



УДК 617.58-77

## ШАРОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ ДЛЯ ПРОТЕЗОВ НИЖНИХ КОНЧЕНОСТЕЙ

Голуб Игорь Владимирович<sup>1</sup>, Лебедев Алексей Владимирович<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт" им. Сикорского, 03056, м.Киев 56, проспект Победы, 37.

**Адрес для переписки:** Игорь Голуб Владимирович, магистрант

Место работы: Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт" им. Сикорского

Email: [golubigor94@gmail.com](mailto:golubigor94@gmail.com)

**Аннотация.** Важной составляющей протезирования нижних конечностей является конечная регулировка установленного протеза. Регулировка осуществляется врачом протезистом во время установки протеза пациенту. В данный момент для регулировки протеза используется система регулировки, разработанная компанией Otto Bock. На сегодня во всех протезах нижних конечностей для регулировки используется так называемая юстировочная пирамидка. Пирамидка дает возможность регулировки протезных модулей по двум осям X и Y. Но, в сложных случаях протезирования, при сложных характерах травмы такой тип регулировки не позволяет достичь наиболее природного рисунка ходьбы.

**Ключевые слова:** Протезирование, регулировка протеза, биомеханика.

**Введение.** Известные ныне протезные модули имеют ряд недостатков - в частности большую цену производства, которая зависит от габаритных размеров протеза, так как в протезировании используются дорогие материалы.

Также конструкция нынешних элементов регулирования не совершенна и не дает возможности полноценной подгонки под пациентов со сложными типами травм. Существующая в данный момент юстировочная пирамидка лимитирует габаритные размеры коленных модулей до размеров пирамидки. На рис. 1 изображены примеры существующих видов юстировочной пирамидки [1]



Рис.1. РСУ с юстировочной пирамидкой.



Рис.2. Коленные модули Otto Bock

На рис. 3 указаны утвержденные габаритные размеры юстировочной пирамидки

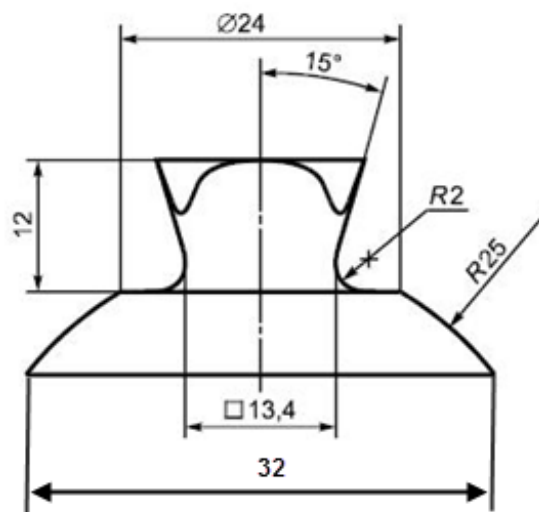


Рис.3. Размеры юстировочной пирамидки

Можно отметить, что размеры модулей для протезов нижних конечностей зависят от размеров юстировочной пирамидки. Утвержденный диаметр юстировочной пирамидки (рис. 3) ограничивает размеры протезных модулей до 32мм. [2]

Габаритные размеры протезных модулей значительно влияют на их вес, и вес протеза в целом. А так как вес протеза является основной его характеристикой, регулировочно – соединительный элемент протеза - это тот вопрос над улучшением которого нужно работать.

**Цель и задачи исследования.** Исследование возможностей регулировки протезов нижних конечностей. Открытие возможностей уменьшения веса и габаритных размеров протезных модулей за счет соединительных элементов. Обоснование использование шарового соединения для модулей в протезировании нижних конечностей.

**Материалы и методы исследования.** В основном для соединительно – регулировочных элементов в протезах нижних конечностей используются те же материалы, что и при производстве протезных модулей. В зависимости от назначения протеза может использоваться титан, алюминий, сталь. Использование пластика в соединительных элементах недопустима, так как пластик не способен нести высокие динамические и статические нагрузки, которые возникают в узлах протеза при ходьбе

**Экспериментальные данные и их обработка.** Основной целью шарового соединения для протезов нижних конечностей является уменьшение веса и размеров протеза конечности, повышение надежности фиксации и возможностей регулирования протеза.

В связи с этим было принято решение разработать соединительный элемент модулей протезов нижних конечностей, что не будет ограничивать их размеры и улучшит возможности регулирования протеза.

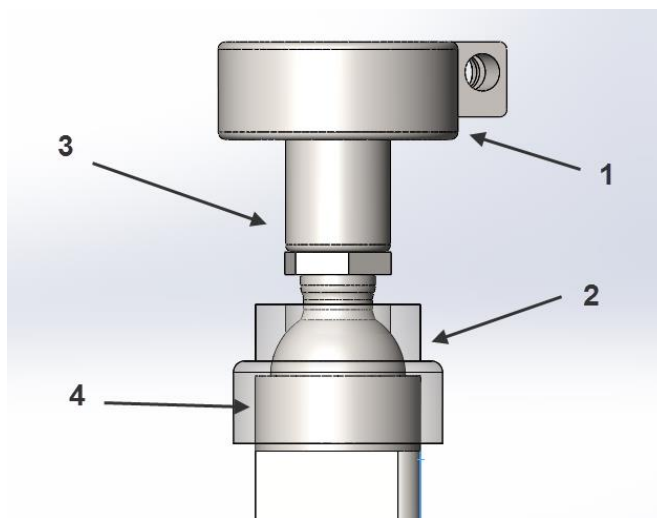


Рис. 4. Схема шарового соединения протезных модулей

На рис 4 изображена схема шарового соединения протезных модулей. Принцип работы юстировочного соединительного механизма заключается в том, что шар 3 входит в приемную гильзу модуля 4. За счет шарового соединения достигается возможность регулирования протеза на 360 °. После окончательной регулировки конструкция фиксируется с помощью резьбового зажима 2.

После достижения нужных углов и окончания полной регулировки протеза, модули соединяются со стандартными трубками с помощью переходника 1.

На рис 5 изображены габаритные размеры шарового соединения протезных модулей для протезов нижних конечностей. Как видим, габаритные размеры намного меньше размеров юстировочной пирамидки.

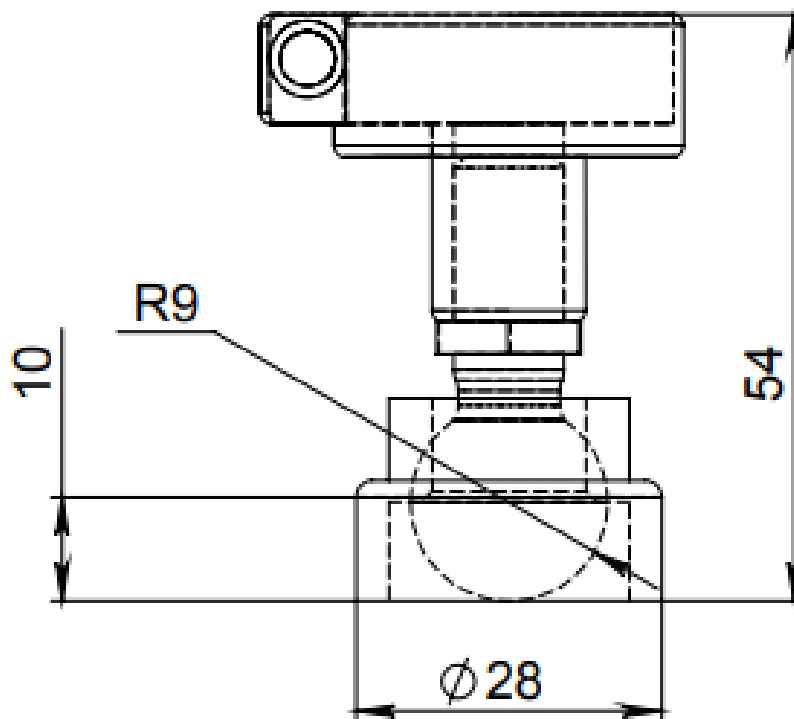


Рис.5 Габаритные размеры шарового соединения протезов нижних конечностей

**Исследование шарового механизма на стойкость к механическим напряжениям.** Как известно регулировочно соединительный элемент протезов нижних конечностей должен выдерживать механические напряжения, которые возникают при ходьбе. Для достижения желаемого результата, нужно чтобы соединительный элемент выдерживал напряжения с коэффициентом запаса 3. Для проведения анализа было использовано среду SolidWorks Simulation.

На рис.6 изображено модель шарового соединения, которую было выбрано для анализа (приемная гильза была скрыта для наглядного отображения результатов)

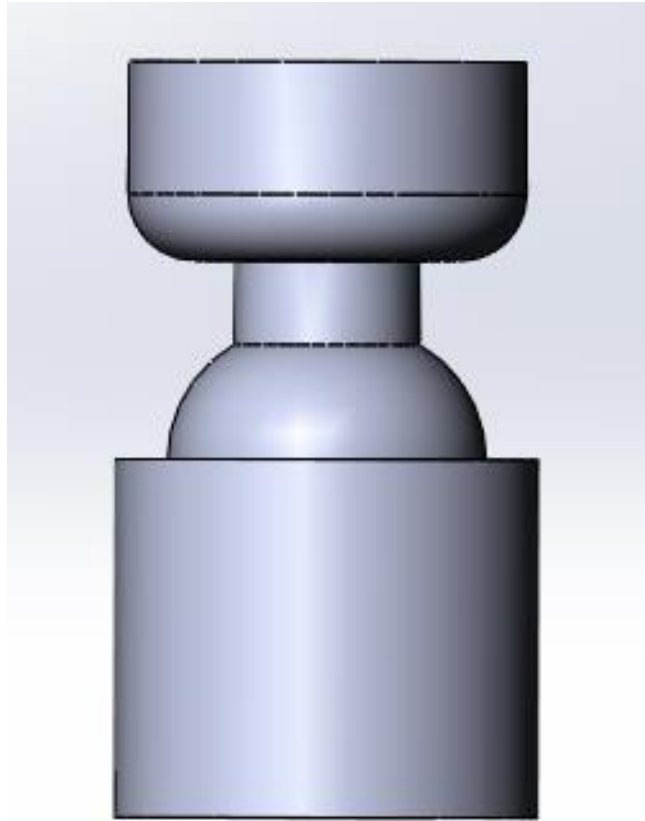


Рис.6. Модель соединительного элемента для анализа

Так же, важной составляющей анализа является материал производства шарового соединения.

Для анализа выберем материал производства шарового соединения алюминий. Выбор материала обусловлен тем, что алюминий наиболее часто используется в протезировании в связи с его относительной дешевизной и простотой механической обработки. Так же, алюминий – легкий металл, что так же важно в протезировании, так как конечный вес протеза является одной из его основных характеристик. [4]

В табл. 7 отображено сравнение механических характеристик данных материалов, взятых с SolidWorks Simulation

Таб.7

## Механические свойства исследуемых материалов

Свойство	Значение	Единицы измерения
	Алюминий	
Модуль упругости	$7.3e^{10}$	Н/м <sup>2</sup>
Коэффициент Пуассона	0.33	
Модуль сдвига	$2.8e^{10}$	Н/м <sup>2</sup>
Плотность	2780	кг/м <sup>3</sup>
Предел прочности при растяжении	165445000	Н/м <sup>2</sup>
Предел текучести	96509800	Н/м <sup>2</sup>

Для анализа применим силу 1250Н, которая эквивалентна силе, которой подвергается протез при использовании его пациентом с максимально допустимым весом в протезировании 125кг (согласно классификационной системе MOBIS)[1]

На рис.8. Отображены результаты анализа с использованием материала Алюминий.

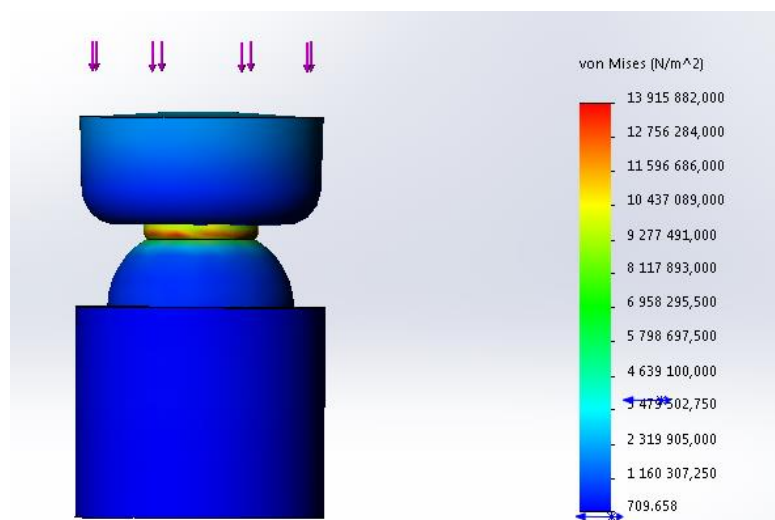


Рис.8. Напряжения при использовании алюминия

Как видим, наиболее напряженной составляющей механизма, является тонкая шейка шарового соединения. Для отображения наглядных результатов определим эпюру запаса прочности данного элемента.

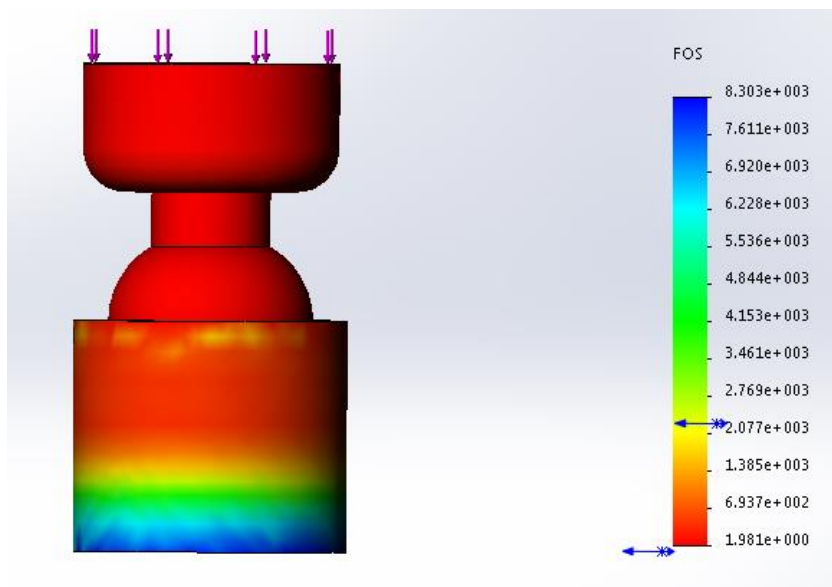


Рис.9. Запас прочности при использовании алюминия

Как видим минимальный запас прочности механизма при использовании материала алюминий = 1,981. Что говорит о том, что материал с алюминия выдержит нагрузку пациента весом 125кг с запасом прочности 2.

Для достижения запаса прочности 3, было рассчитано максимальную нагрузку на соединительный механизм.

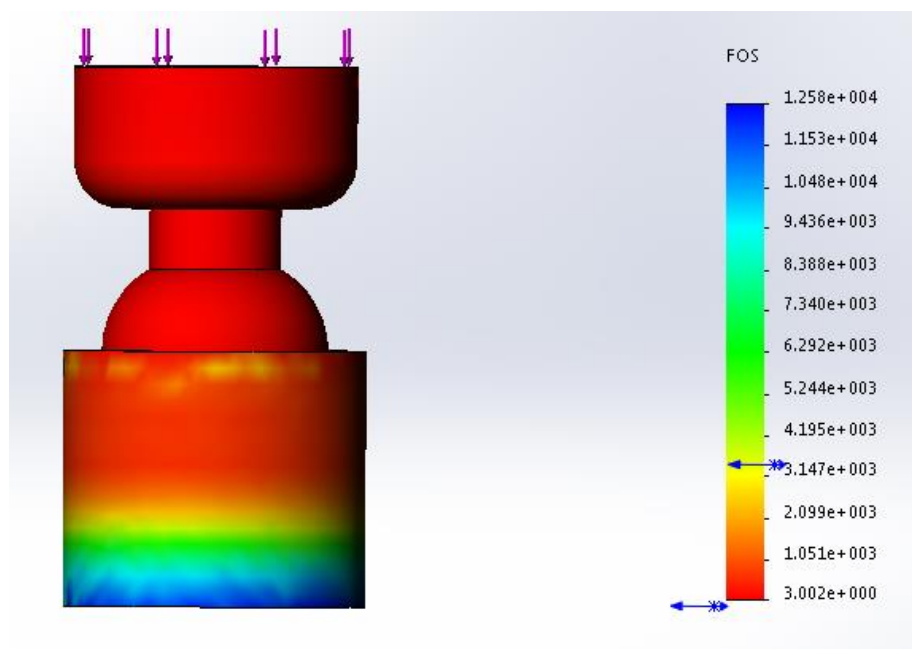


Рис.10 Достижение желаемого запаса прочности

Для достижения запаса прочности 3, в результате расчетов было доказано, что данный шаровый механизм можно использовать пациентам с весом до 82кг. Что вполне пригодно в реалиях протезирования.

**Обсуждение результатов.** Как можно увидеть из данных выше, габаритные размеры шарового соединения меньше, чем размеры юстировочной пирамидки. Радиус шара равен 9 мм, что дает возможность сделать вывод о том, что минимальный размер протезного модуля на который может быть установлен послойное соединение - 20мм. Что на 30% меньше, чем существующие возможности юстировочной пирамиды.

Анализ шарового соединения на прочность к механическим напряжениям, дает возможность сделать вывод о том, что данный механизм пригоден для производства из алюминия, при условии использования пациентами весом до 82кг.

Использование шарового соединения дает возможность регулировки протезных модулей не только по осям X и Y, но и на все 360°. Такая широкая возможность регулировки протезов нижних конечностей даст возможность достичь природной биомеханики ходьбы пациента даже при сложных травмах и ампутациях



**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. ottobock. Классификационная система MOBIS [Электронный ресурс] / ottobock – Режим доступа до ресурсу: <http://www.ottobock.ru/prosthetics/info-for-new-amputees/mobis-system>
2. Баумгартнер Р. Ампутация и протезирование нижних конечностей / Р. Баумгартнер, П. Ботта. – Штутгарт, 2002.
3. Голуб І. В. Значення колінного шарніру в протезуванні / І. В. Голуб, В. В. Козяр // Тези доповідей: науково-практичної конференції «Вітчизняні інженерні розробки для охорони здоров'я» / І. В. Голуб, В. В. Козяр. – Київ, 2016.
4. Голуб И. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ПРИНТИНГА В ПРОТЕЗИРОВАНИИ / И. В. Голуб, А. В. Лебедев // Электронный журнал Биомедицинская инженерия и электроника / И. В. Голуб, А. В. Лебедев., 2018.