высокой подвижностью и позволяют получить независимые движения пальцев протеза. В рассматриваемой работе представлен действующий макет протеза кисти руки с независимыми движениями пальцев, управляемый от движений пальцев ног и стопы. Рассматриваются вопросы выбора параметров механизма и привода протеза. Использование протеза кисти руки такого типа позволяет значительно увеличить функциональность полного протеза руки.

Конструкция и управление протеза кисти руки

На *рис. 1* показана реализованная на практике функциональная схема протеза кисти руки с управляемыми пневматическими упругими элементами (сильфонами) в качестве приводов. Контур управления включает в себя оператора с пультом-стелькой управления 5, который размещен на стопе, систему управления и исполнительный механизм захвата (пальцев). На пульт-стельке управления соответствующим образом выполнены контактные датчики, принимающие сигналы оператора, которые через усилители 2 поступают на электромагнитный пневмораспределитель 10. Учитывая особен-

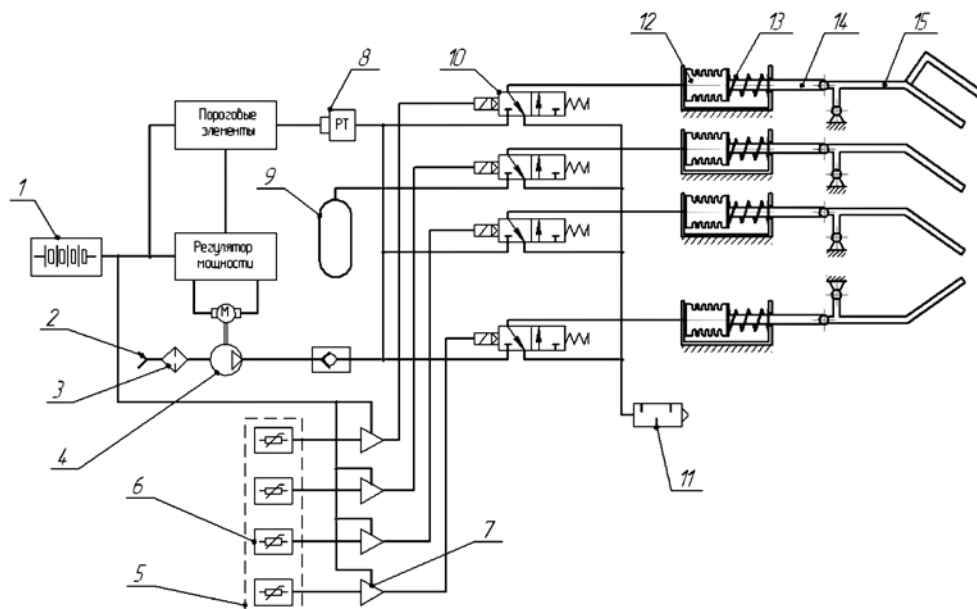


Рис. 1. Функциональная схема протеза кисти руки с управляемыми пневматическими упругими элементами: 1 – аккумулятор; 2 – воздухозаборник; 3 – воздушный фильтр; 4 – компрессор; 5 – стелька; 6 – контактный датчик на стельке; 7 – усилитель; 8 – датчик давления; 9 – ресивер; 10 – электромагнитный пневмораспределитель; 11 – глушитель шума; 12 – сильфон привода пальца; 13 – возвратная пружина; 14 – тяга; 15 – рычаг для поворота пальца

ность работы пневмораспределителей, предусмотрен глушитель шума 11. Возвратные пружины 13 обеспечивают пальцам нормально раскрытое положение. Усилие захвата создают сильфоны-приводы, деформируемые избыточным давлением воздуха, поступающим из ресивера 1, давление в котором поддерживается насосом постоянной производительности 4.

На стельке размещено шесть тактильных датчиков, преобразующих силу нажатия пальцев ноги и отдельных областей стопы в электрические сигналы, необходимые для управления протезом. Сигналы с четырех датчиков, размещенные в области пальцев, используются для непосредственного управления перемещениями пальцев протеза. Датчик в области пятки служит для фиксации положения кисти и отключает управление при ходьбе. Оставшийся датчик позволяет контролировать усилие, развиваемое захватом.

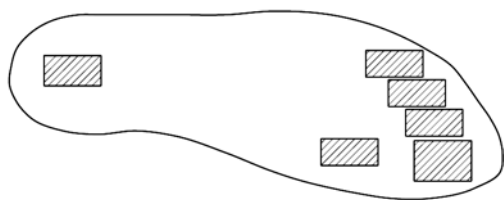


Рис. 2. Расположение датчиков на стельке

Каждый датчик состоит из изолирующего основания 1 с металлизацией в виде двух групп соединенных между собой контактов 2 и 3, ячеистой прокладки из изоляционного материала и мембраны 6 с токопроводящим покрытием 5. Один полюс источника напряжения подключен к первой группе контактов, второй – через нагрузочный резистор R_n – ко второй группе. Когда к мембране в районе ячейки прикладывается внешняя сила P , мембрана, прогибаясь, замыкает контактные группы проводящим слоем. Через резистор протекает ток, пропорциональный площади соприкосновения мембраны с контактами, которая зависит от внешней силы. Падение напряжения на нагрузочном резисторе служит выходным информационным сигналом.

Выбор параметров передаточного механизма

Исходя из габаритных ограничений, максимального углового перемещения пальца протеза кисти, равного $90^\circ (\pm 45^\circ)$, и

хода штока сильфона – 10 мм, определим величину радиуса ОА и длину АВ (см. рис. 6).

Эти условия возникают из необходимости обеспечить габаритные размеры протеза кисти, аналогичные габаритным размерам кисти руки человека.

Условие связи передаточного механизма примет вид

$$AB = l = \text{const.}$$

Запишем условие связи. Через координаты точек А и В

$$(x_A + x_B)^2 + (y_A + y_B)^2 = l^2; \quad (1)$$

$$x_A = r \cos \varphi; x_B = b; y_A = r \sin \varphi; y_B = 0. \quad (2)$$

Подставим выражение (2) в выражение (1) и получим

$$(r \cos \varphi + b)^2 + r^2 \sin^2 \varphi = l^2;$$

$$r^2 \cos^2 \varphi + 2br \cos \varphi + b^2 + r^2 \sin^2 \varphi = l^2;$$

$$r^2 - 2br \cos \varphi + b^2 = l^2,$$

откуда получим уравнение связи

$$s^2 - 2br \cos \varphi + r^2 - l^2 = 0, \quad (3)$$

где $b = s$.

Уравнение (3) используем для синтеза передаточного механизма ОАВ по двум заданным положениям входного и выходного звеньев.

Запишем уравнение (3) для двух положений, соответствующих φ_1, s_1 и φ_2, s_2 , и получим

$$s_1^2 - 2s_1 r \cos \varphi_1 + r^2 - l^2 = 0;$$

$$s_2^2 - 2s_2 r \cos \varphi_2 + r^2 - l^2 = 0. \quad (4)$$

Из этих уравнений найдем выражение для r :

$$r = \frac{(s_1^2 - s_2^2)}{2(s_1 \cos \varphi_1 - s_2 \cos \varphi_2)}. \quad (5)$$

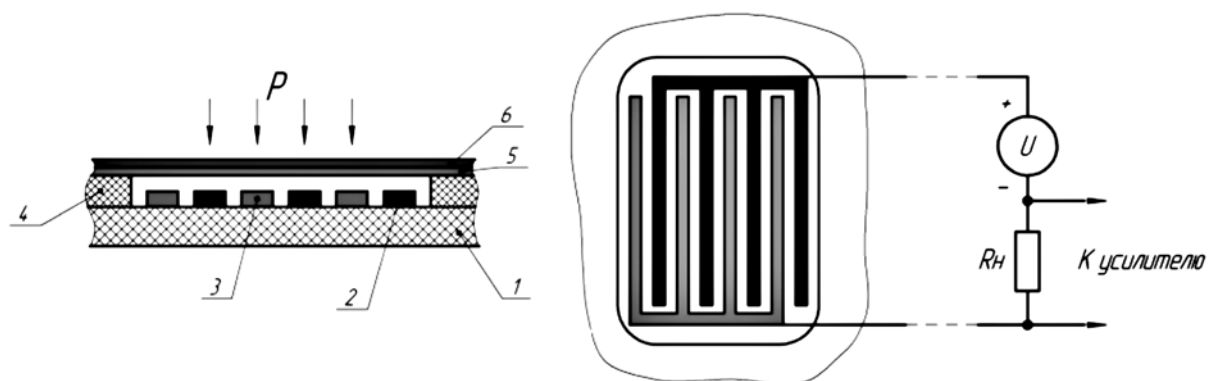


Рис. 3. Контактный датчик на стельке

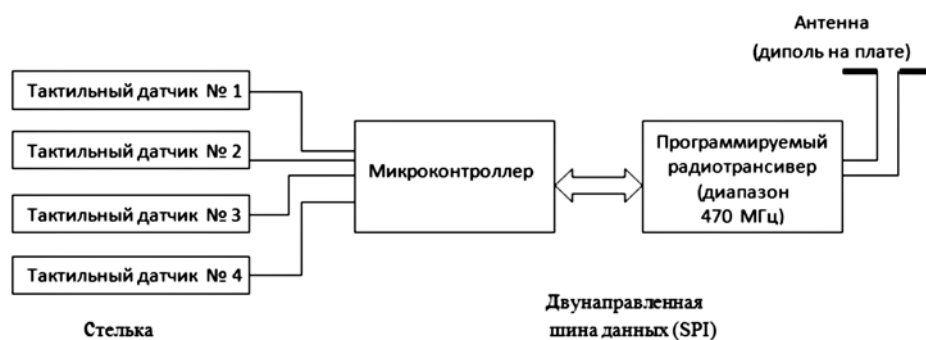


Рис. 4. Устройство управления (на стельке)

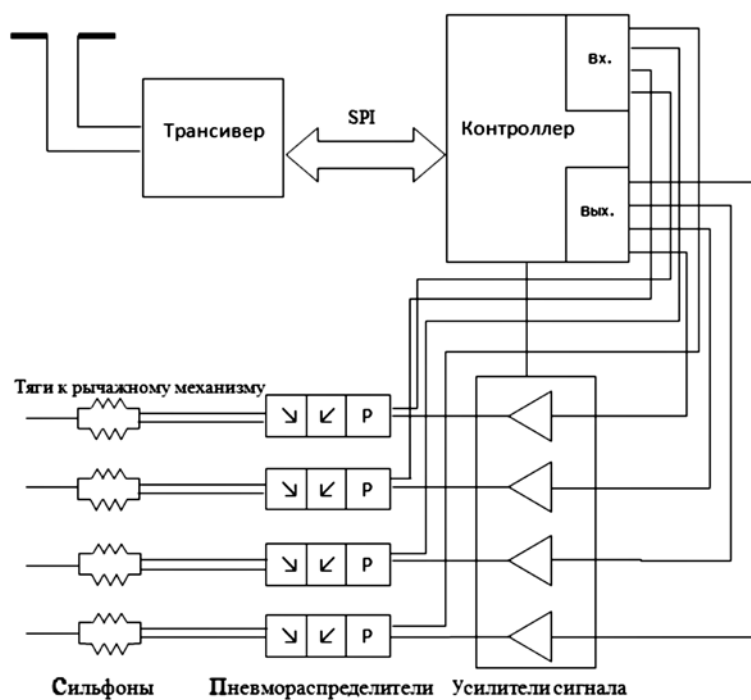


Рис. 5. Функциональная схема дистанционного управления

Зададим

$$\varphi_1 = 45^\circ; \cos \varphi_1 = \frac{\sqrt{2}}{2};$$

$$\varphi_2 = -135^\circ; \cos \varphi_2 = -\frac{\sqrt{2}}{2};$$

$$s_1 = 5 \text{ см}; \quad s_2 = 4 \text{ см}.$$

Получим

$$r = 0,7 \text{ см}.$$

Из выражения (4) получим

$$l = 5,5 \text{ мм}.$$

Исходя из усилия 20 Н на пальце протеза, жесткости пружины $C = 0,8 \text{ кг/мм}$, диаметра сильфона $d = 20 \text{ мм}$, давление в сильфоне было принято равным 8 атм.

Ниже представлены элементы макета протеза кисти руки с пневмоприводом, дистанционным управлением от движения пальцев ног (рис. 7).

Заключение

Дано описание действующего макета протеза кисти руки с независимыми движениями пальцев, управляемого от движения пальцев ног и стопы. Разработана беспроводная дистанционная система управления, повышающая удобство управления протезом.

Определены параметры передаточного механизма протеза путем синтеза механизма по заданным перемещениям входного и выходного звеньев.

Выбраны параметры пружин, сильфонов привода и давление в пневматической сети, исходя из габаритных ограничений и усилий на пальцах кисти протеза.

Предложенный подход к созданию протеза кисти руки позволяет создать полный протез руки с большей подвижностью кисти и пальцев по сравнению с существующими типовыми образцами.

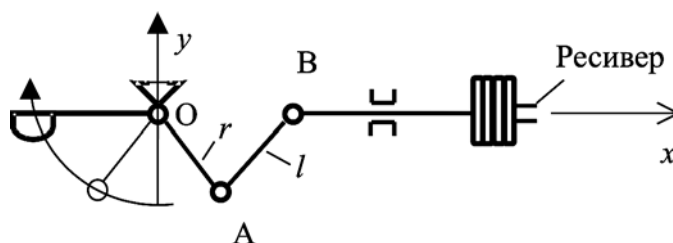


Рис. 6. Кинематическая схема механизма

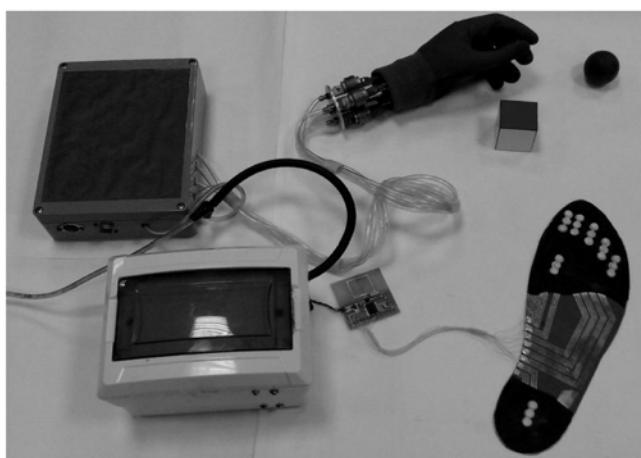


Рис. 7. Элементы макета протеза кисти руки, управляемого от движения пальцев ноги и стопы

Список литературы:

1. Кобринский А.Е., Брейдо М.Г. и др. Биоэлектрическая система управления // Доклады АН СССР. 1957. Т. 117. № 1. С. 78-80.
2. Справочник по протезированию / Под ред. В.И. Филатова. – М.: Медицина, 1982. 280 с.
3. Протезы верхних конечностей / Каталог 2001-2002. – РКК «Энергия», 2002. 21 с.
4. Абу Ханих Я.Я., Буров Г.Н. Адаптивный протез руки: съем сигналов управления // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. Вып. № 4. 20-24 с.
5. Воробьев Е.И., Скворчевский А.К., Сергеев А.М. Проблемы создания алгоритмов управления антропоморфными биопротезами рук и ног // Медицина и высокие технологии. 2012. № 1. С. 7-13.
6. Лившиц М.М., Якобсон Я.С. Эргономический подход к созданию систем управления многофункциональными биоэлектрическими протезами // Сборник трудов ЦНИИПП. Протезирование и протезостроение. 1978. Вып. 45. С. 45-54.

Евгений Иванович Воробьев,

д-р техн. наук, профессор,

гл. научный сотрудник,

Александр Владимирович Михеев,

мл. научный сотрудник,

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,

Константин Олегович Моргуненко,

аспирант,

Московский технологический университет (МГУПИ),

г. Москва,

e-mail: evgeniv36@mail.ru