

## СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ 3D-ПЕЧАТНЫХ ПРИЕМНЫХ ГИЛЬЗ ПРОТЕЗОВ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ДЛЯ ПРОТЕЗИРОВАНИЯ ПОСЛЕ БОЕВОЙ ТРАВМЫ

Головин М.А.<sup>1,2</sup>, Клименко Ф.Н.<sup>1</sup>, Петраускас М.В.<sup>1</sup>, Амировас С.<sup>1</sup>, Утехина Е.А.<sup>1</sup>, Щербина К.К.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный научно-образовательный центр медико-социальной экспертизы и реабилитации им. Г.А. Альбрехта, ул. Бестужевская, д. 50, Санкт-Петербург, 195067, Российская Федерация

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, д.29 литера Б, Санкт-Петербург, 195251, Российская Федерация

### Резюме

**Введение.** Приемная гильза протеза изготавливается по индивидуальным параметрам пользователя и является самым важным элементом протеза. Она предназначена для размещения культи и в процессе ходьбы подвергается различным нагрузочным воздействиям. Первичную оценку надежности узлов протезов на стойкость к случайному серьезному событию, при котором узел способен выполнять назначенную функцию (проверочная прочность), а также к значительному единичному событию, после воздействия которого узел может стать непригодным к дальнейшему использованию (предельная прочность), проводят под воздействием статических испытательных нагрузок

**Цель.** Провести статические испытания образцов на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 10328-2021.

**Материалы и методы.** Было испытано 10 образцов из ПЭТГ и PLA, изготовленных методом экструзии, с разными типами креплений. Испытания включали статическое нагружение и кручение.

**Результаты.** Результаты испытаний показали, что все образцы прошли основные статические испытания на проверочную прочность, предельную прочность. Пять образцов разрушилось в области перехода доньшка в стенку, один – в области доньшка. Шесть образцов были разрушены в ходе испытания на предельную прочность, характер разрушения соответствует хрупкому разрушению. Три образца выдержали предельное нагружение при двух различных условиях нагружения (на носок и на пятку), после чего 2 были испытаны на кручение и также успешно выдержали испытания.

**Обсуждение.** Результаты подтверждают соответствие стандартам и достаточный запас прочности гильз, изготовленных аддитивными методами.

**Заключение.** Все образцы приемных гильз выдержали основные испытания, что доказывает возможность применения приемных гильз протезов нижних конечностей, изготовленных аддитивным методом как при лечебно-тренировочном, так и при постоянном протезировании, в том числе после боевой травмы.

**Ключевые слова:** реабилитация, протез, приемная гильза протеза, статические испытания.

Головин М.А., Клименко Ф.Н., Петраускас М.В., Амировас С., Утехина Е.А., Щербина К.К. Статические испытания 3D-печатных приемных гильз протезов нижних конечностей для протезирования после боевой травмы // Физическая и реабилитационная медицина. – 2025. – Т. 7. – № 3. – С. 94-100. DOI: 10.26211/2658-4522-2025-7-3-94-100.

Golovin MA, Klimenko FN, Petrauskas MV, Amirovas S, Utehina EA, Shcherbina KK. Staticheskie ispytaniya 3D-pechatnyh priemnyh gil'z protezov nizhnih konechnostej dlja protezirovaniya posle boevoj travmy [Static tests of 3D-printed sockets of lower limb prosthetic sockets for combat trauma prosthetics]. Fizicheskaya i reabilitacionnaya medicina [Physical and Rehabilitation Medicine]. 2025;7(3):94-100. DOI: 10.26211/2658-4522-2025-7-3-94-100. (In Russian).

Михаил Андреевич Головин / Mikhail A. Golovin; e-mail: golovin@center-albreht.ru

# STATIC TESTS OF 3D-PRINTED SOCKETS OF LOWER LIMB PROSTHETIC SOCKETS FOR COMBAT TRAUMA PROSTHETICS

Golovin MA<sup>1,2</sup>, Klimenko FN<sup>1</sup>, Petrauskas MV<sup>1</sup>, Amirovas S<sup>1</sup>, Utekhina EA<sup>1</sup>, Shcherbina KK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation,  
50 Bestuzhevskaya Street, 195067 St. Petersburg, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
29B Politehnicheskay Street, 195251 St. Petersburg, Russian Federation*

## Abstract

**Introduction.** The prosthetic socket is made according to the individual parameters of the user and is the most important element of the prosthesis. It is designed to accommodate the stump and is subjected to various stress effects during walking. The primary assessment of the reliability of prosthetic assemblies for resistance to an accidental serious event in which the assembly is able to perform its intended function (test strength), as well as to a significant single event, after which the assembly may become unusable for further use (ultimate strength), is carried out under the influence of static test loads

**Aim.** To carry out static tests of samples for compliance with the requirements of GOST R ISO 10328-2021.

**Materials and methods.** 10 extrusion-made PETG and PLA samples with different types of fasteners were tested. The tests included static loading and torsion.

**Results.** The test results showed that all samples passed basic static tests for test strength and ultimate strength. Five samples collapsed in the area of the transition from the bottom to the wall, one in the area of the bottom. Six samples were destroyed during the ultimate strength test, the nature of the destruction corresponds to brittle fracture. Three samples withstood extreme loading under two different loading conditions (on the toe and on the heel), after which 2 were tested for torsion and also successfully passed the tests.

**Discussion.** The results confirm compliance with the standards and a sufficient margin of safety for sleeves made by additive methods.

**Conclusion.** All samples of the prosthetic socket have passed the basic tests, which proves the possibility of using the prosthetic sockets of lower limb prostheses made by the additive method for both medical and training and permanent prosthetics, including after a combat injury.

**Keywords:** rehabilitation, prosthesis, prosthesis socket, static tests.

**Publication ethics.** The submitted article was not previously published.

**Conflict of interest.** There is no information about a conflict of interest.

**Source of financing.** The study had no sponsorship.

Received: 17.08.2025

Accepted for publication: 15.09.2025

## Введение / Introduction

Изготовление протезно-ортопедических изделий (ПОИ) по технологии 3D-печати становится все более распространенным и широко применяется в практике ФГБУ ФНОЦ МСЭ и Р им. Г.А. Альбрехта Минтруда России при протезировании после боевой травмы. Аддитивные технологии применяются в изготовлении узлов стоп – для повышения эксплуатационных характеристик [1], регулировочно-соединительных устройств (РСУ) – для внедрения новых способов крепления протезов [2], приемных гильз протезов (ПГ) для их дистанционного изготовления [3].

Приемная гильза протеза изготавливается по индивидуальным параметрам пользователя и является самым важным элементом протеза. Она предназначена для размещения культи и в процессе ходьбы подвергается различным нагрузочным воздействиям. Гарантию качества на приемную гильзу протеза с индивидуальными параметрами изготовления несет изготовитель протеза. На практике поставщиком узлов для технических средств реабилитации (ТСР) может являться

любое юридическое или физическое лицо независимо от наличия опыта работы или уровня квалификации [4], а на продукцию не требуются в обязательном порядке документы о соответствии [5]. Именно поэтому важно гарантировать и обеспечить безопасность и надежность наиболее важного узла протеза.

Первичную оценку надежности узлов протезов на стойкость к случайному серьезному событию, при котором узел способен выполнять назначенную функцию (проверочная прочность), а также к значительному единичному событию, после воздействия которого узел может стать непригодным к дальнейшему использованию (предельная прочность), проводят под воздействием статических испытательных нагрузок [6].

## Цель / Aim

Цель работы: проведение статических испытаний образцов приемных гильз протезов нижних конечностей, изготовленных по технологии экструзии из сопла, на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 10328-2021.

**Материалы и методы / Materials and methods**

В ходе исследования были испытаны 10 образцов частичной конструкции протеза нижней конечности (табл. 1). Образец состоял из имитатора приемной гильзы протеза [7], смоделированного в САПР Компас3D, Россия, и изготовленного по аддитивному технологическому процессу экструзии из сопла, и серийного крепления. Девять образцов изготовлены на 3D-принтере Raise3D Pro2 Plus, материал ПЭТГ, из них восемь – транстибиальных, один – трансфеморальный; один транстибиальный образец – по технологии FGF (табл. 1). На приемные гильзы были установлены разные типы крепления: закладные элементы (3 образца), фланцевый адаптер (3 образца), 5R6 (Ottobock) (4 образца). Для креплений

с помощью закладных элементов и диска моделировали плоское дно, для крепления 5R6 – конгруэнтные поверхности.

В ходе испытаний крепление образца к нижнему удлинителю и удлинителей к нагрузочным рычагам производилось с использованием стандартных РСУ. Крепление приемной гильзы к верхнему удлинителю производилось жестко с помощью гипса (с использованием армирующих элементов для предотвращения прокручивания) в соответствии с ГОСТ 10328, при этом дистальный участок приемной гильзы (3-5 см) заполнен мягким материалом, чтобы свободно деформироваться под нагрузкой. Высота между точками приложения нагрузки составила 650 мм для образцов №1-9 и 605 мм – для образца №10.

Таблица 1 / Table 1

**Образцы для испытаний / Test samples**

| №  | Тип образца /<br>Sample type | Толщина<br>стенки, мм /<br>Wall thickness,<br>mm | Материал /<br>Material | Метод<br>изготовления /<br>Manufacturing<br>method | Крепление /<br>Bracing | Уровень нагрузки и<br>условие нагружения<br>/ Load level and<br>loading condition |
|----|------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | ПГ голени                    | 3,0                                              | Pet-G                  | FDM                                                | Закладные<br>элементы  | P3-I<br>P3-II                                                                     |
| 2  | ПГ голени                    | 3,5                                              | Pet-G                  | FDM                                                | Закладные<br>элементы  | P5-II                                                                             |
| 3  | ПГ голени                    | 4,0                                              | Pet-G                  | FDM                                                | фланцевый<br>адаптер   | P5-II                                                                             |
| 4  | ПГ голени                    | 4,5                                              | Pet-G                  | FDM                                                | Закладные<br>элементы  | P5-II                                                                             |
| 5  | ПГ голени                    | 5,0                                              | Pet-G                  | FDM                                                | фланцевый<br>адаптер   | P5-II<br>P5-I                                                                     |
| 6  | ПГ голени № 1                | 4,8                                              | Pet-G                  | FDM                                                | 5R6                    | P5-II                                                                             |
| 7  | ПГ голени № 2                | 4,8                                              | Pet-G                  | FDM                                                | 5R6                    | P5-II                                                                             |
| 8  | ПГ голени № 3                | 4,8                                              | Pet-G                  | FDM                                                | 5R6                    | P5-II<br>P5-I                                                                     |
| 9  | ПГ голени                    | 4,4                                              | PLA-37                 | FGF                                                | фланцевый<br>адаптер   | P5-II                                                                             |
| 10 | ПГ бедра                     | 4,8                                              | Pet-G                  | FDM                                                | 5R6                    | P5-II                                                                             |

В качестве удлинителей планировалось использовать стандартные несущие модули разных производителей. В ходе испытаний было выявлено, что они не только не выдерживают запас прочности, равный 20 %, но и деформируются после преодоления значения нагрузки  $F_{su, lower level}$ . Далее использовали специальные удлинители, которые позволили установить, что стандартные РСУ имеют необходимый запас прочности.

Испытания проводились в лаборатории испытаний и экспертизы протезно-ортопедических изделий ФГБУ ФНОЦ МСЭ и Р им. Г. А. Альбрехта Минтруда России. В качестве испытательного оборудования использовали Модуль статических испытаний протеза нижней конечности в частичной конструкции, замков коленных узлов, тазобедренного узла и Модуль статических и циклических испытаний на кручение протеза нижней конечности в частичной конструкции, ООО «НПО Техобеспечение» (рис. 1).



а) линейное нагружение / lineal loading



б) испытание на кручение / torsion test

**Рисунок 1.** Испытания образцов**Figure 1.** Sample testing

Статические испытания проводились по ГОСТ Р ИСО 10328. Значения испытательных сил представлены в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

**Значения испытательных сил при статических испытаниях / Values of test forces in static tests**

| Вид испытания / Test type                        | Испытательная нагрузка / Test load                                  | Уровень нагрузки / Load level |      |      |      |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|
|                                                  |                                                                     | P5                            |      | P3   |      |
|                                                  |                                                                     | I                             | II   | I    | II   |
| Основное статическое испытание                   | Проверочная испытательная сила $F_{sp}$ , Н                         | 1024                          | 920  | 736  | 638  |
|                                                  | Предельная статическая испытательная сила $F_{su}$ , lower level, Н | 3360                          | 3019 | 2415 | 2092 |
|                                                  | Предельная статическая испытательная сила $F_{su}$ , upper level, Н | 4480                          | 4025 | 3220 | 2790 |
| Дополнительное статическое испытание на кручение | Максимальный крутящий момент $Mu_{max}$ , Нм                        | 50                            |      |      |      |

### Результаты / Results

Образец №1 испытывали на уровне нагружения P3, остальные образцы №№ 2-10 - на уровне нагружения P5 (табл. 3). Все образцы выдержали основные статические проверочные испытания на прочность, а значения максимальной остаточной деформации соответствовали контрольному значению: не более 5 мм для образцов длиной 650 мм и 4,65 мм - при длине 605 мм.

Результаты основных статических испытаний на предельную прочность оказались следующими. Все образцы выдержали основное статическое испытание на предельную прочность при соответствующих уровнях нагрузки и II условия нагружения. Шесть образцов были разрушены

в ходе испытания на предельную прочность: 5 разрушились в области перехода доньшка в стенку, один - в области доньшка. Образцы №№ 1, 5, 8, 10 выдержали испытание без разрушений. Образцы №№ 1, 5, 8, 10 также выдержали предельное статическое испытание без разрушений на соответствующих уровнях нагрузки и условии нагружения I.

Два образца, № 5 и № 8, после испытаний на предельную прочность, подвергли дополнительному статическому испытанию на кручение с приложением крутящего момента 50 Н\*м в каждом из двух направлений вращения с выдержкой под нагрузкой по 30 с. Оба образца успешно выдержали испытание.

Таблица 3 / Table 3

**Результаты испытаний образцов на уровне нагружения P5 / The test results of the samples at the loading level P5**

| №  | Условия нагружения и испытательные силы при уровне нагружения P5 (в скобках приведены усилия разрушения образцов) / Loading conditions and test forces at loading level P5 (the fracture forces of the samples are shown in parentheses) |                        |     |         |                        |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----|---------|------------------------|
|    | I                                                                                                                                                                                                                                        |                        | II  |         |                        |
|    | Fsp                                                                                                                                                                                                                                      | Fsu ul                 | Fsp | Fsu ll  | Fsu ul                 |
| 2  |                                                                                                                                                                                                                                          |                        | +   | +(3150) |                        |
| 3  |                                                                                                                                                                                                                                          |                        | +   |         | +(3400)                |
| 4  |                                                                                                                                                                                                                                          |                        | +   |         | +(3300)                |
| 5  | +                                                                                                                                                                                                                                        | +(4480 без разрушения) | +   |         | +(4025 без разрушения) |
| 6  |                                                                                                                                                                                                                                          |                        | +   | +(3200) |                        |
| 7  |                                                                                                                                                                                                                                          |                        | +   | +(3060) |                        |
| 8  | +                                                                                                                                                                                                                                        | +(4480 без разрушения) | +   |         | +(4025 без разрушения) |
| 9  |                                                                                                                                                                                                                                          |                        | +   | +(3300) |                        |
| 10 | +                                                                                                                                                                                                                                        | +(4480 без разрушения) | +   |         | +(4025 без разрушения) |

**Обсуждение / Discussion**

Проведенные статические испытания приемных гильз протезов нижних конечностей, изготовленных методом аддитивной технологии экструзии из сопла, продемонстрировали высокую степень соответствия требованиям ГОСТ Р ИСО 10328-2021 и ГОСТ 70136-2022. Все образцы успешно выдержали основные статические испытания на проверочную прочность, что свидетельствует о надежности конструкции при стандартных нагрузках, возникающих в процессе эксплуатации протеза. Это особенно важно для изделий, предназначенных для реабилитации после боевой травмы, когда прочность и безопасность протеза критичны для пользователя.

Выявленные случаи разрушения в области перехода доньшка в стенку у пяти образцов и в области доньшка у одного образца при испытаниях на предельную прочность отражают характер хрупкого разрушения, присущий материалам типа ПЭТГ и процессу печати FDM. Тем не менее, тот факт, что четыре образца (в том числе с разными типами крепления) выдержали предельные нагрузки без разрушений, указывает на достаточный запас прочности и правильный выбор толщины стенок и конструкции гильз.

Испытания на кручение образцов №5 и №8, прошедших статические нагрузки, подтвердили способность приемных гильз сохранять структурную целостность при многократных циклах нагрузок в различных направлениях. Это подчеркивает пригодность аддитивно изготовленных изделий для долговременного использования, что особенно важно при индивидуальном подборе и дистанционном изготовлении протезных компонентов.

**Заключение / Conclusion**

Были проведены основные статические испытания на проверочную и предельную прочность,

а также дополнительные статические испытания на кручение по ГОСТ Р ИСО 10328-2021. Все образцы приемных гильз выдержали основные испытания, что доказывает возможность применения приемных гильз протезов нижних конечностей, изготовленных аддитивным методом как при лечебно-тренировочном, так и при постоянном протезировании, в том числе после боевой травмы.

Прочность приемных гильз, изготовленных аддитивным способом, соответствует ГОСТ 70136-2022.

**Этика публикации.** Представленная статья ранее опубликована не была, все заимствования корректны.

**Конфликт интересов.** Информация о конфликте интересов отсутствует.

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Литература**

- 3D-печать узлов стоп. Доступен по: <https://pt.2035.university/project/dilofozavr>. (дата обращения: 05.12.2024).
- Пономаренко Г.Н., Лещев А.Л., Морозов С.Л. и др. Качество жизни как предмет научных исследований в физиотерапии // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2004. – № 4. – С. 38.
- Черникова М.В., Головин М.А., Янковский В.М. и др. Анализ методик моделирования внутренней поверхности приемных гильз протезов бедра по 3D-скану культы // Медицинская техника. – 2022. – № 6(336). – С. 30-32.
- Пономаренко Г.Н. Концепция трансляционной медицины в физиотерапии и реабилитации // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2014. – № 3. – С. 4-12.

5. Пономаренко Г. Н. Вклад ученых ВМедА в развитие отечественной физиотерапии // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 1998. – № 5. – С. 20-23.
6. ГОСТ Р ИСО 10328-2021. Протезы. Испытания конструкции протезов нижних конечностей. Требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2021. – 126 с.
7. ГОСТ Р ИСО 22523-2007. Протезы конечностей и ортезы наружные. Требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2008. – 63 с.
4. Ponomarenko GN. Kontseptsiya translyatsionnoj meditsiny v fizioterapii i reabilitatsii [The concept of translational medicine in physiotherapy and rehabilitation]. Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya [Physiotherapy, balneology and rehabilitation]. 2014;3:4-12. (In Russian).
5. Ponomarenko GN. Vklad uchenykh VMedA v razvitie otechestvennoj fizioterapii [Contribution of VMedA scientists to the development of domestic physiotherapy]. Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoy kul'tury [Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy]. 1998;5:20-23. (In Russian).
6. GOST R ISO 10328-2021. Protezy. Ispytaniya konstrukcii protezov nizhnih konechnostej. Trebovaniya i metody ispytaniy [Prosthetics. Tests of the design of lower limb prostheses. Requirements and test method]. M.: Standartinform [Moscow: Standartinform], 2021. 126 p. (In Russian).
7. GOST R ISO 22523-2007. Protezy konechnostej i ортезы наружные. Trebovaniya i metody ispytaniy [Prosthetic limbs and external orthoses. Requirements and test methods.]. M.: Standartinform [Moscow: Standartinform], 2008. 63 p. (In Russian).

## References

1. 3D-pechat' uzlov stop [3D printing of foot nodes]. Available at: <https://pt.2035.university/project/dilofozavr>. (accessed 05.12.2024). (In Russian).
2. Ponomarenko GN, Leshchev AL, Morozov SL et al. Kachestvo zhizni kak predmet nauchnykh issledovaniy v fizioterapii [Quality of life as a subject of scientific research in physiotherapy]. Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoy kul'tury [Issues of balneology, physiotherapy and therapeutic physical education]. 2004;4:38.
3. Chernikova MV, Golovin MA, Yankovskii VM et al. Analiz metodik modelirovaniia vnutrennei poverkhnosti priemnykh gil'z protezov bedra po 3D-skanu kul'ti [Analysis of methods for modeling the

Поступила: 17.08.2025  
Принята в печать: 15.09.2025

## Авторы

Головин Михаил Андреевич – руководитель отдела инновационных технологий ТСР Института протезирования и ортезирования, ФГБУ ФНОЦ МСЭ и Р им. Г.А. Альбрехта Минтруда России, Бестужевская ул., 50, Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: [golovin@center-albreht.ru](mailto:golovin@center-albreht.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7063-1284>.

Клименко Федор Николаевич – научный сотрудник отдела инновационных технологий ТСР Института протезирования и ортезирования, ФГБУ ФНОЦ МСЭ и Р им. Г.А. Альбрехта Минтруда России, Бестужевская ул., 50, Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: [reabin@center-albreht.ru](mailto:reabin@center-albreht.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5076-6931>.

Петраускас Марина Владимировна – младший научный сотрудник отдела инновационных технологий ТСР Института протезирования и ортезирования, ФГБУ ФНОЦ МСЭ и Р им. Г.А. Альбрехта Минтруда России, Бестужевская ул., 50, Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: [reabin@center-albreht.ru](mailto:reabin@center-albreht.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9005-6259>.

Амировас Сергеус – младший научный сотрудник отдела инновационных технологий ТСР Института протезирования и ортезирования, ФГБУ ФНОЦ МСЭ и Р им. Г.А. Альбрехта Минтруда России, Бестужевская ул., 50, Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: [reabin@center-albreht.ru](mailto:reabin@center-albreht.ru).

Утехина Екатерина Александровна – технический руководитель Лаборатории испытаний и экспертизы протезно-ортопедических изделий, ФГБУ ФНОЦ МСЭ и Р им. Г.А. Альбрехта Минтруда России, Бестужевская ул., 50, Санкт-Петербург, Российская Федерация; [reabin@center-albreht.ru](mailto:reabin@center-albreht.ru).

Щербина Константин Константинович – доктор медицинских наук, доцент, заместитель генерального директора – директор Института протезирования и ортезирования, ФГБУ ФНОЦ МСЭ и Р им. Г.А. Альбрехта Минтруда России, Бестужевская ул., 50, Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: [reabin@center-albreht.ru](mailto:reabin@center-albreht.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7579-0113>.

## Authors

Golovin Mikhail Andreevich – Head of Department of Innovative Technologies for Technical Rehabilitation of Institute of Prosthetics and Orthotics, Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation, 50 Bestuzhevskaya Street, 195067 Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: [golovin@center-albreht.ru](mailto:golovin@center-albreht.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7063-1284>.

Klimenko Fedor Nikolaevich – Research Fellow of Department of Innovative Technologies for Technical Rehabilitation of Institute of Prosthetics and Orthotics, Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation, 50 Bestuzhevskaya Street, 195067 Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: [reabin@center-albreht.ru](mailto:reabin@center-albreht.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5076-6931>.

Petrauskas Marina Vladimirovna – junior researcher of Department of Innovative Technologies for Technical Rehabilitation of Institute of Prosthetics and Orthotics, Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation, 50 Bestuzhevskaya Street, 195067 Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: [reabin@center-albreht.ru](mailto:reabin@center-albreht.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9005-6259>.

Amirovas Sergeyus – junior researcher of Department of Innovative Technologies for Technical Rehabilitation of Institute of Prosthetics and Orthotics, Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation, 50 Bestuzhevskaya Street, 195067 Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: [reabin@center-albreht.ru](mailto:reabin@center-albreht.ru).

Utekhnina Ekaterina Aleksandrovna – technical director of Laboratory for testing and examination of prosthetic and orthopedic products, Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation, 50 Bestuzhevskaya Street, 195067 Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: [reabin@center-albreht.ru](mailto:reabin@center-albreht.ru).

Shcherbina Konstantin Konstantinovich – Grand PhD in Medical Sciences (Dr. Med. Sci.), Associate Professor, Deputy general director – director of Institute of Prosthetics and Orthotics, Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation, 50 Bestuzhevskaya Street, 195067 Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: [reabin@center-albreht.ru](mailto:reabin@center-albreht.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7579-0113>.