

АРХИТЕКТУРА МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ОБРАБОТКИ 3D-ОБРАЗА ДЛЯ ЦИФРОВОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИЕМНОЙ ГИЛЬЗЫ ПРОТЕЗА ГОЛЕНИ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

¹А. Р. Суфэльфа*, ^{1,2}К. А. Бобкович, ^{1,2}Е. В. Фогт, ^{1,2}М. В. Черникова

¹Федеральный научно-образовательный центр медико-социальной экспертизы и реабилитации
имени Г. А. Альбрехта, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
имени В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ. Потребность в протезах нижних конечностей растет каждый год, а вопросы совершенствования технологических процессов их изготовления являются важной технической задачей и могут решить медико-социальную проблему обеспечения нуждающихся протезно-ортопедическими изделиями.

ЦЕЛЬ. Разработать архитектуру модели нейронной сети обработки образа 3D-скана культи конечности для цифрового автоматизированного проектирования индивидуальной приемной гильзы протеза голени с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. 3D-сканы культей голени и внутренних поверхностей приемных гильз протезов. Программное обеспечение для анализа и обработки данных с использованием нейронных сетей. Язык программирования Python (Нидерланды, Opensource) и среда моделирования MeshLab (Италия, Opensource). Определение ключевых признаков и создание набора данных для проектирования индивидуальных модулей протезов голени. Разработка архитектуры модели нейронной сети для цифрового автоматизированного проектирования индивидуальных приемных гильз протезов голени по скану культи пациента и прогнозирования областей нагрузки и разгрузки при пользовании протезом.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Разработана архитектура модели нейронной сети обработки образа 3D-скана культи для цифрового автоматизированного проектирования приемной гильзы протеза голени. Сформированы наборы данных, включающие 3D-сканы культей и характеристики внутренних поверхностей гильз. Прототип системы позволяет прогнозировать зоны нагрузки и разгрузки внутри гильзы, учитывая индивидуальные особенности пациента, по трехмерному скану его усеченной конечности.

ОБСУЖДЕНИЕ. Использование технологий искусственного интеллекта (ИИ) для обработки 3D-сканов культи представляет значительные преимущества: сокращение продолжительности изготовления индивидуального модуля (приемной гильзы) протеза конечности без снижения качества; автоматизация ручного труда, уменьшение ошибок человеческого фактора и повышение точности проектирования приемной гильзы протеза; увеличение эффективности обеспечения инвалидов протезами конечностей и обеспечение комфорта при пользовании изделием. Тем не менее внедрение подобных систем требует дальнейших исследований, включая валидацию модели на большом объеме данных и интеграцию с существующими технологическими процессами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Разработанная архитектура модели нейронной сети обработки образа 3D-сканов культи позволяет значительно сократить без снижения качества продолжительность проектирования индивидуальных приемных гильз протезов голени. Применение искусственных нейронных сетей обеспечивает ускорение изготовления и снижение ошибок человеческого фактора. Внедрение разработанной модели способствует повышению качества жизни людей с ампутациями, а также эффективности реабилитационных и протезно-ортопедических мероприятий и услуг.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, искусственный интеллект, 3D-скан, нейронные сети, проектирование протезов, приемная гильза, обработка образа, архитектура модели

*Для корреспонденции: Суфэльфа Алиса Родионовна, e-mail: sufelfick@gmail.com

*For correspondence: Alisa R. Sufelfa, e-mail: sufelfick@gmail.com

© Авторы, 2025. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации. Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа» в соответствии с лицензией CC BY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при указании автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru>

Для цитирования: Суфэльфа А. Р., Бобкович К. А., Фогт Е. В., Черникова М. В. Архитектура модели нейронной сети обработки 3D-образа для цифрового автоматизированного проектирования приемной гильзы протеза голени: проспективное исследование // *Морская медицина*. 2025. Т. 11, № 2. С. 111–117,

doi: <https://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2025-11-3-111-117>; EDN: <https://eLibrary.ru/NZUNXT>

For citation: Sufelfa A.R., Bobkovich K.A., Fogt E.V., Chernikova M.V. Architecture of neural network model for 3D image processing for digital automated design of receptor sleeve for shin prosthesis: prospective study // *Marine Medicine*. 2025. Vol. 11, № 2. P. 111–117, doi: <https://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2025-11-3-111-117>; EDN: <https://eLibrary.ru/NZUNXT>

ARCHITECTURE OF NEURAL NETWORK MODEL FOR 3D IMAGE PROCESSING FOR DIGITAL AUTOMATED DESIGN OF RECEPTOR SLEEVE FOR SHIN PROSTHESIS: PROSPECTIVE STUDY

¹Alisa R. Sufelfa*, ^{1,2}Ksenia A. Bobkovich, ^{1,2}Elizaveta V. Fogt, ^{1,2}Marina V. Chernikova

¹Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation, Saint Petersburg, Russia

²Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, Saint Petersburg, Russia

INTRODUCTION. The demand for lower limb prostheses is growing every year, and improving the technological processes involved in their manufacture is an important technical challenge that could solve the medical and social problem of providing prosthetic and orthopedic devices to those in need.

OBJECTIVE. Develop the architecture of a neural network model for processing 3D scans of limb stumps for the digital automated design of individual prosthetic socket shells for the lower leg using artificial intelligence (AI) technologies.

MATERIALS AND METHODS. 3D scans of lower leg stumps and the inner surfaces of prosthetic sockets. Software for analyzing and processing data using neural networks. Python programming language (Netherlands, Opensource) and MeshLab modeling environment (Italy, Opensource). Identification of key features and creation of a dataset for the design of individual lower leg prosthesis modules. Development of a neural network model architecture for the digital automated design of individual lower leg prosthesis sockets based on a scan of the patient's stump and prediction of load and unload areas when using the prosthesis.

RESULTS. The architecture of a neural network model for processing 3D scans of stumps has been developed for the digital automated design of prosthetic lower leg socket receptacles. Data sets have been formed, including 3D scans of stumps and characteristics of the inner surfaces of sleeves. The prototype system allows predicting areas of load and unload inside the sleeve, taking into account the individual characteristics of the patient, based on a three-dimensional scan of their amputated limb.

DISCUSSION. The use of artificial intelligence (AI) technologies for processing 3D scans of the stump offers significant advantages: reduction in the manufacturing time of individual modules (receiving sleeves) for prosthetic limbs without compromising quality; automation of manual labor, reduction of human error, and increased accuracy in the design of prosthetic sockets; increased efficiency in providing prosthetic limbs to people with disabilities and ensuring comfort when using the product. However, the implementation of such systems requires further research, including model validation on a large volume of data and integration with existing technological processes.

CONCLUSION. The developed architecture of the neural network model for processing 3D scans of stumps significantly reduces the duration of the design process for individual prosthetic socket designs without compromising quality. The use of artificial neural networks accelerates manufacturing and reduces human error. The implementation of the developed model contributes to improving the quality of life of people with amputations, as well as the effectiveness of rehabilitation and prosthetic-orthopedic measures and services.

KEYWORDS: marine medicine, artificial intelligence, 3D scanning, neural networks, prosthesis design, receiving sleeve, image processing, model architecture

Введение. Люди с травмами опорно-двигательного аппарата занимают в структуре инвалидности устойчивое 2-е место после черепно-мозговой травмы и составляют не менее 39,6 % от общего числа травм (Щербина К. К., 2022). Согласно данным Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, в 2023 г. в протезах нижних конечностей нуждаются 72 309 россиян, что на 40 %

больше, чем в 2022 г. Кроме того, в 2024 г. на учете в Фонде социального и пенсионного страхования Российской Федерации в технических средствах реабилитации, в том числе протезах нижних конечностей, нуждались более 466 тыс. инвалидов. За 2023 г. это число увеличилось почти на 42 %, или на 137 тыс. человек, что стало рекордным ростом за все время (рис. 1).

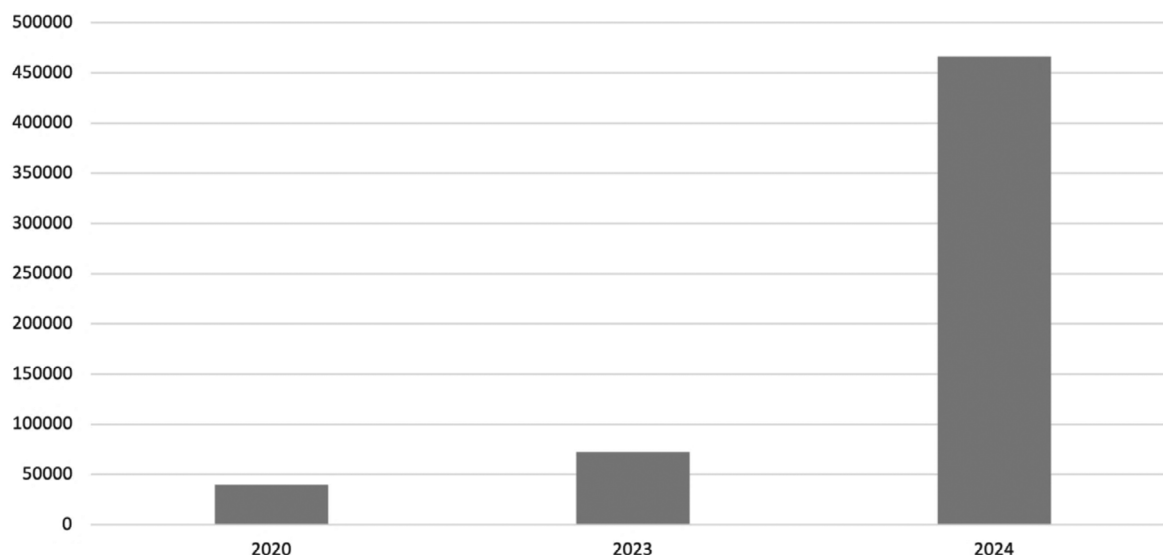


Рис. 1. Лица, нуждающиеся в протезах с 2020 по 2024 г.

Fig. 1. Individuals in need of prosthetics from 2020 to 2024

Актуальность применения современных технологий в медико-психологической и физической реабилитации подтверждается рядом исследований [1, 2]. Такой подход открывает новые перспективы для работы специалистов и улучшения качества жизни пациентов за счет автоматизации производственных процессов и оптимизации реабилитационных мероприятий и услуг.

Разработка интеллектуальных систем на основе анализа больших данных позволяет повысить точность диагностики, оптимизировать процессы реабилитации и абилитации инвалидов [3]. Одним из таких направлений является цифровое автоматизированное проектирование протезно-ортопедических изделий, в частности, индивидуальных приемных гильз протезов голени.

Использование технологий искусственного интеллекта (ИИ) в проектировании индивидуальных приемных гильз позволяет не только автоматизировать процессы, ранее выполнявшиеся вручную, но и значительно повысить точность и адаптивность конечного изделия [4]. Это достигается за счет применения алгоритмов машинного обучения и анализа 3D-сканов, которые позволяют прогнозировать распределение нагрузок и разгрузок при использовании приемной гильзы, учитывая индивидуальные анатомо-функциональные особенности пациента [5]. Поскольку индивидуальная приемная гильза протеза конечности должна соответ-

ствовать не форме отсканированной в расслабленном положении культы, а форме культы под нагрузкой веса пациента и с учетом изменения параметров мышц нижней конечности в движении, то формирование соответствующей приемной гильзы – индивидуальная и сложная задача.

С увеличением числа лиц с ампутациями нижних конечностей растет потребность в индивидуальных протезно-ортопедических изделиях (ПОИ) и специалистах, которые занимаются их изготовлением. Однако при ручном изготовлении ПОИ, даже с использованием цифровых технологий, выдача изделий инвалидам зачастую задерживается. Кроме того, в отличие от протезов бедра, для протезов голени необходимы индивидуально проектируемые приемные гильзы из-за более анатомически сложной структуры голени. Также автоматизация процессов проектирования и изготовления протезов способствует сокращению времени и затрат на производство, что особенно актуально в условиях растущего спроса на такие изделия [6].

Научная значимость исследования заключается в интеграции методов обработки 3D-сканов и технологий ИИ для создания архитектуры модели нейронной сети обработки образа 3D-скана культы голени и приемной гильзы протеза. Практическая ценность работы состоит в разработке архитектуры и дальнейшем проектировании программного модуля,

который обеспечит высокую точность, повторяемость в работе и сокращение продолжительности автоматизированного проектирования приемных гильз протеза голени, учитывающих индивидуальные анатомические особенности пациентов.

Цель. Разработать архитектуру модели нейронной сети обработки образа 3D-скана культи конечности для цифрового автоматизированного проектирования индивидуальной приемной гильзы протеза голени с использованием технологий ИИ.

Результаты. Разработанная архитектура модели нейросети для автоматизированной обработки образа (скана) культи конечности состоит из входного слоя, блока извлечения признаков и сегментации, прогнозирующего блока (рис. 2, 3).

Обсуждение. Входной слой представляет собой множество точек формата Point Cloud, где производится нормализация и масштабирование данных. В блоке извлечения признаков и сегментации для 3D-модели обрабатываются входные данные, чтобы выделить ключевые признаки и преобразовать их в форму, удобную для дальнейшей обработки. Этот блок состоит из комбинации свёрточных слоев, пулов нормализации и активации, которые помогают обнаруживать локальные и глобальные зависимости в данных. Для обработки образа 3D-данных основная задача извлечения признаков — преобразование входных данных в компактные представления, которые сохраняют информа-

цию о форме, структуре и взаимных отношениях точек и граней. Облако точек можно представить с помощью формулы:

$$P = \{p_i \in R^3 | i = 1, \dots, N\},$$

где N — количество точек.

Для извлечения локальных признаков используются 3D-свёртки:

$$f_{l+1}(x, y, z) = \sigma \left(\sum_{k_x, k_y, k_z} W_l(k_x, k_y, k_z) \cdot f_l(x - k_x, y - k_y, z - k_z) + b_l \right),$$

где f_l — входные признаки на l -м уровне, W_l — ядро свёртки, σ — функция активации ReLU.

Слои нормализации (Batch Norm, Layer Norm) используют для стабилизации обучения и ускорения сходимости. На этапе сегментации происходит разметка каждой точки на основе извлеченных признаков. Блок извлечения признаков обрабатывает 3D-сканы культей голени, чтобы выделить ключевую информацию о структуре и форме образа, а блок сегментации преобразует эти признаки в предсказания на уровне точек. Для математической формализации были использованы свёртки MLP, агрегирующие функции, а также слои классификации.

Блок прогнозирования в разработанной нейронной сети отвечает за интерпретацию высокоуровневых признаков, извлеченных в предыдущих блоках, и выдачу конечных результатов. В контексте системы обработки образа для автоматизированного проектирования приемной гильзы протеза голени прогнозирующий блок может выполнять следующие задачи:

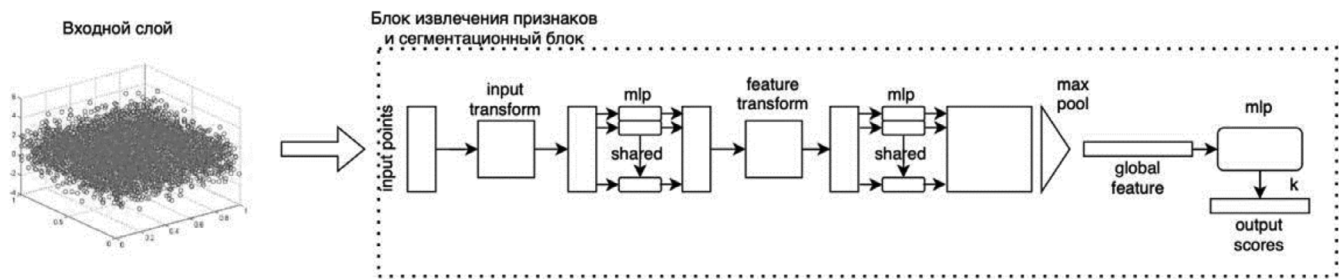


Рис. 2. Архитектура разработанной модели.

Input points — облако точек на входе; input transform — входное преобразование; mlp — многослойный перцептрон; shared — одинаковые параметры точек; feature transform — признаки преобразования; max pool — уменьшение пространственных размеров карт признаков; global feature — глобальные признаки; k — количество классов; output scores — выходные значения

Fig. 2. Architecture of the developed model.

Input points — cloud of points at the input; input transform — input transformation; mlp — multilayer perceptron; shared — identical parameters of points; feature transform — transformation features; max pool — reduction of spatial dimensions of feature maps; global feature — global features; k — number of classes; output scores — output values

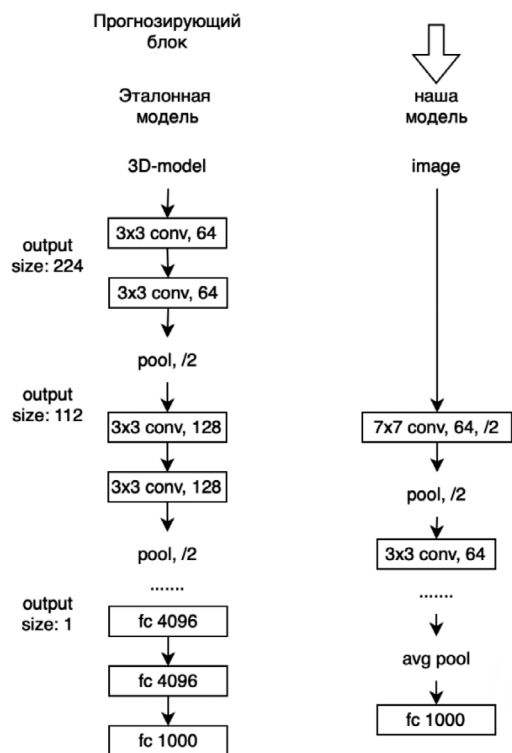


Рис. 3. Функциональная схема архитектуры разработанной модели.

3D model – 3D-скан культи конечности; conv – операция свертки; output size – размер на выходе; pool – операция пулинга; fc – полносвязный слой; avg pool – уменьшение размера карт признаков

Fig.3. Functional diagram of the architecture of the developed model.

3D model – 3D scan of the limb stump; conv – convolution operation; output size – output size; pool – pooling operation; fc – fully connected layer; avg pool – reducing the size of feature maps

1. Определение геометрических параметров (размеров, контуров и формы гильзы) на основе 3D-модели;
 2. Автоматизация определения анатомических ориентиров (торца, коленной чашечки).
 3. Классификация и регрессия для предсказания параметров, определение областей нагрузки разгрузки (собственной связки надколенника, мышечков).
- Далее было произведено сравнение 3D-скана культи и 3D-модели приемной гильзы (внутренней поверхности). Прогнозирующий блок преобразует признаки в параметры, описывающие форму гильзы, которые включают:
- размеры (например, диаметр, высоту, радиусы кривизны);

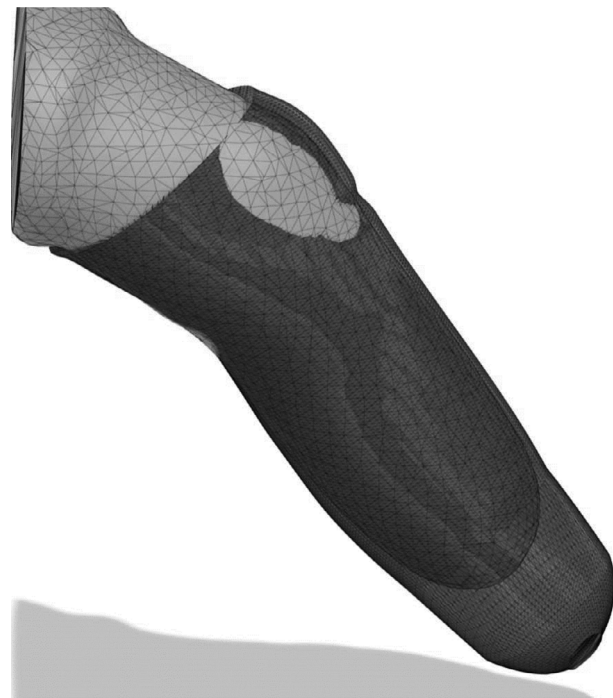


Рис. 4. 3D-модель совмещенных скана и приемной гильзы протеза

Fig.4. 3D model of the combined scan and the prosthetic socket

- пространственную ориентацию и степень прилегания к областям разгрузки и нагрузки. На рис. 4 приведен пример сравнения 3D-скана культи и 3D-модели приемной гильзы протеза голени.

При анализе полученных параметров были определены вероятности классов, описывающие тип формы или адаптации, а также регрессионные значения пересечений областей 3D-форм. Основные изменения затрагивают зоны мышечков и торца культи: в части увеличения объема внутри приемной гильзы протеза для разгрузки и область собственной связки надколенника для ее нагрузки. Итоговый прогноз учитывает трехмерную природу входных данных. Блок прогнозирования состоит из нескольких полносвязных слоев (Fully Connected Layers, fc), которые интерпретируют сжатые признаки. Его задача — преобразовать вектор признаков f_{feat} , полученный в предыдущих слоях, в целевые параметры.

1. Полносвязный слой

Полносвязные слои преобразуют признаки в выходное пространство:

$$f^{(l+1)} = \sigma(W^{(l)}f^{(l)} + b^{(l)}),$$

где $f^{(l)}$ — входные признаки на уровне l ; $W^{(l)}$ — матрица весов; $b^{(l)}$ — вектор смещений; σ — функция активации (ReLU или Tanh).

2. Регрессия параметров

Для задачи предсказания параметров формы гильзы последний слой сети может быть линейным:

$$\hat{y} = W_{out} f_{feat} + b_{out},$$

где $\hat{y}$ — предсказанные параметры (например, радиусы, углы, толщины); $W_{out} + b_{out}$ — массы и смещение выходного слоя.

3. Классификация

Для задачи классификации формы или типа гильзы применяется функция Softmax:

$$\hat{y}_i = \frac{\exp(z_i)}{\sum_{j=1}^C \exp(z_j)},$$

где z_i — активации для класса i ; C — общее количество классов.

Архитектура модели прогнозирующего блока может состоять из полносвязных слоев с регрессией для определения параметров формы и типа гильзы. Разработанный блок прогнозирования интерпретирует высокоуровневые признаки, полученные на этапе извлечения и сегментации, и преобразует их в параметры, необходимые для обработки образа и автомати-

зации проектирования индивидуальной приемной гильзы протеза.

Заключение. Проведенное исследование показало преимущества разработанной модели нейронной сети для автоматизированной цифровой обработки образа при цифровом проектировании индивидуальной приемной гильзы протеза голени. Предложенный подход сочетает методы 3D-сканирования, машинного обучения и цифрового проектирования, что позволяет автоматизировать процесс изготовления индивидуальной приемной гильзы, обеспечивая кратное сокращение продолжительности, без ущерба качества. Разработанная модель не только ускоряет процесс разработки, но и открывает новые перспективы для персонализированной реабилитации пациентов с ампутациями. Применение искусственных нейронных сетей обеспечивает ускорение изготовления и снижение ошибок человеческого фактора. Внедрение разработанной модели способствует повышению качества жизни людей с ампутациями, а также эффективности реабилитационных мероприятий и услуг.

Сведения об авторах.

Суфельфа Алиса Родионовна – руководитель лаборатории инновационных и реабилитационно-экспертных технологий, Федеральный научно-образовательный центр медико-социальной экспертизы и реабилитации им. Г. А. Альбрехта Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации; Россия, 195067, Санкт-Петербург, ул. Бестужевская, д. 50; SPIN: 7256-4255; ORCID: 0000-0001-5672-7290; e-mail: sufelfick@gmail.com

Бобкович Ксения Андреевна – лаборант-исследователь лаборатории инновационных и реабилитационно-экспертных технологий, Федеральный научно-образовательный центр медико-социальной экспертизы и реабилитации им. Г.А. Альбрехта Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации; Россия, 195067, Санкт-Петербург, ул. Бестужевская, д. 50; студент, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина); Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5; e-mail: bbkvch@mail.ru

Фогт Елизавета Владимировна – руководитель отдела биомеханических исследований опорно-двигательной системы, Федеральный научно-образовательный центр медико-социальной экспертизы и реабилитации им. Г. А. Альбрехта Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации; Россия, 195067, Санкт-Петербург, ул. Бестужевская, д. 50; аспирант кафедры БТС, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина); 197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5; SPIN: 6098-7258; ORCID: 0000-0002-1017-6179; e-mail: fogtlisbet11@yandex.ru

Черникова Марина Владимировна – руководитель проектно-конструкторского отдела, Федеральный научно-образовательный центр медико-социальной экспертизы и реабилитации им. Г. А. Альбрехта Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации; Россия, 195067, Санкт-Петербург, ул. Бестужевская, д. 50; аспирант кафедры АПУ, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина); Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5; SPIN: 2566-4087; ORCID: 0000-0002-3881-7521; e-mail: chernikovamarina-vl@gmail.com

Information about the authors.

Alisa R. Sufelfa – Head of the Laboratory of Innovative, Rehabilitation and Expert Technologies in the Institute of Prosthetics and Orthotics, Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation; Russia, 195067, Saint Petersburg, Bestuzhevskaya Str., 50; SPIN: 7256-4255; ORCID: 0000-0001-5672-7290; e-mail: sufelfick@gmail.com

Kseniya A. Bobkovich – Laboratory Researcher of the Laboratory of Innovative, Rehabilitation and Expert Technologies, Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation; Russia, 195067, Saint Petersburg, Bestuzhevskaya Str., 50; student of BTS department, Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”; Russia, 197022, Saint Petersburg, Professor Popov Str., 5; e-mail: bbkvch@mail.ru

Elizaveta V. Fogt – Head of the Biomechanical research of musculoskeletal system department, Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation of the Ministry of Labor and Social Protection of

the Russian Federation; Russia, 195067, Saint Petersburg, Bestuzhevskaya Str., 50; PhD student of Biomedical engineering department, Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"; Russia, 197022, Saint Petersburg, Professor Popov Str., 5; SPIN: 6098-7258; ORCID: 0000-0002-1017-6179; e-mail: fogtlistbet11@yandex.ru

Marina V. Chernikova – Head of the Design and engineering department, Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation; Russia, 195067, Saint Petersburg, Bestuzhevskaya Str., 50; PhD student of Automation and processing department, Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"; Russia, 197022, Saint Petersburg, Professor Popov Str., 5; SPIN: 2566-4087; ORCID: 0000-0002-3881-7521; e-mail: chernikovamarinavl@gmail.com

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом. Концепция и план исследования – А. Р. Суфэльфа, Е. В. Фогт, М. В. Черникова. Обработка полученного материала – К. А. Бобкович, А. Р. Суфэльфа. Подготовка рукописи – А. Р. Суфэльфа, К. А. Бобкович, Е. В. Фогт, М. В. Черникова.

Author contribution. All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

Special contribution: ARS, EVF, MVCh contribution to the concept and plan of the study. KAB, ARS contribution to data collection. ARS, KAB, EVF, MVCh contribution to the preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Соответствие принципам этики: Одобрение этического комитета не требовалось. Каждый респондент (испытуемый) дал добровольное согласие на обработку своих персональных данных в ходе проводимого исследования.

Adherence to ethical standards: The approval of the ethics committee was not required. Each respondent (subject) gave voluntary consent to the processing of their personal data during the study.

Финансирование: исследование проведено без дополнительного финансирования.

Funding: the study was carried out without additional funding.

Поступила/Received: 16.02.2025

Принята к печати/Accepted: 15.09.2025

Опубликована/Published: 30.09.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Пономаренко Г. Н. Физическая и реабилитационная медицина: фундаментальные основы и клиническая практика // *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2016. Т. 15, № 6. С. 284–289 [Ponomarenko G. N. Physical and rehabilitation medicine: fundamental principles and clinical practice. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*, 2016, Vol. 15, No. 6, pp. 284–289 (In Russ.)].
2. Пономаренко Г. Н. Восстановительная медицина: фундаментальные основы и перспективы развития // *Физическая и реабилитационная медицина*. 2022. Т. 4, № 1. С. 8–20 [Ponomarenko G. N. Restorative medicine: fundamental principles and prospects for development *Physical and rehabilitation medicine*, 2022, Vol. 4, No. 1, pp. 8–20 (In Russ.)].
3. Пономаренко Г. Н. и др. Медицинская реабилитация: состояние отечественного потока научных публикаций // *Менеджер здравоохранения*. 2020. № 7. С. 53–59 [Ponomarenko G. N., et al. Medical rehabilitation: the state of the domestic flow of scientific publications. *The health care manager*, 2020, No. 7, pp. 53–59 (In Russ.)].
4. Суфэльфа А. Р., Каплун Д. И., Черникова М. В. Исследование набора исходных данных для разработки системы поддержки принятия решений подбора индивидуальной приемной гильзы протеза голени // *Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах*. ФГАОУ ВО СПбГЭТУ ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, 21–23 сентября 2021 года. 2021. Т. 1. С. 89–91 [Sufelfa A. R., Kaplun D. I., Chernikova M. V. A study of a set of initial data for the development of a decision support system for the selection of an individual replacement sleeve for a prosthetic leg. *All-Russian Scientific Conference on management problems in Technical Systems*. V. I. Ulyanov (Lenin) St. Petersburg State Pedagogical University. St. Petersburg, September 21–23, 2021. 2021, Vol. 1, pp. 89–91 (In Russ.)].
5. Varrecchia T., et al. Common and specific gait patterns in people with varying anatomical levels of lower limb amputation and different prosthetic components. *Human movement science*, 2019, T. 66, C. 9–21.
6. Alrasheedi N. H., Ben Makhlof A., Louhichi B., Tlija M., Hajlaoui K. Customized Orthosis Design Based on Surface Reconstruction from 3D-Scanned Points. *Prosthesis*, 2024, 6(1), 93–106.