

Приборы медицинского назначения, контроля среды, веществ, материалов и изделий

УДК 004.9; 004.82; 617.58-77

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.32603/1993-8985-2022-25-1-54-63>

Матричная модель для создания логических фильтров электронного каталога протезных модулей при персонифицированном синтезе протеза

Л. М. Смирнова^{1,2}✉, Е. В. Фогт^{1,2}, А. В. Синегуб¹, Х. Солиман^{1,3}

¹ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

² ФГБУ "Федеральный центр реабилитации инвалидов им. Г. А. Альбрехта" Министерства труда и социальной защиты РФ, Санкт-Петербург, Россия

³ Университет Тишрин, Латакия, Сирия

✉ info@diaserv.ru

Аннотация

Введение. При синтезе протеза из промышленно выпускаемых узлов возникает проблема выбора из большой номенклатуры комплектующих, различающихся по своим свойствам и характеристикам. Решить проблему может создание информационно-измерительной системы для измерения и анализа биомедицинской информации о состоянии пациента и использование полученных результатов как критериев выбора моделей узлов протеза из глобальной базы данных. С этой целью в программное обеспечение системы должна быть заложена соответствующая база знаний.

Цель работы. Обоснование целесообразности представления базы знаний о требованиях к характеристикам узлов протеза нижней конечности в виде матричной модели для создания системы логических фильтров выбора моделей узлов из электронного каталога.

Материалы и методы. В качестве методов исследования применены: теоретический метод, включающий анализ, синтез и аналогию; экспертный опрос ведущих специалистов. Для унификации описания структурно-функционального состояния инвалида используется понятийный язык Международной классификации функционирования (МКФ), ограничения жизнедеятельности и здоровья.

Результаты. На основном этапе фильтрации протезных модулей требуется посредством специализированного программного обеспечения под запросы пользователя сформировать выборку моделей модулей, наиболее релевантных потребностям протезируемого пациента, которые определяются показателями состояния его здоровья, а также связанными со здоровьем факторами. Представлена форма модели базы знаний для отражения логики процедуры выбора протезных узлов и решения основной проблемы организации фильтрации этих объектов в электронном каталоге.

Заключение. Матричное представление базы знаний, отражающее правила выбора комплектующих протеза нижней конечности с учетом показателей состояния пациента, является базой для создания системы логических фильтров в электронном каталоге протезных модулей при персонифицированном синтезе протеза. Использование понятийного языка МКФ при описании факторов, влияющих на выбор протезных модулей, является шагом по пути формирования цифрового профиля протезируемого, что соответствует стратегии перехода на технологии цифровой медицины.

Ключевые слова: логические фильтры, база знаний, матричная модель, протезные модули, нижняя конечность, протезирование, реабилитация

Для цитирования: Матричная модель для создания логических фильтров электронного каталога протезных модулей при персонифицированном синтезе протеза / Л. М. Смирнова, Е. В. Фогт, А. В. Синегуб, Х. Солиман // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2022. Т. 25, № 1. С. 54–63. doi: 10.32603/1993-8985-2022-25-1-54-63

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 29.10.2021; принята к публикации после рецензирования 16.12.2021; опубликована онлайн 28.02.2022



A Matrix Model for Creating Logical Filters of an Electronic Catalog of Prosthetic Modules for Customized Prostheses

Ludmila M. Smirnova^{1,2}, Elizaveta V. Fogt^{1,2}, Andrey V. Sinegub², H. Solieman^{1,3}

¹ Saint Petersburg Electrotechnical University, St Petersburg, Russia

² Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled, St Petersburg, Russia

³ Tishreen University, Latakia, Syria

✉ info@diaserv.ru

Abstract

Introduction. When synthesizing a prosthesis from ready-made prosthesis units, the prosthetist is faced with the problem of selecting from a large range of components that differ in properties and characteristics. This challenge can be overcome by the creation of a system for processing the patient's biomedical information and its further use as criteria for selecting prosthetic nodes from a global database. For this purpose, an appropriate knowledge base must be incorporated into the system software.

Aim. Substantiation of the expediency of presenting the knowledge base about the requirements for the lower limb prosthesis nodes in the form of a matrix model for creating a system of logical filters in the process of selecting nodes from an electronic catalog.

Materials and methods. Theoretical research methods were used, including analysis, synthesis and analogy. An expert survey among leading specialists was carried out. To unify the description of the structural and functional state of a disabled person, the terms of the International Classification of Functioning (ICF), Disability and Health were used.

Results. At the main stage of filtering, prosthetic modules optimally meeting the patient's needs are selected using a specialized software application, depending on the patient's health status and various health-related factors. A model of the knowledge base is presented, which describes the logic of selecting prosthetic nodes and their filtering in an electronic catalog.

Conclusion. The matrix representation of the knowledge base that contains rules for selecting components of lower limb prostheses, taking into account the patient's condition, is a basis for creating a system of logical filters when searching for prosthetic modules in an electronic catalog for creating customized prostheses. The use of the ICF conceptual language for describing the factors influencing the choice of prosthetic modules is a step towards the formation of a patient's digital profile, which corresponds to the strategy of transition to digital medicine technologies.

Keywords: logical filters, knowledge base, matrix model, prosthetic modules, lower limb, prosthetics, rehabilitation

For citation: Smirnova L. M., Fogt E. V., Sinegub A. V., Solieman H. A Matrix Model for Creating Logical Filters of an Electronic Catalog of Prosthetic Modules for Customized Prostheses. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2022, vol. 25, no. 1, pp. 54–63. doi: 10.32603/1993-8985-2022-25-1-54-63

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Submitted 29.10.2021; accepted 16.12.2021; published online 28.02.2022

Введение. Модульное протезирование конечностей из готовых промышленно выпускаемых компонентов в настоящее время признано основным.

Одним из вариантов управления качеством модульного протезирования является рациональный персонафицированный выбор комплектующих – протезных модулей для синтеза протеза с учетом текущего состояния протезируемого. В настоящее время для этого используются различные информа-

ционные каталоги протезной продукции, выпускаемые ее производителями и поставщиками. В некоторых из каталогов представлена система рекомендаций по назначению протезных модулей. Основная проблема такого выбора заключается в необходимости его осуществления из большой номенклатуры моделей протезных модулей, поставляемых разными производителями и различающихся по своим свойствам и характеристикам. Решению

проблемы может помочь создание информационно-измерительной системы для измерения биомедицинской информации о состоянии пациента и использование ее как критериев выбора моделей узлов протеза из глобальной базы данных. С этой целью в программное обеспечение системы должна быть заложена соответствующая база знаний.

Наиболее известна классификационная система рекомендаций по назначению протезных модулей "MOBIS", представленная в каталогах компании Ottobock SE & Co. KGaA (Германия) [1]. В данной системе при выборе модели рекомендуется учитывать уровень двигательной активности пациента (представлены описания для четырех градаций этого показателя – низкий, средний, повышенный и высокий) и массу тела пациента (4 градации – до 75 кг, 100 кг, 125 кг и более). В соответствии с этими характеристиками и целью назначения протеза (например, для обычной жизнедеятельности, для плавания и пр.) специалист подбирает модели модулей (узлов протеза) по каталогам, учитывая также информацию производителя о конструктивной возможности их сочленения в едином протезе.

Иной принцип классификации продукции применяется в каталогах ОАО «РКК "Энергия"» (г. Королев, Московская область, Россия) [2]. В них модели разделены на 2 класса – для детей и для взрослых, а далее – на группы по типу протеза (протез голени, бедра, после вычленения бедра и межподвздошно-брюшной ампутации) и, наконец, по уровню двигательной активности пациента (всего 3 градации – низкая, средняя, высокая). В описании моделей указаны некоторые конструкционные, функциональные и эксплуатационные характеристики, предельная масса тела пациента для их назначения.

В этих и других каталогах классификация продукции, объем и формат представления информации о характеристиках протезных моделей, система рекомендаций по их назначению значительно различаются, в том числе и количество градаций уровней двигательной активности, их характеристики [3–6]. В итоге протезист испытывает значительные затруднения при выборе нужных для пациента моделей протезных модулей среди большой номенклатуры продукции отечественных и зарубежных производителей.

Ошибка в этом случае может заключаться в применении в протезе модулей, недостаточная функциональность которых не позволяет в полной мере реализоваться реабилитационному потенциалу пациента. Либо, наоборот, в протезе

могут быть использованы высокотехнологичные дорогостоящие модели модулей, обладающие повышенной функциональностью, прочностью, износостойкостью, которые не будут в полной мере востребованы из-за недостаточного реабилитационного потенциала протезируемого. Или же состав комплектующих протеза может не соответствовать обоснованным персональным требованиям инвалида к характеристикам протеза, условиям его эксплуатации в процессе жизнедеятельности протезированного. Таким образом, нерациональный выбор комплектующих модульного протеза приводит к снижению качества протезирования и эффективности реабилитации пациента, неполной реализации потенциальной возможности повышения качества жизни инвалида, нерациональному распределению финансовых затрат на протезирование.

Для разрешения этой проблемы требуется создание инновационной компьютерной технологии персонифицированного синтеза протеза нижней конечности, позволяющей повысить удобство и обоснованность выбора моделей протезных модулей пациенту с учетом множества показателей его состояния. Одной из задач разработки такой технологии является формирование глобального электронного каталога – базы данных (БД) протезной продукции разных производителей с информацией, систематизированной по единой схеме с учетом функциональных, эстетических, эксплуатационных характеристик моделей, которые должны учитываться при персонифицированном выборе их пациенту. Необходимость и принцип создания такого каталога были обоснованы ранее [7, 8], но развитием этого направления является разработка системы логических фильтров для формирования из глобального электронного каталога таких выборок моделей, которые будут соответствовать показателям состояния пациента. Данные фильтры должны быть основаны на информации о совместимости между показателями состояния пациента, с одной стороны, и характеристиках протезных модулей – с другой.

Целью исследования является обоснование целесообразности представления базы знаний о требованиях к характеристикам комплектующих протеза нижней конечности в виде матричной модели для создания системы логических фильтров выбора моделей из электронного каталога протезных модулей при персонифицированном синтезе протеза нижней конечности.

Материалы и методы. В качестве методов исследования применены:

– теоретический метод, включающий анализ, синтез и аналогию;

– экспертный опрос ведущих специалистов Института протезирования и ортезирования Федерального государственного бюджетного учреждения "Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г. А. Альбрехта" Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации (Санкт-Петербург, Россия), обладающих теоретическими знаниями и более чем тридцатилетним практическим опытом протезирования пациентов после ампутации нижней конечности.

При описании структурно-функционального состояния организма протезируемого использовалась терминология и определители нарушений, принятые в Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья (МКФ) (ICF – International Classification of Functioning, Disability and Health) [9].

Результаты исследования. На первом – основном – этапе фильтрации протезных модулей, представленных в электронном каталоге, требуется посредством специализированного программного обеспечения под запросы пользователя сформировать выборку моделей модулей, наиболее релевантных потребностям протезируемого пациента, которые определяются показателями состояния его здоровья, а также связанными со здоровьем факторами. После фильтрации и сортировки моделей пользователь может остаться на той же странице приложения, но на ней должны отображаться активными только те объекты, которые не противопоказаны пациенту по медицинским показаниям, а их расположение должно отражать приоритеты выбора в соответствии с текущим состоянием пациента (его здоровья и связанных с ним факторов, влияющих на требования к протезированию). На следующем этапе выбора фильтрация должна осуществляться по запросу о совместимости модели модуля с остальными комплекующими протеза и лишь затем – по личным предпочтениям инвалида, в частности – эстетическим (например, цвет обложки стопы и пр.).

Основные проблемы организации фильтрации этих объектов в планируемом для создания глобальном электронном каталоге, объединяющем продукцию различных производителей, связаны с отсутствием базы знаний, отражающей логику процедуры выбора.

Признаки, по которым модели протезных мо-

дулей различаются между собой и которые в первую очередь должны учитываться при комплектации протеза, целесообразно разделить на множества: конструктивных характеристик W , функциональных X , эстетических Y , эксплуатационных Z .

Для персонифицированного выбора моделей протезных модулей предлагается использовать номенклатуру факторов в виде двух непересекающихся множеств: P – базовых факторов и F – факультативных.

Факторы P обязательно учитываются протезистами при выборе искусственной стопы, для чего в каталогах некоторых производителей представлены соответствующие классификации и формализованные рекомендации. В отличие от этого факультативные факторы F часто незаслуженно игнорируются при комплектации модульного протеза, что приводит к снижению качества протезирования.

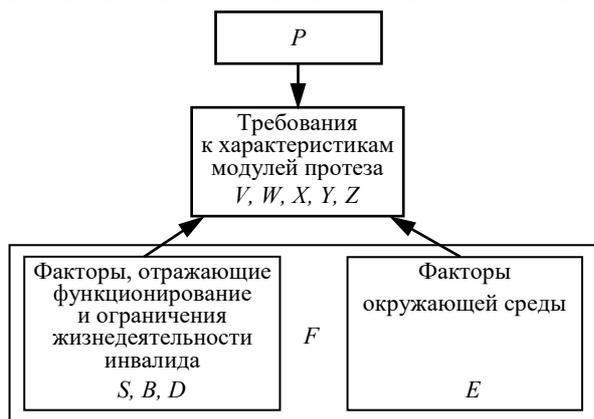
Например, при выборе модели искусственной стопы учитывается 7 базовых факторов:

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7\},$$

где p_1 – тип протезирования (первичное или повторное); p_2 – целевое назначение протеза (для повседневного использования, купания, занятий адаптивной физкультурой или определенным видом спорта и т. п.); p_3 – возрастная группа пациента (взрослые или дети); p_4 – пол (женский или мужской); p_5 – масса тела; p_6 – размер сохранный стопы; p_7 – уровень двигательной активности (нулевой, низкий, сниженный, средний, высокий).

В качестве факультативных факторов F целесообразно рассматривать те, которые отражают функционирование и ограничения жизнедеятельности инвалида, его активность и участие в решении жизненных задач, характеристики окружающей среды. Множество F разделено на 4 подгруппы однородных факторов: S – показатели состояния структур организма протезируемого; B – его функций; D – активности (выполнения задач или действий инвалидом) и участия (вовлечения в жизненную ситуацию); E – окружающей среды, в которой планируется использовать протез.

Таким образом, требования к протезу и выбор моделей протезных модулей определяются множеством базовых факторов P и факультативных F ,



Модель формирования требований к модулям протеза
 A model of generating requirements for prosthesis modules

представляющих собой непересекающиеся множества $P \cap F = \emptyset$. Модель формирования требований к модулям протеза показана на рисунке.

Наименование и смысловое содержание факультативных факторов F соответствует аналогичным категориям, используемым в составляющих МКФ: b – "функции организма"; s – "структуры организма"; d – "активность и участие"; e – "факторы окружающей среды":

$$S \subset s; B \subset b; D \subset d; E \subset e.$$

Модель здоровья человека в МКФ представлена на основе интеграции медицинской и социальной субмоделей [10–12]. Учитывая эти обстоятельства, понятийный язык МКФ целесообразно использовать и при описании системы факторов, влияющих на выбор комплекующих протеза.

Формула кода в МКФ [13]:

$$\text{МКФ-код} = \text{префикс} + \text{шифр домена} + \text{определитель},$$

где префикс – буквенное обозначение составляющей, к которой относится домен МКФ (набор взаимосвязанных физиологических функций, анатомических структур, действий, задач и сфер жизнедеятельности индивида); шифр домена – числовой код раздела первого уровня (одна цифра), второго уровня (две цифры), третьего и четвертого уровней (по одной цифре на каждый уровень); определитель – количественная оценка нарушения функции или структуры организма, реализации или потенциальной способности активности (деятельности) протезируемого, выраженности барьеров или облегчающих факторов окружающей среды [14–16].

Следует учитывать, что только классификации функций и структур организма в МКФ содержат 4 уровня детализации. Например, для кодирования умеренного нарушения вестибулярной функции передвижения используется код $b2352.2$, согласно которому: b – составляющая "функции организма"; $b2$ – "сенсорные функции и боль"; $b235$ – "вестибулярные функции"; $b2352$ – "вестибулярные функции передвижения"; цифра 2 после точки означает умеренное нарушение.

В качестве базы знаний, отражающей правила основного этапа выбора моделей искусственной стопы, предлагается использовать матричную модель, устанавливающую соответствие между номенклатурой запросов выбора (факторов, от которых зависят требования к модулям протеза) и номенклатурой признаков объектов выбора (характеристик протезных модулей) (табл. 1).

В матричной модели, форма которой представлена табл. 1, ниже обозначений факторов

Табл. 1. Форма матричной модели базы знаний для выбора моделей модулей протеза конечности

Tab. 1. A matrix model of the knowledge base for selecting prosthetic limb modules

		Факультативные факторы выбора моделей протезных модулей																				
		S				B				D				E								
		s_1	...	s_i	...	s_n	b_1	...	b_j	...	b_m	d_1	...	d_k	...	d_r	e_1	...	e_l	...	e_t	
		Область градации оценок факторов																				
Характеристики протезных модулей	W	w_1	Область отображения соответствия между оценками факторов и характеристиками протезного модуля																			
		...																				
		w_c																				
	X	x_1																				
		...																				
		x_f																				
	Y	y_1																				
		...																				
		y_p																				
	Z	z_1																				
		...																				
		z_v																				

должна быть также указана их градация по возможным вариантам оценки по шкале МКФ.

Для оценки функций организма *B* требуется применение определителя первого уровня, шкала оценки которого имеет 5 градаций выраженности нарушений: "0" – нет нарушений (0...4 %); "1" – легкие нарушения (5...24 %); "2" – умеренные (25...49 %); "3" – тяжелые (50...95 %); "4" – абсолютные (96...100 %). При оценке структур организма (*S*) дополнительно применяется определитель второго уровня со шкалой оценки для уточнения локализации нарушений структуры. Для оценки активности и участия (*D*) используются определители: "реализация" – для оценки активности (деятельности) индивида в условиях реально окружающей его среды; "потенциальная способность" ("капацитет") – для оценки потенциальной способности протезируемого выполнять действие. С этой целью используется шкала оценки: "0" – нет затруднений (0...4 %); "1" – легкие (5...24 %); "2" – умеренные (25...49 %); "3" – тяжелые (50...95 %); "4" – абсолютные (96...100 %). Для оценки окружающей среды (*E*) применяется определитель с негативной и позитивной шкалами. Первая из них используется для обозначения степени выраженности барьера ("0" – нет барьеров (0...4 %), "1" – незначительные (5...24 %), "2" – умеренные (25...49 %), "3" – выраженные (50...95 %), "4" – абсолютные (96...100 %)); вторая – для обозначения облегчающих факторов ("0" – нет облегчающих факторов (0...4 %), "+1" – незначительные (5...24 %), "+2" – умеренные (25...49 %), "+3" – выраженные (50...95 %), "+4" – абсолютные (96...100 %)).

Правила выбора моделей должны быть представлены в матричной модели в виде кодов соответствия факторов выбора признакам объектов выбора, т. е. эти коды должны быть установлены в ячейках на пересечении столбцов с оценками факторов и строк с признаками, отражающими конструктивные, функциональные, эстетические и эксплуатационные характеристики протезных модулей. Для решаемой задачи выбора модели протезного модуля целесообразно использовать 3 значения кода: "не рекомендуется", "допускается", "рекомендуется". Эти кодовые значения в матричной модели могут быть представлены в виде символов (например, букв "Н", "Д", "Р") и/или (для лучшей визуализации) обозначены цветом (например, красный, желтый, зеленый).

Для выбора моделей узлов протеза наиболее значимыми являются факторы, соответствующие

домену *b* МКФ, отражающие состояние функций организма инвалида, а для протеза нижней конечности – именно 4 группы, входящие в этот домен – *b1*, *b2*, *b4*, *b7*).

Группа b1 – "Умственные функции": *b130* – волевые и побудительные; *b140* – внимания; *b144* – памяти; *b152* – эмоций (в частности, их адекватности – *b1520*); *b156* – восприятия (тактильного – *b1564*, визуально-пространственного – *b1565*). *Группа b2* – "Сенсорные функции и боль", а именно: *b2100* – острота зрения; вестибулярные функции – пространственного положения – *b2350*, равновесия – *b2351*; передвижения – *b2352*; дополнительные сенсорные функции (*b260* – проприоцептивная, включая функции статестезии и кинестезии; *b265* – осязания). *Группа b4* – "Функции сердечно-сосудистой, кровеносной, иммунной и дыхательной систем": *b410* – сердца (температура сердечных сокращений – *b4100*, ритм – *b4101* и др.); *b415* – кровеносных сосудов (функции артерий – *b4150*, капилляров – *b4151*, вен – *b4152*); *b420* – артериального давления (его повышения – *b4200*, снижения – *b4201*, поддержания – *b4202*; *b455* – толерантности к физической нагрузке (общая физическая выносливость – *b4550*, аэробный резерв – *b4551*, утомляемость – *b4552*). И, наконец, *группа b7* МКФ – "Нейромышечные, скелетные и связанные с движением функции": *b710* – подвижность суставов конечности и *b715* – их стабильность; такие двигательные функции, как моторно-рефлекторные – *b750*, произвольной двигательной реакции – *b755*, контроль произвольных двигательных функций – *b760*, произвольные двигательные функции – *b765*.

Поскольку искусственная стопа является модулем, входящим в любой протез нижней конечности, и в значительной степени определяет его биомеханические свойства, именно на примере ее выбора целесообразно представить фрагмент матричной модели для организации логических фильтров электронного каталога протезных модулей (табл. 2). В представленном фрагменте отражено соответствие только функциональных характеристик моделей и только состоянию нейромышечных, скелетных и связанных с движением функций организма протезируемого.

Обозначения, используемые в табл. 2:

– для показателей состояния функций организма: *b710* – подвижность сустава и *b715* – стабильность сустава (КС – коленного, ТБС – тазо-

Табл. 2. Фрагмент матричной модели, отражающей базу знаний для организации второго уровня фильтрации (по факультативным факторам) моделей искусственных стоп в электронном каталоге (только по функциональным характеристикам моделей и с учетом только состояния нейромышечных, скелетных и связанных с движением функций организма протезируемого)

Tab. 2. A fragment of the matrix model reflecting the knowledge base for organizing the second level of filtering (by optional factors) of artificial foot models in an electronic catalog (only by the functional characteristics of the models and taking into account only the state of neuromuscular, skeletal and movement-related functions of the disabled person)

Функциональные характеристики искусственной стопы		Показатели и варианты оценок состояния функций организма (группа b7 по МКФ)																								
		b710										b715										b7500, b7501, b755, b7600, b7601, b7602, b7603, b7650, b7653				
		КС					ТБС					КС					ТБС									
Обозначение	Варианты оценок	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
		П	0	Д	Д	Н	Н	Н						Д	Д	Д	Р	Р						Д	Д	Д
1	Д		Р	Р	Р	Р						Д	Д	Д	Н	Н						Д	Д	Д	Д	Д
2	Д		Д	Н	Н	Н						Д	Д	Д	Н	Н						Д	Д	Д	Н	Н
3	Д		Д	Н	Н	Н						Д	Д	Д	Н	Н						Д	Д	Д	Н	Н
Рп	0	Д	Д	Д	Н	Н	Д	Д	Д	Н	Н															
	1	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д															
	2	Д	Д	Д	Н	Н	Д	Д	Д	Д	Д															
	3	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д															
М	0											Д	Д	Д	Д	Р	Д	Д	Д	Д	Р	Д	Д	Д	Р	Р
	1											Д	Д	Д	Р	Н	Д	Д	Д	Р	Н	Д	Д	Д	Н	Н
Д	1	Д	Д	Р	Р	Р						Д	Д	Д	Н	Н	Д	Д	Д	Н	Н	Д	Д	Д	Н	Н
	2	Д	Д	Д	Д	Д						Д	Д	Д	Н	Н	Д	Д	Д	Н	Н	Д	Д	Д	Д	Д
	3	Д	Д	Н	Н	Н						Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д
	4	Д	Д	Д	Н	Н						Д	Д	Д	Н	Н	Д	Д	Д	Н	Н	Д	Д	Д	Н	Н
У	1	Д	Д	Н	Н	Н	Д	Д	Р	Р	Р	Р	Р	Д	Н	Н	Д	Д	Д	Н	Н	Р	Р	Д	Н	Н
	2	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д
	3	Д	Д	Р	Р	Р	Д	Д	Н	Н	Н	Д	Д	Д	Н	Н	Д	Д	Д	Н	Н	Д	Д	Д	Д	Д
	4	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
Э	1											Д	Д	Д	Р	Р										
	2											Д	Д	Д	Н	Н										
	3											Д	Д	Д	Н	Н										

бедренного); b7500 – двигательный рефлекс растяжения, b7501 – рефлексы на повреждающий стимул, b755 – функция произвольной двигательной реакции, b7600 – контроль простых произвольных движений, b7601 – контроль сложных произвольных движений, b7602 – координация произвольных движений, b7603 – опорные функции руки или ноги, b7650 – произвольные сокращения мышц, b7653 – стереотипные;

– для оценок состояния функций организма: "0" – нет нарушений функции, "1" – легкие, "2" – умеренные, "3" – тяжелые, "4" – абсолютные;

– для функциональных характеристик искусственных стоп и вариантов их оценок: П – подвижность стопы при перекате ("0" – отсутствует, "1" – только в сагиттальной плоскости, "2" – в сагиттальной и фронтальной плоскостях, "3" – в трех плоскостях); Рп – регулировка подвижности стопы ("0" – невозможна, "1" – только в сагит-

тальной плоскости, "2" – в сагиттальной и фронтальной плоскостях, "3" – в трех плоскостях); М – микропроцессорное управление движением стопы ("0" – отсутствует, "1" – имеется); Д – демпфирование переднего толчка ("1" – сниженное – "жесткая пятка", "2" – среднее, "3" – повышенное – "мягкая пятка", "4" – регулируемое); У – упругость заднего толчка ("1" – низкая – "мягкий носок", "2" – средняя, "3" – повышенная – "жесткий носок", "4" – регулируемая); Э – рекуперация энергии ("1" – слабая, "2" – нормальная, "3" – повышенная). Обозначения правил выбора модели стопы: Н – не рекомендуется, Д – допускается, Р – рекомендуется.

Заключение. Матричное представление базы знаний, отражающее правила выбора комплектующих протеза нижней конечности с учетом показателей состояния пациента, является базой для создания системы логических фильтров в

электронном каталоге протезных модулей при персонализированном синтезе протеза.

Матричная модель правил выбора комплекствующих протеза конечности необходима для программистов, занимающихся разработкой системы управления базой данных электронного каталога протезных модулей. Ее применение будет способствовать взаимопониманию между специалистами мультидисциплинарной реабилитационной

бригады, участвующими в реабилитации инвалидов после ампутации конечности в учреждениях медицинского и социального профилей.

Использование понятийного языка МКФ при описании факторов, влияющих на выбор протезных модулей, является шагом по пути формирования цифрового профиля протезируемого, что соответствует стратегии перехода на технологии цифровой медицины.

Список литературы

1. Классификационная система MOBIS. URL: <https://www.ottobock.ru/prosthetics/info-for-new-amputees/mobis-system/> (дата обращения 18.10.2021)
2. РКК "Энергия" – Продукция – Комплекс средств протезирования. URL: <https://www.energia.ru/ru/conversion/prosthetic/prosthetic.html> (дата обращения 18.10.2021)
3. Initial Clinical Evaluation of the Modular Prosthetic Limb / B. N. Perry, C. W. Moran, R. S. Armiger, P. F. Pasquina, J. W. Vandersea, J. W. Tsao // *Front Neurol.* 2018. Vol. 9. P. 153. doi: 10.3389/fneur.2018.00153
4. Lower Limb Prostheses: Measurement Instruments, Comparison of Component Effects by Subgroups, and Long-Term Outcomes / E. M. Balk, A. Gazula, G. Markozannes, H. J. Kimmel, I. J. Saldanha, L. J. Resnik, T. A. Trikalinos // Rockville (MD): Agency for Healthcare Research and Quality (US). URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK531523/> (дата обращения 25.10.2021)
5. Measures and procedures utilized to determine the added value of microprocessor-controlled prosthetic knee joints: a systematic review / P. J. Theeven, B. Hemmen, P. R. Brink, R. J. Smeets, H. A. Seelen // *BMC Musculoskelet Disord.* 2013. Vol. 14, art. № 333. doi: 10.1186/1471-2474-14-333
6. Comparisons of Lower Limb Prosthesis Components and Long-Term Continued Use of Prostheses: A Systematic Review / E. Balk, L. Resnik, S. Springs, S. D'Andrea, M. Magill, A. Gazula, M. Di, E. Twomey-Wilson // *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 2017. Vol. 98, № 10. P. e135. doi: 10.1016/j.apmr.2017.08.439
7. Saikko V., Shen M. Wear comparison between a dual mobility total hip prosthesis and a typical modular design using a hip joint simulator // *Wear.* 2010. Vol. 268, № 3. P. 617–621. doi: 10.1016/j.wear.2009.10.011
8. The amputee mobility predictor: an instrument to assess determinants of the lower-limb amputee's ability to ambulate / R. S. Gailey, K. E. Roach, E. B. Applegate, B. Cho, B. Cuniffe, S. Licht, M. Maguire, M. S. Nash // *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2002. Vol. 83, № 5. P. 613–627. doi: 10.1053/ampr.2002.32309
9. World Health Organization: International Classification of Functioning, Disability and Health: ICF. 2001, Geneva: World Health Organization. URL: <https://www.who.int/standards/classifications/international-classification-of-functioning-disability-and-health> (дата обращения 25.10.2021)
10. Madden R. H., Bundy A. The ICF has made a difference to functioning and disability measurement and statistics // *Disability and Rehabilitation.* 2019. Vol. 41, № 12. P. 1450–1462. doi: 10.1080/09638288.2018.1431812
11. Cifu D. X. Braddom's Physical Medicine and Rehabilitation, 6th ed. Philadelphia: Elsevier Health Sciences, 2020. URL: <https://www.elsevier.com/books/braddoms-physical-medicine-and-rehabilitation/cifu/978-0-323-62539-5> (дата обращения 25.10.2021)
12. Variables that Influence Basic Prosthetic Mobility in People With Non-Vascular Lower Limb Amputation / R. Gailey, S. Clemens, J. Sorensen, N. Kirk-Sanchez, I. Gaunard, M. Raya, G. Klute, P. Pasquina // *PM&R.* 2020. Vol. 12, iss. 2. P. 130–139. <https://doi.org/10.1002/pmrj.12223>
13. The International Classification of Functioning, Disability and Health: a new tool for understanding disability and health / T. B. Üstün, S. Chatterji, J. Bickenbach, N. Kostanjsek, M. Schneider // *Disability and Rehabilitation.* 2003. Vol. 25, № 11–12. P. 565–571. doi: 10.1080/0963828031000137063
14. Kostanjsek N. Use of The International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF) as a conceptual framework and common language for disability statistics and health information systems // *BMC Public Health.* 2011. Vol. 11, № 4. P. S3. doi: 10.1186/1471-2458-11-S4-S3
15. Use of the ICF Model as a Clinical Problem-Solving Tool in Physical Therapy and Rehabilitation Medicine / W. A. Steiner, L. Ryser, E. Huber, D. Uebelhart, A. Aeschlimann, G. Stucki // *Physical Therapy.* 2002. Vol. 82, № 11. P. 1098–1107. doi: 10.1093/ptj/82.11.1098
16. How to use the ICF: A practical manual for using the International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF). URL: <https://www.who.int/classifications/drafticfpracticalmanual2.pdf> (дата обращения 25.10.2021)

Информация об авторах

Смирнова Людмила Михайловна – доктор технических наук (2011), доцент кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина), ведущий научный сотрудник отдела биомеханических исследований опорно-двигательной системы Института протезирования и ортезирования ФГБУ ФНЦРИ им. Г. А. Альбрехта Минтруда России. Автор более 170 научных работ. Сфера научных интересов – протезирование; биомеханические исследования; медицинская информатика.

Адрес: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина), ул. Профессора Попова, д. 5 Ф, Санкт-Петербург, 197022, Россия

E-mail: info@diaserv.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4373-9342>

Фогт Елизавета Владимировна – магистр по направлению "Биотехнические системы и технологии" (2019), аспирантка кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина). Младший научный сотрудник отдела биомеханических исследований опорно-двигательной системы Института протезирования и ортезирования ФГБУ ФНЦРИ им. Г. А. Альбрехта Минтруда России. Автор 12 научных работ. Сфера научных интересов – протезирование; биомеханические исследования; медицинская информатика.

Адрес: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина), ул. Профессора Попова, д. 5 Ф, Санкт-Петербург, 197022, Россия

E-mail: fogtlisbet11@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1017-6179>

Синегуб Андрей Владимирович – магистр по направлению "Мехатроника и робототехника" (2018), аспирант Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Петра Великого. Младший научный сотрудник отдела биомеханических исследований опорно-двигательной системы Института протезирования и ортезирования ФГБУ ФНЦРИ им. Г. А. Альбрехта Минтруда России. Автор восьми научных публикаций. Сфера научных интересов – протезирование; компьютерное моделирование.

Адрес: ФГБУ ФНЦРИ им. Г. А. Альбрехта, Бестужевская ул., д. 50, Санкт-Петербург, 195067, Россия

E-mail: a.sinegub@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2619-3691>

Солиман Ханади – бакалавр по направлению "Электромеханика – мехатроника" (2018, университет Тишрин, Сирия), магистр по направлению "Биотехнические системы и технологии" (2020), аспирант, ассистент кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина), ассистент университета Тишрин. Автор семи научных публикаций. Сфера научных интересов – медицинское приборостроение; медицинская информатика; обработка и анализ биомедицинских сигналов и данных.

Адрес: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина), ул. Профессора Попова, д. 5 Ф, Санкт-Петербург, 197022, Россия

E-mail: khsoliman@stud.etu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9868-8960>

References

1. MOBIS Classification System. Available at: <https://www.ottobock.ru/prosthetics/info-for-new-amputees/mobis-system/> (accessed 18.10.2021) (In Russ.)
2. A Line of Prosthetic Appliances. Available at: <https://www.energia.ru/ru/conversion/prosthetic/prosthetic.html> (accessed 18.10.2021) (In Russ.)
3. Perry B. N., Moran C. W., Armiger R. S., Pasquina P. F., Vandersea J. W., Tsao J. W. Initial Clinical Evaluation of the Modular Prosthetic Limb. *Front Neurol.* 2018, vol. 9, p. 153. doi: 10.3389/fneur.2018.00153
4. Balk E. M., Gazula A., Markozannes G., Kimmel H. J., Saldanha I. J., Resnik L. J., Trikalinos T. A. Lower Limb Prostheses: Measurement Instruments, Comparison of Component Effects by Subgroups, and Long-Term Outcomes. Rockville (MD): Agency for Healthcare Research and Quality (US). Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK531523/> (accessed 25.10.2021)
5. Theeven P. J., Hemmen B., Brink P. R., Smeets R. J., Seelen H. A. Measures and Procedures Utilized to Determine the Added Value of Microprocessor-Controlled Prosthetic Knee Joints: a Systematic Review. *BMC Musculoskelet Disord.* 2013, vol. 14, art. no. 333. doi: 10.1186/1471-2474-14-333
6. Balk E., Resnik L., Springs S., D'Andrea S., Magill M., Gazula A., Di M., Twomey-Wilson E. Comparisons of Lower Limb Prosthesis Components and Long-Term Continued Use of Prostheses: A Systematic Review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 2017, vol. 98, no. 10, p. e135. doi: 10.1016/j.apmr.2017.08.439
7. Saikko V., Shen M. Wear Comparison Between a Dual Mobility Total Hip Prosthesis and a Typical Modular Design Using a Hip Joint Simulator. *Wear.* 2010, vol. 268, no. 3, pp. 617–621. doi: 10.1016/j.wear.2009.10.011

8. Gailey R. S., Roach K. E., Applegate E. B., Cho B., Cunniffe B., Licht S., Maguire M., Nash M. S. The Amputee Mobility Predictor: an Instrument to Assess Determinants of the Lower-Limb Amputee's Ability to Ambulate. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2002, vol. 83, no. 5, pp. 613–627. doi: 10.1053/ampr.2002.32309

9. World Health Organization: International Classification of Functioning, Disability and Health: ICF. 2001, Geneva: World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/standards/classifications/international-classification-of-functioning-disability-and-health> (accessed 25.10.2021)

10. Madden R. H., Bundy A. The ICF Has Made a Difference to Functioning and Disability Measurement and Statistics. *Disability and Rehabilitation.* 2019, vol. 41, no. 12, pp. 1450–1462. doi: 10.1080/09638288.2018.1431812

11. Cifu D. X. Braddom's Physical Medicine and Rehabilitation, 6th ed. Philadelphia: Elsevier Health Sciences, 2020. Available at: <https://www.elsevier.com/books/braddoms-physical-medicine-and-rehabilitation/cifu/978-0-323-62539-5> (accessed 25.10.2021)

12. Gailey R., Clemens S., Sorensen J., Kirk-Sanchez N., Gaunaud I., Raya M., Klute G., Pasquina P. Variables that Influence Basic Prosthetic Mobility in People With Non-

Vascular Lower Limb Amputation. *PM&R.* 2020, vol. 12, iss. 2, pp. 130–139. <https://doi.org/10.1002/pmrj.12223>

13. Üstün T. B., Chatterji S., Bickenbach J., Kostanjsek N., Schneider M. The International Classification of Functioning, Disability and Health: a New Tool for Understanding Disability and Health. *Disability and Rehabilitation.* 2003, vol. 25, no. 11–12, pp. 565–571. doi: 10.1080/0963828031000137063

14. Kostanjsek N. Use of The International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF) as a Conceptual Framework and Common Language for Disability Statistics and Health Information Systems. *BMC Public Health.* 2011, vol. 11, no. 4, p. S3. doi: 10.1186/1471-2458-11-S4-S3

15. Steiner W. A., Ryser L., Huber E., Uebelhart D., Aeschlimann A., Stucki G. Use of the ICF Model as a Clinical Problem-Solving Tool in Physical Therapy and Rehabilitation Medicine. *Physical Therapy.* 2002, vol. 82, no. 11, pp. 1098–1107. doi: 10.1093/ptj/82.11.1098

16. How to use the ICF: A Practical Manual for Using the International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF). Available at: <https://www.who.int/classifications/drafticfpracticalmanual2.pdf> (accessed 25.10.2021)

Information about the authors

Ludmila M. Smirnova, Dr Sci. (Eng.) (2011), Associative Professor at the Department of Bioengineering systems of Saint Petersburg Electrotechnical University, Senior Research Scientist of the Division of biomechanical research of locomotor system at Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled. The author of more than 300 scientific publications. Area of expertise: information-measuring systems; medical informatics; biomechanical research; rehabilitation of disabled people.

Address: Saint Petersburg Electrotechnical University, 5 F, Professor Popov St., St Petersburg 197022, Russia

E-mail: info@diaserv.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4373-9342>

Elizaveta V. Fogt, Master in Bioengineering Systems and Technologies (2019), post-graduate student of Department of Bioengineering Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University. Junior Research Scientist at the Division of biomechanical research of locomotor system at Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled. The author of 12 scientific publications. Area of expertise: prosthetics; biomechanical research; medical informatics.

Address: Saint Petersburg Electrotechnical University, 5 F, Professor Popov St., St Petersburg 197022, Russia

E-mail: fogtlisbet11@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1017-6179>

Andrey V. Sinogub, postgraduate student in Mechatronics and robotics of Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University. Junior Research Scientist at the Division of biomechanical research of locomotor system at Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled. The author of 8 scientific publications. Area of expertise: prosthetics, computer modelling.

Address: Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled, 50, Bestuzhevskaya St., St Petersburg 195067, Russia

E-mail: a.sinogub@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2619-3691>

Hanadi Solieman, Bachelor in Electromechanics – Mechatronics (2018, Tishreen University, Syria), Master in Bioengineering Systems and Technologies (2019), post-graduate student, assistant of the Department of Bioengineering Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University. Assistant at the Mechatronics program for Distinguished at Tishreen University. The author of 7 scientific publications. Area of expertise: medical instrumentation, medical informatics, processing and analysis of biomedical signals and data.

Address: Saint Petersburg Electrotechnical University, 5 F, Professor Popov St., St Petersburg 197022, Russia

E-mail: khsoliman@stud.etu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9868-8960>