

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.

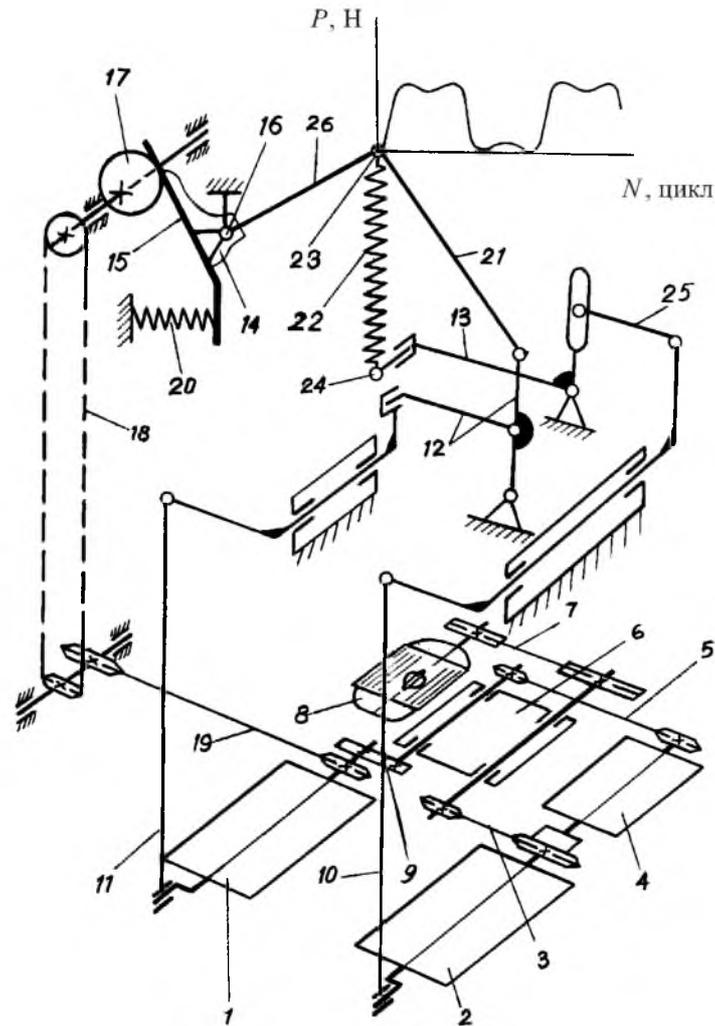


Рис. 1. Кинематическая схема стенда для испытаний протеза нижней конечности при циклическом нагружении.

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.

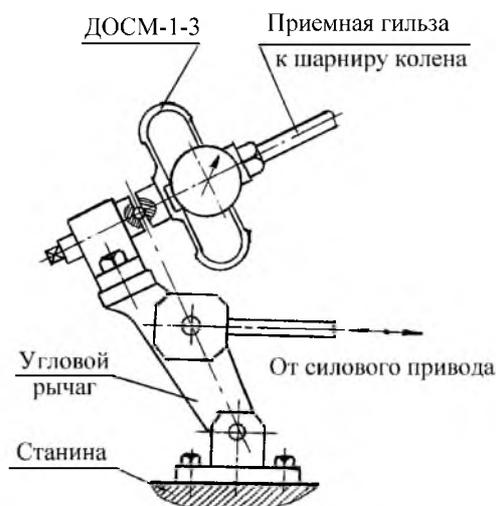


Рис. 2. Размещение динамометра в испытательном стенде в составе протеза.

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