

## Стенд для испытаний протеза нижней конечности человека при циклическом нагружении

В. Н. Белокуров, В. Э. Павловский

Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, Киев, Украина

*Описан стенд для испытаний протеза нижней конечности человека при циклическом нагружении. Обосновывается постановка технической и социальной задачи по оценке эффективности стендовых испытаний и определению ресурса протеза с целью повышения его надежности и уровня социально-трудовой реабилитации. Приведены технические характеристики стенда, реализуемые при натурных испытаниях изделия.*

**Ключевые слова:** протез, шарниры, стенд для испытаний, силовонагружатель, фазорегулятор, динамометр, цикл нагружения, долговечность, усталостное разрушение.

С помощью сравнительных испытаний на прочность и износ натурных изделий успешно решается большинство инженерных задач, возникающих на производстве и связанных с оптимизацией выбора материала, технологией изготовления и конструктивного выполнения изделий, работающих при циклических нагрузках.

В настоящей работе рассматривается протез нижней конечности человека. Эта сложная конструкция, представляющая собой шарнирные соединения голеностопного сустава и коленного сочленения, требует экспериментальной проверки на стадиях доводки и отработки оптимальности конструктивно-технологических вариантов в лабораторных условиях. В этой связи возникает техническая задача по разработке и созданию стенда для проведения натурных испытаний на основе данных об эксплуатации пртеза в реальных условиях. Результаты таких исследований являются решающими при формировании показателей надежности и определении базы сравнения, которая выбирается в зависимости от цели испытаний и служит критерием оптимальности принимаемых решений.

В качестве базы сравнения принята долговечность на заданном уровне нагружения, соответствующая числу “шагов” протеза без отказа в течение трех лет и составляющая  $1,5 \cdot 10^6$  шагов. Силовое циклическое воздействие соответствовало весу человека. Однако при эксплуатации протеза возникают и экстремальные ситуации. Например, при движении по лестнице можно оступиться, при этом нагрузки возрастают в три раза. Немаловажной особенностью нагружения деталей протеза является также наличие двух экстремумов на вертикальной реакции коленного сочленения при нормальной ходьбе [1]. В испытательном стенде эта особенность реализована путем сложения двух частот силового воздействия при соотношении 1:3 и сдвига фаз при двухкомпонентном нагружении и учтена при формировании программ стендовых испытаний. Так, для сравнительных испытаний достаточно использовать отнулевое синусоидальное нагружение, а при определении ресурса – отнулевое и с двумя экстремумами на кривой нагружения.

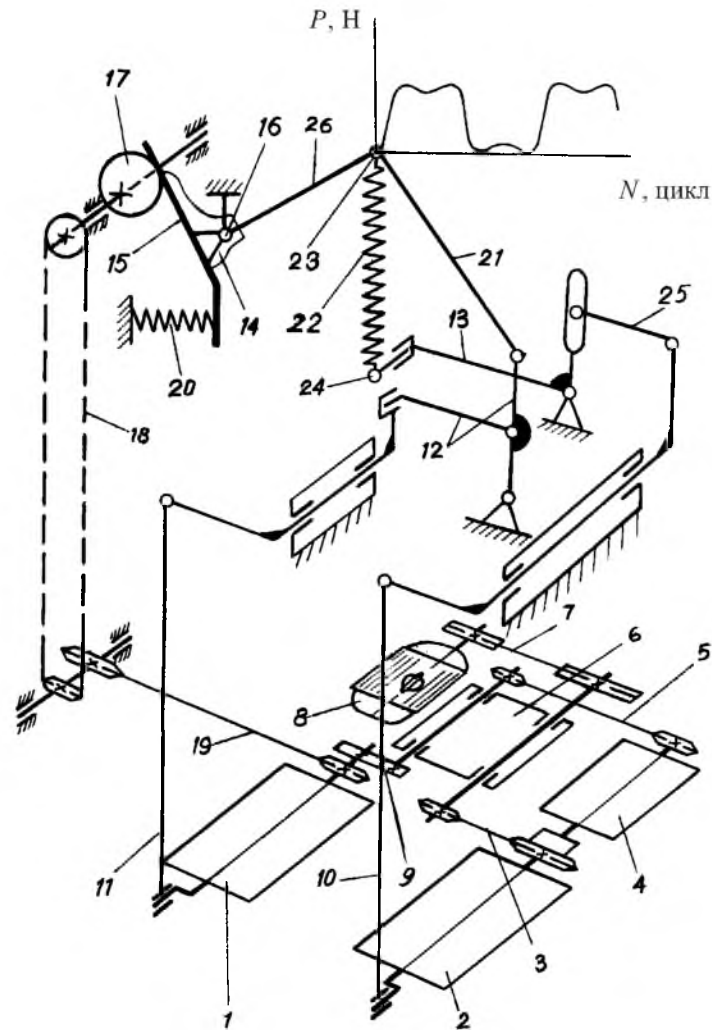


Рис. 1. Кинематическая схема стенда для испытаний протеза нижней конечности при циклическом нагружении.

При такой форме цикла экстремумы вблизи нулевого уровня малы и практически не влияют на долговечность коленного сочленения (рис. 1).

Критерием правильности выбора силового воздействия на стенде является совпадение мест износа и повреждений деталей протеза в эксплуатации при определяющей осевой циклической нагрузке вдоль бедра, соответствующей весу человека. Углы поворота в шарнирах колена и стопы отвечают углам поворота при ходьбе.

Схемно-конструктивное решение механической системы испытательного стенда в цепи силового привода осуществлено посредством использования узлов силовонагружения [2, 3] с регулируемым на ходу эксцентриситетом кривошипов и устройства регулирования фаз [4].

Силовонагружатели и фазовый регулятор, разработанные в Институте механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, прошли длительное опробование в машинах для испытаний на усталость и зарекомендовали себя

надежными механизмами, поддерживающими с достаточной точностью задаваемую деформацию в неограниченном временном интервале. Устройство регулирования фаз выполнено по схеме силонагружателя с использованием технологии и конструктивных особенностей его деталей, что гарантирует работоспособность устройства в составе испытательного стенда.

Стенд состоит из несущего основания, которое собрано из двух плит, соединенных стойками и кронштейнами (на схеме несущее основание условно не показано).

Кинематическая схема стенда представлена на рис. 1 [5].

На нижней плите стенда закреплены возбудители динамических перемещений 1, 2, фазорегулятор 4, корпус 6, объединяющий валы кинематических передач, электродвигатель 8, который с помощью клиноременной 7, цепных 3, 5 и зубчатой 9 передач приводит во вращение входные валы возбудителей динамических перемещений и фазорегулятора.

На верхней плите стенда собрано устройство для испытаний протеза нижней конечности. Шатуны 10, 11 сообщают через промежуточные валы и рычаги перемещения от возбудителей 1 и 2 угловым рычагам 12 и 13. Стопа протеза 14 установлена и закреплена на платформе 15, которая совершает колебания, поворачиваясь на оси 16, совмещенной с осью шарнирного соединения стопы. Платформа 15 получает колебания от кулачка 17 посредством цепных передач 18, 19. Силовое замыкание кулачка с платформой обеспечивает пружина 20. Эксцентриситет кулачка и его размещение по длине платформы выбраны с учетом углового поворота стопы при реальной эксплуатации протеза. Кулачок может иметь несколько типоразмеров в зависимости от проводимого исследования. Приемная гильза 21 протеза опирается на верхний шарнир углового рычага 12. Пружина 22 соединяет шарнир коленного сочленения 23 с шарниром 24, установленным на угловом рычаге 13. Плечо углового рычага можно изменять, перезакрепляя шарнир шатуна 25, в его пазу. Регулируемыми параметрами при испытаниях являются: амплитуда колебаний колена протеза, по которой определяется величина циклического изменения угла между приемной гильзой 21 и трубкой голени 26; амплитуда осевой силы, приложенная к приемной гильзе, по которой определяется нагрузка на все шарниры и элементы протеза; форма цикла нагружения протеза осевой силой и угол поворота стопы.

Амплитуду колебаний колена протеза регулируют во время испытаний путем изменения эксцентриситета кривошипного возбудителя 1 в пределах 0...50 мм, при этом максимальное значение угла между гильзой и трубкой голени не должно превышать 175°.

Амплитуда осевой силы зависит от фазы и амплитуды колебаний шарниров 23 и 24, соотношение между которыми устанавливают эксцентриситетами возбудителей 1 и 2 и фазорегулятором 4. При моногармонической нагрузке движение шарниров должно быть синхронизировано.

Форму цикла нагружения устанавливают смещением фазового угла между возбудителями 1 и 2. Угол поворота стопы задают дискретно, путем монтажа кулачка 17 с заданным эксцентриситетом.

В стенде предусмотрено измерение осевой силы, действующей на приемную гильзу 21.

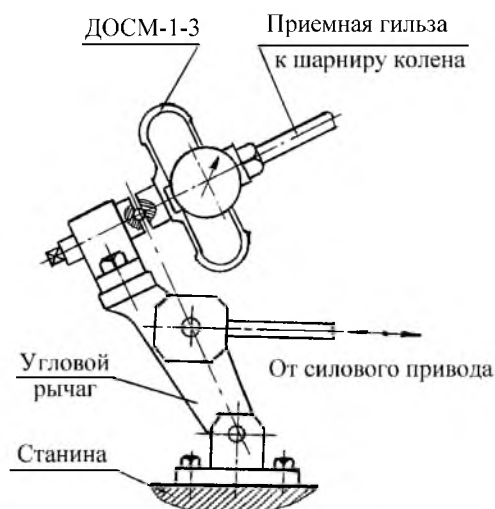


Рис. 2. Размещение динамометра в испытательном стенде в составе протеза.

Образцовый динамометр ДОСМ 1-3 устанавливают с помощью специального приспособления вдоль оси приемной гильзы (рис. 2). Замеры осуществляют, поворачивая вручную клиноременную передачу 7 (рис. 1). При испытаниях вместо динамометра используют соответствующий ему упругий элемент. Фазовый угол движения шарниров измеряют по сигналам от контактных датчиков (на схеме не показаны) с использованием электронно-лучевого осциллографа.

Технические характеристики испытательного стенда следующие:

Частота нагружения, Гц	..... 1,0
Циклическая нагрузка вдоль бедра	
для сравнительных испытаний, Н	..... 800
для определения ресурса, Н	..... 2500
Режим испытаний	Бигармонический (формирование двух экстремумов на вертикальной реакции) и синусоидальный
Синхронное с “циклом шага” сгибание стопы и коленного сочленения, град	Величины адекватны сгибанию ноги при ходьбе, не более 175
Регулирование всех силовых и геометрических параметров (перемещения, углы поворота, синхронизация фаз нагрузка–перемещение)	Бесступенчато, в пределах максимально принятых величин
Общая потребляемая мощность, кВт	..... 2,8
Габаритные размеры, см	..... 160×130×140
Масса стенда (общая) кг	..... 3000

Оценка работоспособности стенда проводилась путем контрольных испытаний протезов. Были испытаны три протеза, которые отличались материалом подшипникового узла четырехзвенного механизма коленного сочленения и конструкцией стопы.

Результаты испытаний позволили оптимизировать материал деталей коленного сочленения, конструкцию подшипникового узла стопы и дать рекомендации по изменению вида сферического упора, который был разрушен при испытаниях на стенде.

### Резюме

Описано стенд для випробувань протеза нижньої кінцівки людини при циклічному навантаженні. Обґрунтовується постановка технічного і соціального завдання щодо ефективності стендових випробувань та визначення ресурсу протеза з метою підвищення його надійності і рівня соціально-трудова реабілітації. Наведено технічні характеристики стенда, що реалізуються при натурних випробуваннях протеза.

1. *Витензон А. С.* Динамические фазы цикла ходьбы // Тр. Рижского науч.-исслед. ин-та травматологии и ортопедии. – 1975. – Вып. XII. – 692 с.
2. *Гарф М. Э., Павловский В. Э., Балаковский О. Б., Белокуров В. Н.* Кривошипные вибровозбудители с регулируемой на ходу амплитудой перемещения // Вибрационная техника. – М.: Моск. дом техн. пропаганды, 1980. – С. 127 – 131.
3. *Серенсен С. В., Гарф М. Э., Козлов Л. А.* Машины для испытаний на усталость. – М.: Машгиз, 1957. – 404 с.
4. *А. с. 879360 СССР.* Нагрузатель к стендам замкнутого контура / Э. Я. Филатов, В. Э. Павловский, В. Н. Белокуров и др. // Открытия. Изобретения. – 1981. – № 41.
5. *Белокуров В. Н., Павловский В. Э., Бажина Е. Н.* Стенд для испытаний протезов нижних конечностей человека при циклическом нагружении. Заявка № 98127042 от 26.08.99 // Пром-ва власність (офіц. бюл.). – 2000. – № 2.

Поступила 23. 07. 2001