

УДК 621.3

**И. А. Орловский**, д-р техн. наук,  
**Л. Н. Санникова, К. М. Клочихин**

### **ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОТЕЗОВ КОНЕЧНОСТЕЙ СРЕДСТВАМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

***Аннотация.** Выполнен анализ потребностей и состояния протезирования конечностей в мире и в Украине. Отмечено активное развитие автоматизированных протезов, общие подходы решения задачи автоматизации протезов, их техническая реализация. Показана перспективность создания совместных научно-технических лабораторий, центров протезирования и кафедр электропривода технических университетов.*

***Ключевые слова:** протезы конечностей, электропривод, автоматизация, биомеханика, экзоскелет, научная лаборатория, технический университет*

**I. A. Orlovskyj**, ScD.,  
**L. N. Sannikova, K. M. Klochikhin**

### **AUTOMATION OF ELECTRICAL DRIVE MEANS ARTIFICIAL LIMBS**

***Abstract.** The analysis of the needs and condition of prosthetic limbs in the world and in Ukraine. Noted on the development of automated prostheses common approaches automation solution prostheses, their technical implementation. The prospects of establishing joint scientific and technological laboratories prosthetic centers and departments electric technical universities.*

***Keywords:** artificial limbs, electric drive, automation, biomechanics, exoskeleton, science laboratory, technical university*

**А. Орловський**, д-р техн. наук,  
**Л. Н. Саннікова, К. М. Клочихін**

### **ПРО АВТОМАТИЗАЦІЮ ПРОТЕЗІВ КІНЦІВОК ЗАСОБАМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА**

***Анотація.** Виконано аналіз потреб і стану протезування кінцівок у світі та в Україні. Відзначено активний розвиток автоматизованих протезів, загальні підходи вирішення завдання автоматизації протезів, їх технічна реалізація. Показана перспективність створення спільних науково-технічних лабораторій центрів протезування та кафедр електроприводу технічних університетів.*

***Ключові слова:** протези кінцівок, електричний привод, автоматизація, біомеханіка, екзоскелет, наукова лабораторія, технічний університет*

**Введение.** Создание автоматизированных технических средств для восстановления способностей инвалидов с проблемами конечностей к жизнедеятельности и самообслуживанию является сложной и во многом нерешенной проблемой. Сложность – в необходимости создавать легкие и прочные устройства с высоким уровнем миниатюризации отдельных частей, обеспечивающие требуемые усилия (моменты), и системы управления, позволяющие одновременное с высокой точностью управлять несколькими звеньями, при этом необходимо учитывать биомеханические изменяющиеся характеристики системы "пациент-протез", самочувствие человека, особенности его заболеваний и ампутации. Внешний механизм (экзоскелет) может оказывать помощь движению рук и ног, когда мышечных воздействий недостаточно. Однако нет существующих конструкций экзоскелета легких и простых для ношения постоянно [1].

**Анализ потребностей протезирования конечностей.** В материалах Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) отмечено [2], что облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей страдает около 5 % взрослого населения планеты.

Возникновение новых больных с критической ишемией нижних конечностей (КИК) в год достигает 1000 на 1 млн. населения [2], и по данным ВОЗ, в ближайшие годы будет возрастать на 5 –7 %. В России КИК регистрируется у 100 – 120 человек на 100 000 жителей. Почти половина больных страдающих облитерирующим атеросклерозом находится в работоспособном возрасте – от 40 до 60 лет [3]. В Европе принято полагать, что число случаев КИК варьирует от 50 до 100 на каждые 100 тыс. населения.

Эффективность консервативной терапии невелика: только в 40 % случаев конечность может быть сохранена в течение первых 6 месяцев, 20 % больных ожидает летальный исход, остальным будет выполнена большая ампутация. В итоге к концу первого года после верификации диагноза КИК лишь 45 % больных имеют шанс сохранения конечности, около 30 % продолжают жить после ампутации бедра или голени, 25 % ожидает летальный исход. Ежегодное число ампутаций конечности варьирует от 13,7 до 32,3 на каждые 100 тыс. населения экономически развитых стран.

Следует учитывать степень освоения протеза, которая оценивается в зависимости от длительности пользования протезом при ходьбе, стоянии, сидении. Постоянно (более 12 ч в сутки) пользуются протезами 40 % инвалидов, 9–12 ч – 18 %, 5–8 ч – 15 %, менее 4 ч – 22 % инвалидов; 5 % инвалидов протезами не поль-

зуются. Около 75 – 95 % инвалидов работают в производственных условиях и на дому, пользуясь протезом.

Основной причиной ампутации нижних конечностей является нарушения проходимости артерий – 87 %. Травмы составляют 4 %, инфекции – 2 %, опухоли – 2 %, врожденные уродства 0,2 %, прочее 5 %.

Свыше 800 тыс. граждан Украины нуждаются в протезно-ортопедической помощи. Эту помощь оказывают казенные, государственные протезно-ортопедические предприятия и мастерские различной формы собственности. На учете протезно-ортопедических предприятий находится более 700 тыс. пациентов, жизнь которых тесно связана с применением протезно-ортопедических изделий. В Украине действуют 15 государственных протезно-ортопедических предприятий со стационарами сложного протезирования. Количество изготавливаемых протезно-ортопедических изделий составляет от 250 тыс. до 280 тыс. единиц в год. Из них протезы нижних конечностей – до 9 тыс. ед., верхних конечностей – до 600 ед.

Протезирование или ортезирование фактически создаёт новое социальное образование – биотехническую систему «человек–протез», которая объединяет остаточные функциональные возможности человека и характеристики технического устройства

Имеется существенный растущий интерес [4] к использованию роботизированных устройств в реабилитационной терапии после неврологических травм, таких как инсульт и травмы спинного мозга. Отмечается экспоненциальный рост публикаций в этом направлении в последние годы (рис. 1).

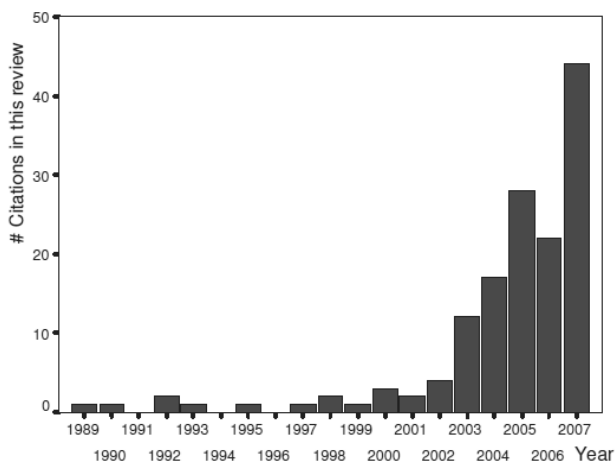


Рис. 1. Число статей по использованию роботизированных устройств в реабилитационной терапии

Реабилитационные упражнения разнообразны и робототехника имеет возможность сделать качественный скачок в пластичности движений, систематической реализации и управлении терапией, в настройке и обработке параметров. Важно совмещение и развитие различных роботизированных стратегий управления робототехникой и функциональной электрической стимуляции [4]. Важно использование обратных связей и обучения в таких системах.

Область создания автоматизированных протезов конечностей (ПК) сейчас активно развивается. Однако в большинстве случаев новые разработки направлены на усовершенствование отдельных элементов устройств и механизмов протеза без разработки общего подхода проектирования протеза с учётом современных достижений систем автоматизации.

В Украине имеются значительные успехи в области создания современных систем автоматизации, однако, к сожалению, автоматизированные ПК не выпускаются, и практически отсутствуют их разработки.

**Целью статьи** является постановка задачи разработки и совершенствования средствами электропривода автоматизированных протезов конечностей.

Общие подходы решения задачи автоматизации ПК. Понятие антропоморфности является принципиальным для протезостроения, поскольку оно определяет степень необходимого и возможного приближения искусственной конечности (протеза) к ее биологическому прототипу. Невозможность полного воспроизведения структуры и функции утраченного органа требует ясного представления о том, что максимально может быть достигнуто с учетом технологий, доступных сегодня и в обозримом будущем. Современные протезы, как правило, реализуют не более двух активных степеней подвижности, управление движением при этом осуществляется поочередно в установочном режиме. Необходимо развитие теории построения антропоморфных ПК как биотехнических систем биомеханического типа «инвалид-протез», изучение ключевых параметров биомеханики движений человека и формированию на их основе критериев антропоморфности протеза.

В [5] обоснованы возможности создания и применения, антропоморфных трохоидальных механизмов, рассмотрены вопросы теории и практики синтеза на их основе антропоморфных протезов биотехнического типа, нормализующих биомеханические параметры ходьбы. Отмечается необходимость совершенствования стандартных узлов протеза и методов управления приводами суставов для уменьшения болевых давлений на культю.

В мире лидером в области протезирования верхних конечностей является немецкая компания Otto Bock, несколько лет назад начавшая внедрение на рынок нового высокофункционального миоэлектрического протеза Michelangelo. Его стоимость начинается от \$30.000 [6]. За последние 3 года в мире независимо друг от друга возникли очаги проектов по протезированию верхних конечностей механическими протезами с использованием 3D-печати [6].

В Новокузнецке, на базе ФГУП «Протезно-ортопедическое предприятие» из комплектующих ирландско-американского производства начата сборка автоматизированных «умных» ПК, способных полностью подстроиться под физиологические особенности человека (запомнить его походку или манеру спускаться по лестнице). Стоимость одного протезного модуля колеблется от 800 тысяч до двух с половиной миллионов рублей. За 2012 и 2013 года такими протезами обеспечены пять человек. В планах начать сборку ручных протезов,

позволяющих, например, свободно водить автомобиль или держать пластиковый стакан [7].

**Техническая реализация ПК.** Для движения суставов в основном используются электрические и пневматические приводы. Электроприводы суставов, имеют различное конструктивное исполнение: использование тросов (их намотка и отпускание) для приведения в движение сустава подобно мышцам [2]; использование линейного электропривода; применение электродвигателей с редукторами, расположенными непосредственно на оси суставов; использование материалов изменяющих длину от тока и других воздействий (мышцы-жилы).

Для управления протезом часто используется одетая на здоровую руку электронная перчатка с датчиками [8, 9, 10]. В зависимости от задачи используются разные датчики и их количество, разная аппаратная и программная обработка сигналов, что приводит к изменению стоимости перчатки. Перспективны разработки систем голосового управления протезом.

Ведутся в нескольких направлениях исследования по обеспечению электроэнергией активных ПК: совершенствование источников накопления энергии; подзарядка накопителей энергии от энергии движения здоровых конечностей; бескабельная подзарядка через магнитное или электрическое поле; использование биохимической и тепловой энергий человека и др.

Необходимы новые разработки, направленные на усовершенствование не только отдельных элементов устройств и механизмов, но и на создание новых принципов построения и управления ПК.

Необходима разработка систем одновременного связанного управления движением группой активных звеньев протеза руки и методов снижения погрешности позиционирования концевой звена, при этом оператор-инвалид должен наблюдать только за движением кисти, а движения ориентирующих звеньев выполняется автоматически.

Важна разработка улучшенных математических и вычислительных моделей обучения движению и восстановлению в целях создания и улучшения конструкций роботов-терапевтов и лучших алгоритмов их управления. На этих моделях важно более четко определить оптимизационные переменные, разработать и проверить алгоритмы управления для их адаптации. Полезно сравнение повышения восстановления движений различными алгоритмами управления.

В решении рассмотренных задач автоматизации ПК важная роль принадлежит техническим университетам. Такие разработки ведутся в большинстве ведущих мировых университетов, например, в лаборатории LISV Версальского университета (Франция) с участием кафедры электропривода и автоматизации ДонНТУ (зав. каф., проф. Голочко О.И., руководитель направления – проф. Борисенко В.Ф.).

Наряду с техническими навыками, разработка автоматизированных ПК позволяет прививать студентам желания помогать людям-инвалидам. Важно, что изготовление, настройка и испытание системы управления и сам ПК можно выполнять в условиях лабораторий университета и центров протезирования.

В настоящее время на кафедрах имеются: лаборатории (хотя требуется их совершенствование); высококвалифицированные преподаватели, способные разобраться в поставленных задачах и решить их; студенты, магистры, аспиранты готовые проводить необходимые исследования. Имеется возможность организации и проведения курсов лекций и лабораторного практикума по вопросам автоматизации ПК, при необходимости открытие новой специальности.

К сожалению, в Украине нам не известны лаборатории, в которых достигнуты существенные результаты по автоматизированным ПК. Авторы считают целесообразным создание в Запорожье научно-исследовательской лаборатории автоматизированных ПК на базе лабораторий кафедры электропривода и автоматизации ЗНТУ и центра протезирования.

**Выводы.** Необходимость в автоматизированных ПК в Украине составляет десятки тысяч в год и требуется создание лабораторий для разработки, исследования и производства таких протезов.

Для создания автоматизированных ПК, исходя из сложности проблемы, необходимо объединение инженеров и медиков, организация совместных научно-исследовательских лабораторий технических кафедр и центров протезирования.

#### Список использованной литературы

1. Agrawal S.K., Dubey V.N., Gangloff J.J., Brackbill E., and Sangwan V., (2009), Optimization and Design of a Cable Driven upper arm Exoskeleton. Abstract, Conference *IDETC/CIE 2009, San Diego, California*, USA DETC2009-86516, 8 p.
2. Кулага В. А. Результаты ампутаций нижних конечностей при критической ишемии: автореферат на соиск. учёной степени канд. мед. наук по спец. 14.01.26 «Сердечно-сосудистая хирургия» / В. А. Кулага. – Санкт-Петербург, – 2010. – 20 с.
3. Борисова Е. В. Клинико-лабораторные обоснования эффективности лечения больных облитерирующим атеросклерозом артерий нижних конечностей: автореферат на соиск. учёной степени канд. мед. наук по спец. 14.01.17 – «Хирургия» / Е. В. Борисова. – Тюмень, – 2010. – 20 с.
4. Marchal-Crespo L., and Reinkensmeyer D.J., (2009). Review of Control Strategies for Robotic Movement Training after Neurologic Injury, *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, No. 6, pp. 20 – 34.
5. Питкин М. Р. Теория построения и практика синтеза антропоморфных протезов нижней конечности: диссертация на соиск. учёной степени д-ра техн. наук по спец. 05.11.17 – «Приборы, системы и изделия медицинского назначения» / М. Р. Питкин. – Санкт-Петербург. – 2006. – 205 с.
6. Экспресс-протезирование. [Электр. ресурс]: Режим доступа url: <http://weas-robotics.ru/wp-content/uploads/2014/05/Rezyume-proekta-Protezirovaniie.pdf>. Название с экрана. – Дата доступа (05.2014).
7. Сат Елена. «Умные» протезы [Электр. ресурс]: Режим доступа url : <http://kuzpress.ru/society/19-08-2013/28717.html>. Название с экрана. – Дата доступа (05.2014).

8. Bouzit M., Burdea G., Popescu G., and Boian R., (2002), The Rutgers Master II – New Design Force-Feedback Glove, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, New Jersey*, Vol. 7, No. 2, pp. 256 – 63.

9. Sebelius F., Eriksson L., Balkenius C., and Laurel T., (2006), My Electric Control of a Computer Animated Hand: A new Concept Based on the Combined use of a tree-structured Artificial Neural Network and a data Glove, *Journal of Medical Engineering & Technology*, Vol. 30, No. 1, pp. 2 – 10.

10. Bianchi M., Salaris P., and Bicchi A., (2012), Synergy-Based Hand Pose Sensing: Reconstruction Enhancement, *Submitted to International Journal of Robotics Research, Jun.*, 18 p.

Получено 04.07.2014

### References

1. Agrawal S.K., Dubey V.N., Gangloff J.J., Brackbill E., and Sangwan V. [Optimization and Design of a Cable Driven upper arm Exoskeleton. Abstract], (2009), *Conference IDETC/CIE 2009, San Diego, California, USA DETC2009-86516*, 8 p. (In English).

2. Kulaga V.A. Rezul'taty amputacij nizhnih konechnostej pri kriticheskoj ishemii [Results of Lower Extremity Amputations in Critical Limb Ischemia], (2010), *Avtor. na Soisk. Uchjonoj Stepeni Kand. Medic. Nauk po Spec. 14.01.26 "Serdechno-Sosudistaja Hirurgija"*, St. Petersburg, Russian Federation, 20 p. (In Russian).

3. Borisova E.V. Kliniko-laboratornye obosnovanija jeffektivnosti lechenija bol'nyh obliterirujushhim aterosklerozom arterij nizhnih konechnostej [Clinical and Laboratory Studies the Effectiveness of Treatment Patients with Obliterating Atherosclerosis of the Lower Extremities], (2010), *Avtor. na Soisk. Uchjonoj Stepeni Kand. Medic. Nauk po Spec. 14.01.17 – "Hirurgija"*, Tjumen', Russian Federation, 20 p. (In Russian).

4. Marchal-Crespo L. and Reinkensmeyer D.J., (2009), Review of Control Strategies for Robotic Movement Training after Neurologic Injury, *Journal of Neuro-Engineering and Rehabilitation*, No. 6, pp. 20 – 34 (In English).

5. Pitkin M.R. Teorija postroenija i praktika sinteza antropomorfnyh protezov nizhnej konechnosti [Theory and Practice of Constructing Synthesis Anthropomorphic Prosthetic Lower Limb], (2006), *Diss. na Soisk. Uchjonoj Stepeni Dokt. Tehn. Nauk po Spec. 05.11.17 – "Pribory, Sistemy I Izdelija Medicinskogo Naznachenija"*, St.Petersburg, Russian Federation, 205 p. (In Russian).

6. Jekspress-protezirovanie [Electronic resource]. Available at: url: <http://weas-robotics.ru/wp-content/uploads/2014/05/Rezyume-proekta-Protezirovanie.pdf>. (Accessed 05.2014) (In Russian).

7. Elena Sat "Umnye" Protezy [Electronic resource], (2013), Available at: url: <http://kuzpress.ru/society/html>. (accessed 19.08. 2013) (In Russian).

8. Bouzit M., Burdea G., Popescu G., and Boian R., (2002), [The Rutgers Master II – New Design Force-Feedback Glove], *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, New Jersey*, Vol. 7, No. 2, pp. 256 – 263 (In English).

9. Sebelius F., Eriksson L., Balkenius C., and Laurel T. [Myoelectric Control of a Computer Animated Hand: A new Concept Based on the Combined use of a Tree-Structured Artificial Neural network and a data Glove], (2006), *Journal of Medical Engineering & Technology*, Vol. 30, No. 1, pp. 2–10. (In English).

10. Bianchi M., Salaris P., and Bicchi A., (2012), [Synergy-Based Hand Pose Sensing: Reconstruction Enhancement], *Submitted to International Journal of Robotics Research. Jun.*, 18 p. (In English).



Орловский  
Игорь Анатольевич,  
д-р техн. наук, проф., каф.  
электропривода и автоматиза-  
ции промышленных установок  
Запорожского нац. техническо-  
го ун-та, 69095 г. Запорожье,  
ул. Жуковского 64.  
Тел.: +380665346613.  
E-mail: [i\\_orlovsky@mail.ru](mailto:i_orlovsky@mail.ru)



Санникова  
Любовь Николаевна,  
зав. Запорожским протезно-  
ортопедическим цехом,  
69035, г. Запорожье,  
ул. Волгоградская, 3.  
Тел.: +380612333504.  
E-mail: [zpc@ukrpost.ua](mailto:zpc@ukrpost.ua)



Клочихин  
Константин Михайлович,  
врач ортопед протезист  
Запорожского протезно-  
ортопедического цеха.  
г. Запорожье, ул. Волгоград-  
ская, 3.  
Тел.: +380612333504.  
E-mail:  
[klochihin2007@rambler.ru](mailto:klochihin2007@rambler.ru)