

определяемые принятой моделью (3) периодического распределения событий на η Car.

Гипотеза. Достаточно высокая (по данным за два тысячелетия) стабильность регулярной модели (1), (2) позволяет предположить, что звезда η Car представляет своего рода “синхронизирующий генератор” 11-летних циклов Солнечной активности, а именно, что:

а) очень точное совпадение средней длительности 11-летних циклов SA , T_0 , и удвоенного значения T_E основного периода T_{EC} звезды η Car, как и синхронизм определяемых ими событий, не случайны;

б) чрезвычайно большая, по сравнению с Солнцем, мощность излучения звезды η Car позволяет предположить, что для этой пары звезд именно она является задающим генератором для Солнца;

в) если это так, то до гигантского взрыва в 1827 году периоды T_0 и $T_C = T_{EC} / 2$ также совпадали.

Литература: 1. *Ishibashi K., Corcoran M.F., Davidson K. et al. Recurrent X-Ray Emission of Carinae and the Binary Hypothesis // The Astrophysical Journal. 1999. N 524. P.938-987.* 2. *Смеляков С.В., Карпенко Ю.Б.* Аурическая шкала периодов/времени и ее верификация на феноменах естественного и исторического характера // Радиозлектроника и информатика. 1999. №1. С. 127-135; №2. С. 128-134; №3. С. 104-115. 3. *Smelyakov S.V.* Interval Approach for Super-long-term Forecasting of Sunspot Activity Maxima // Numerical Methods and Error Bounds. Berlin: Academic Verlag, 1996. P. 255 – 260. 4. *Витинский Ю.И.* Солнечная активность. М.: Наука, 1983. 192 с.

Поступила в редколлегию 21.01.2003

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Путятин В.П.

Смеляков Сергей Вячеславович, д-р физ.-мат. наук, проф., начальник кафедры математического и программного обеспечения АСУ ХВУ. Научные интересы: математическое моделирование, астрономия, философия. Адрес: Украина, 61004, Харьков, пл. Свободы, 6, e-mail: Pluto@velton.kharkov.ua

УДК 615.47:617-089

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

*НОСОВА Т.В., ПИСЬМЕНЕЦКИЙ В.А.,
СЕМЕНЕЦ В.В.*

Предлагаются модели биосигналов, которые являются первым приближением для аналитического описания изучаемых зависимостей углов изгиба $\alpha(t)$, $\beta(t)$ и $\gamma(t)$. Полученные результаты дают основания для дальнейшего поиска более оптимальных математических моделей биомеханических сигналов.

В основе протезирования лежит высокогуманная идея о том, чтобы человек, утративший полностью или частично отдельные функции организма, что ограничивает его физические возможности, не испытывал чувства неполноценности и мог легко адаптироваться в обществе [1].

В настоящее время остро стоит проблема помощи и реабилитации применительно к людям с дефектами нижних конечностей. При выборе оптимального варианта протеза, с последующей индивидуальной адаптацией, решающее значение имеют динамические исследования параметров движения и затрат энергии при пользовании протезом.

Во время нормального движения характеристики правой и левой конечностей относительно симметричны. Однако линейные характеристики (углы изгиба суставов, сила контакта нога—пол) разные для здоровой и ампутированной сторон. Поэтому использование симметрии является эффективным методом оценки патологии движения. Для количественной оценки параметров движения должны учитываться: зависимость от времени угла изгиба в тазобедренном α , коленном β и голеностопном γ суставах, сила и временная зависимость контакта нога — пол, уровень миографических сигналов.

В процессе движения человека характеристики $\alpha(t)$ и $\beta(t)$, $\gamma(t)$ для левой и правой конечности относительно симметричны. Если одна из конечностей ампутирована, эти характеристики различны. Следовательно, степень симметрии зависимостей $\alpha(t)$, $\beta(t)$ и $\gamma(t)$ при движении пациента дает возможность оценить правильность выбора протеза и уровень адаптации. Для количественной оценки симметрии целесообразно сформировать математические модели зависимостей $\alpha(t)$, $\beta(t)$, $\gamma(t)$

Предварительно все снимаемые сигналы должны быть представлены в виде, удобном для ввода в персональный компьютер (ПК). Использование кабеля для передачи сигнала от пациента на ПК во многих известных действующих в настоящее время системах сильно ограничивает свободу передвижения пациента, не позволяя производить измерения в различных условиях окружающей обстановки.

Решением задачи является передача телеметрической информации по радиоканалу. Характерный вид подлежащих передаче гониометрических сигналов представлен на рис. 1. Для здоровых людей темп ходьбы считается нормальным при длительности двойного шага — 1,14 с. При ходьбе на протезе голени темп нормальный, если длительность двойного шага не более 1,22 с — для протезированной и 1,20 с для сохранившейся конечности. Как видно из рис. 1, для реальных условий ходьбы максимальные углы изгиба в суставах не превышают 70°. Подографическая информация для каждой ступни снимается одновременно с 4–24 точек.

На рис. 1 обозначено: t_1 — время запаздывания (время от момента полного разгибания в коленном суставе (КС) до момента наступания пяткой на опорную поверхность); t_2 — время сгибания в КС; t_3 — время разгибания в КС; α_1 — угол сгибания в тазобедренном суставе (ТБС); α_2 — угол попятных движений в ТБС; β_1 — угол сгибания в КС; β_2 — угол подгибания; γ_1 — угол первичного

подошвенного сгибания; γ_2 – угол первичного тыльного сгибания.

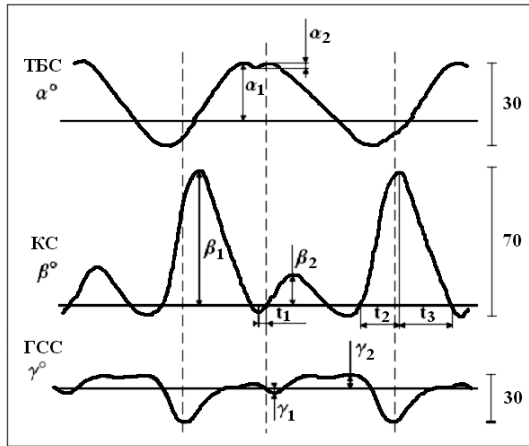


Рис. 1. Гониометрические характеристики

Из графиков на рис. 1 можно сделать вывод, что для построения моделей целесообразно применять периодические функции, простейшими из которых являются $\{\sin mx, \cos mx\}$ их сочетания и комбинации. Поэтому для моделирования $\alpha(t)$ было предложено использовать функцию:

$$A \cdot \sin\left(\frac{\pi}{H} \cdot n\right),$$

где A – амплитуда; H – полупериод; n – номер точки отсчета на оси времени t . При этом интервал наблюдения разбивается на два участка с различными зависимостями $\alpha(n)$:

$$\alpha_M(n) = \begin{cases} 2,5 \sin\left(\frac{\pi \cdot n}{7,5}\right) - 1; & n < 3,3; \quad n > 5,8, \\ 0,1 \sin(4 \cdot n + 1,7 \cdot \pi) + 2,4; & 3,3 < n < 5,8. \end{cases}$$

На рис. 2 представлены экспериментальная зависимость $\alpha(n)$ (а) и ее математическая модель (б), а также зависимость погрешности аппроксимации (в) $\varepsilon_\alpha(n) = |\alpha(n) - \alpha_M(n)|$, где $\alpha_M(n)$ – математическая модель.

Для моделирования характеристики $\beta(n)$ была предложена зависимость

$$\beta_M(n) = \frac{5,3 \cdot [\sin(0,722 \cdot n + 7,2) - 0,01]}{\sin\left(\frac{0,72 \cdot n}{3} + 1,4\right) + 1,5}$$

На рис. 2,г представлена экспериментальная зависимость $\beta(n)$, а на рис. 2,д – математическая модель $\beta_M(n)$. Погрешность аппроксимации представлена на рис 2,е: $\varepsilon_\beta(n) = |\beta(n) - \beta_M(n)|$.

Для моделирования сигнала с голеностопного сустава (ГСС) была определена следующая функция:

$$\begin{aligned} \gamma_M(n) = & 11,9315 \cdot \exp\left(-\frac{(-82,5+n)^2}{3200}\right) - 22,7478 \times \\ & \times \exp\left(-\frac{(-122,5+n)^2}{98}\right) - 7,6 \cdot \exp\left(-\frac{(-54,5+n)^2}{72}\right) - \\ & - 16,3389 \cdot \exp\left(-\frac{(-2,5+n)^2}{98}\right) - 4,70671. \end{aligned}$$

Для количественной оценки степени симметрии имеет смысл использовать следующие информативные параметры:

- значение периода зависимостей $\alpha(n)$ и $\beta(n)$, $\gamma(n)$;
- величину максимума $\alpha(n)$ ($\alpha_{\max} = \alpha_1$);

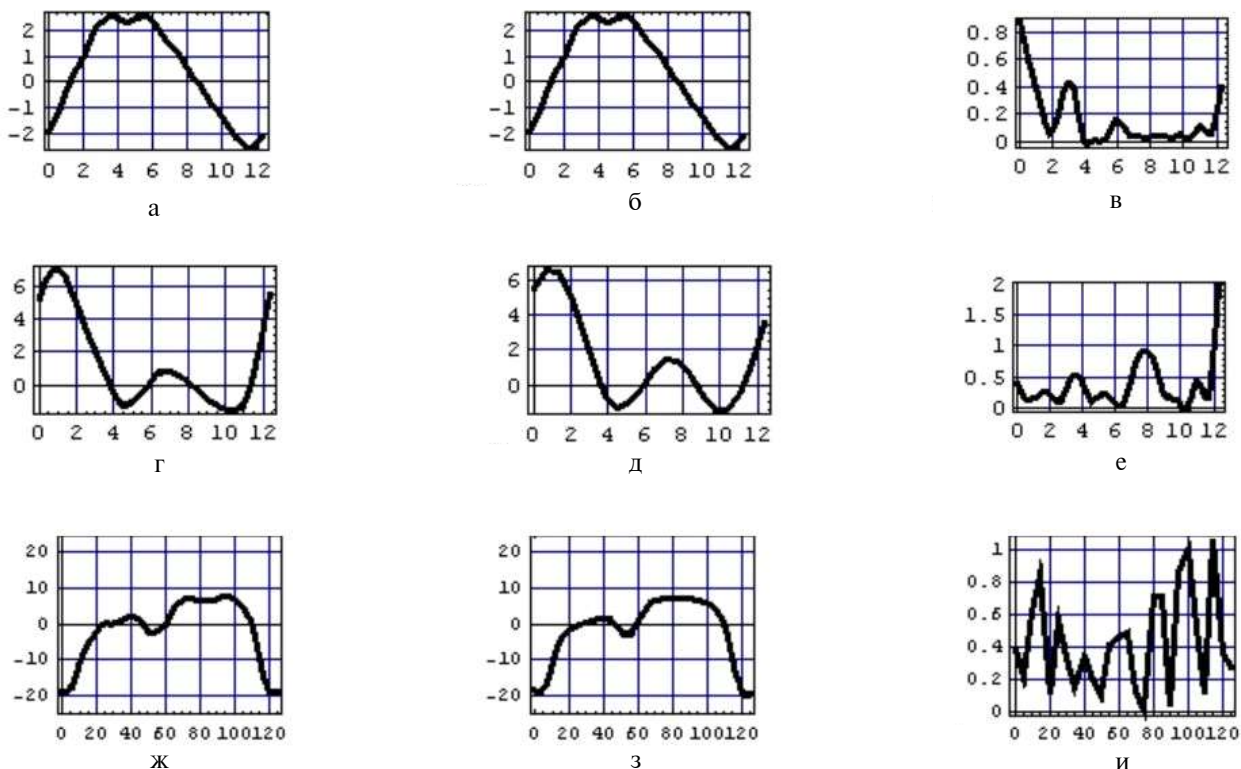


Рис. 2. Сигналы с ТБС, КС и ГСС, их математические модели и графики разности между экспериментальными и теоретическими данными

– разность между максимумом и минимумом $\alpha(n)$ ($\alpha_{\max} - \alpha_{\min} = \alpha_2$);

– значения максимумов $\beta(n)$, ($\beta_{\max} \in (\beta_1, \beta_2)$).

Критерий близости определяется видом сходимости. Известно пять видов сходимости: равномерная, сходимость в среднеквадратическом, в среднем, почти всюду и сходимость по мере. Сходимости по мере и почти всюду распространяются на функции, для которых не совпадают области сходимости. Аппаратов приближения по указанным видам сходимостей не существует. Функции, у которых совпадают области определения и сходимости, допускают приближение функциональным рядом в среднеквадратическом:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \max_{x \in [a, b]} \left| f(x) - \sum_{i=0}^n a_i \varphi_i(x) \right| = 0;$$

При этом условии равенство значений исследуемой функции и интерполирующего обобщенного полинома заменяется равенством их приближенных значений в среднеквадратическом [2]:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_a^b \left[f(x) - \sum_{i=0}^n a_i \varphi_i(x) \right]^2 dx = \beta_n. \quad (1)$$

С помощью соотношения (1) определены среднеквадратические погрешности приближения, которые составили:

– для ТБС среднее значение ошибки приближения составляет 0,172018, среднеквадратичное – 1,26128;

– для КС среднее значение ошибки приближения составляет 0,39666, среднеквадратичное – 2,61273;

– для ГСС среднее значение ошибки приближения составляет 0,416725, среднеквадратичное – 2,60739.

УДК 739.173.84

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОХОЖДЕНИЯ НЕЙТРОНОВ ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО

*ПРОХОРЕЦ И.М., ПРОХОРЕЦ С.И.,
ХАЖМУРАДОВ М.А.*

Рассматривается математический аппарат для расчета прохождения нейтронов через замедляющую среду, позволяющий создать комплекс программ для моделирования поведения нейтральных ядерных частиц в сложных экспериментальных и технологических установках.

Введение

Современные физические установки представляют собой сложные технические системы. К таким системам, в частности, относится установка для нейтронной радиографии [1], которая, как правило, включает в себя ускоритель заряженных частиц, нейтронную мишень, систему формирования поля нейтронов и диагностики пучков, систему визуализации изображений. При создании и использовании такой установки возникают вопросы, связанные с взаимодействием нейтронов различных энергий с веществом.

В заключение можно сделать вывод, что с помощью предложенных моделей биомеханических сигналов нижних конечностей представляется возможным количественная оценка результатов протезирования при сравнении реальных данных с нормой. При использовании простейших функций $\sin mx$, $\cos mx$ и их комбинаций было достигнуто хорошее соответствие результатов моделирования экспериментальным данным. Полученные результаты работы уже сейчас могут быть полезными для врачей-протезистов.

Литература: 1. *Основы протезирования* / Под ред. Г.В. Красюк, В.В. Семенец. Харьков: ХТУРЭ, 2000. 330 с. *Рыжневский А.Г., Шабанов Д.В.* Автоматизация контроля формы моноимпульсных сигналов. М.: Энергоатомиздат, 1988. 96с.

Поступила в редколлегию 24.12.2002

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. Бых А.И.

Носова Татьяна Витальевна, аспирантка ХНУРЭ. Научные интересы: исследование и анализ биомеханических и биоэлектрических сигналов, снимаемых с пациента, радиоэлектроника. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-343.

Письменецкий Виктор Александрович, канд. техн. наук, профессор кафедры МЭПУ ХНУРЭ. Научные интересы: модели и методы обработки сигналов. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-343.

Семенец Валерий Васильевич, д-р техн. наук, профессор, проректор по учебно-методической работе ХНУРЭ. Научные интересы: методы автоматизированного проектирования и контроля параметров объекта. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 43-30-53.

Изучение поведения нейтронов при прохождении через вещество – задача сложная, и её не всегда удастся решить методами натурального эксперимента. Прежде всего это связано с огромными материальными затратами на создание экспериментального оборудования. Кроме того, измерения, как правило, не являются прямыми. Косвенная информация, полученная из измерений, требует количественной обработки и интерпретации. Эта работа может быть выполнена лишь на основе математических моделей, адекватно описывающих изучаемые явления [2,3].

Целью данной работы является создание основ математического аппарата, позволяющего описать в аналитическом виде прохождение нейтронов с нерелятивистскими энергиями через вещество с учетом физических процессов взаимодействия этих частиц со средой.

1. Основные процессы взаимодействия нейтронов с веществом

Известно, что у нейтрона отсутствует электрический заряд, поэтому он не испытывает кулоновского взаимодействия с электронами и ядрами среды. Поведение нейтронов при прохождении через вещество определяется взаимодействием их с ядрами атомов, обусловленным ядерными силами.