

УДК 530.1-538.56:535

Ю.С. Курской

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

ЗДОРОВЬЕ КАК ОБЪЕКТ ИЗМЕРЕНИЯ

В работе обсуждается метрологическая модель измерения физического состояния организма человека. Модель построена на положениях теории динамического хаоса, теории динамических систем и теории информации. Модель содержит полученные ранее результаты создания подходов к измерению и оценки неопределенности измерения динамических переменных нелинейных динамических систем. Показано, что время и энтропия Шеннона могут быть использованы для количественной оценки физического состояния организма, оценки здоровья человека. Для этого предложено при помощи нормированного внешнего воздействия выводить организм из устойчивого состояния и измерять время возврата в устойчивое состояние после. Также при этом предлагается анализировать изменение значения энтропии. Предложены числовой портрет, временные и энтропийные шкалы для количественной оценки состояния физического состояния организма человека. Результаты работы могут быть использованы при диагностике и лечении заболеваний, а также в медицинском сопровождении подготовки спортсменов.

Ключевые слова: модель измерения здоровья, неопределённость измерений, нелинейная динамическая система, энтропия Шеннона, числовой портрет здоровья, энтропийные и временные шкалы.

Вступление

Индивидуальный подход к диагностике и лечению заболеваний человека является одним из основных трендов современной медицины. Эта задача требует высокоточных измерений характеристик организма. Для этой цели предлагается новая модель измерения физического состояния организма. Модель основана на принципах и подходах, разработанных для измерения динамических переменных (ДП) нелинейных динамических систем (НДС) [1–4]. Разработки подходов к измерениям и оценки неопределённости измерений ДП НДС относятся к одним из самых новых и перспективных задач метрологической науки.

В рамках модели измерения организм человека представлен как открытая диссипативная нелинейная динамическая система (НДС) с функцией самоорганизации. Модель выделяет два состояния организма. Первое – это устойчивое состояние, которое соответствует нормальному функционированию. Второе – это возбужденное состояние. Организм может переходить в возбужденное состояние вследствие внешнего воздействия. После прекращения действия внешнего воздействия организм возвращается в устойчивое состояние. При этом время возврата здорового организма отличается от времени возврата больного.

Время возврата служит одним из двух ключевых элементов модели. Его измерение позволит судить о степени здоровья организма. Для этих целей в модели предлагается временная шкала измерения физического состояния.

Вторым ключевым элементом модели является информационная энтропия Шеннона. Энтропия Шеннона используется в информационной теории

измерения для оценки разброса результатов измерения. Однако она характеризует и степень упорядоченности поведения изучаемого организма. В модели предлагается использовать энтропийную шкалу измерения физического состояния также.

1. Измерения ДП НДС

В последнее время был выполнен ряд работ, направленных на разработку принципов и моделей измерения ДП НДС [1–4].

В работе [1] предложена фрактальная шкала анализа временных рядов результатов измерений, позволяющая при помощи фрактальной размерности D классифицировать характер поведения НДС. Шкала имеет три характерные точки $D = 1$, $D = 1,5$, $D = 2$: при $D=1$ результат измерения трактуется как строго детерминированное поведение системы, возможно составление уравнения поведения ДП; при $D=2$ система ведет себя регулярным образом, но разброс измеряемых значений очень велик, что не позволяет использовать методы обработки результатов измерений; при $D=1,5$ процесс является случайным, для анализа таких систем применяются статистические методы; при $1 < D < 1,5$ рассматриваемый процесс представляется как персистентный и приближается к детерминированному; при $1,5 < D < 2$, процесс представляется антиперсистентным и имеет случайный разброс, превышающий величину медленных изменений.

В работе [2] предложена модель измерения и оценки неопределенности результатов измерения значений ДП НДС. В модели предложен способ оценки минимального и достаточного количества измерительных экспериментов, основанный на пред-

ставленнях о фрактальной структуре временного ряда результатов измерения ДП НДС. Модель содержит порядок оценки неопределенности измерения как отдельных состояний ДП системы в различные моменты времени $\psi_i(X_i)$, так и неопределенности измерения всех возможных состояний ДП $U(X)$ как интервал $U(X) = [X_{\min}, X_{\max}]$, где X_{\min}, X_{\max} – минимальное и максимальное значение измеряемой величины соответственно. Применение предложенной модели позволяет изучать любые случайные процессы с единых позиций.

В работе [3] приведена модель анализа результатов измерений в НДС, основанная на положениях теории динамического хаоса. Модель позволяет отказаться от составления уравнения измерения, но требует реконструкции фазового портрета и анализа ключевых характеристик НДС: фрактальной размерности и размерности вложения, показателей Ляпунова и энтропии Колмогорова-Синяя. Модель содержит выражения для характеристик НДС с учетом неопределенности измерения.

Одним из эффективных методов оценки результатов измерительного эксперимента является энтропийный анализ. В работе [4] изучены преимущества применения информационной теории для оценки результатов измерения. Рассмотрены ее ключевые элементы – количество информации и энтропия Шеннона H , как величины, характеризующие неопределенность измерения. Предложены выражения связи неопределенности измерения $U(X)$ и энтропии H для ДП НДС.

2. Человек как открытая система

Большинство из реальных физических, биологических, социальных, экономических систем это открытые диссипативные НДС. Состояние таких систем характеризуются группой динамических переменных (ДП) $[X_1(t), \dots, X_n(t)]$, значения которых в любой момент времени t связаны с начальными значениями $[X_1(t_0), \dots, X_n(t_0)]$ функцией эволюции F [5]:

$$F[X_1(t_0), \dots, X_n(t_0)] \rightarrow [X_1(t), \dots, X_n(t)]. \quad (1)$$

Реальные НДС чувствительны к влиянию окружающей среды. Внешние воздействия и шумы выводят их из устойчивого положения. Таким НДС свойственен хаотичный режим поведения.

Изучение открытых биологических систем показало, что «естественным» состоянием для таких систем является состояние промежуточное между полным хаосом и полной организацией. Именно такое промежуточное состояние обеспечивает возможность развития и гомеостаза системы. Для таких систем вводится понятие «нормы хаотичности» как степень упорядоченности, соответствующая нормальному функционированию системы [6].

Физическую модель организма человека можно представить как открытую диссипативную НДС. Ее ДП связаны выражением (1), где n динамических переменных $X(t)$ соответствуют характеристикам организма (пульс, артериальное давление и прочие). Система подвержена внешним влияниям, которые способны менять значения ДП. В отсутствие внешних воздействий система пребывает в устойчивом состоянии $X_{\text{Stab}}(t)$ (1). После прекращения внешнего воздействия выполняется переход ДП из возбужденного $X(t)$ в устойчивое $X_{\text{Stab}}(t)$ состояние, $X(t) \rightleftharpoons X_{\text{Stab}}(t)$ в течение интервала времени T . Значение времени T восстановления равновесного состояния организма может быть использовано в качестве ключевой характеристики при количественной оценке здоровья человека.

3. Модель измерения здоровья

В модели измерения здоровья используются интервалы значений ДП организма $X(t)$ в устойчивом $[X_{\text{Stab}}^{\min}(t), X_{\text{Stab}}^{\max}(t)]$ и возбужденном $[X^{\min}(t), X^{\max}(t)]$ состояниях; нормированная энтропия Шеннона в устойчивом $\|H_{\text{Stab}}\|$ и возбужденном $\|H\|$ состояниях; время прогноза поведения ДП $X(t)$ в устойчивом t_{fStab} и возбужденном t_{f} состояниях. Нормированная энтропия описывается выражением:

$$\|H\| = \frac{H}{\ln N}, \quad (2)$$

где H – энтропия Шеннона, рассчитанная по результатам измерения ДП $X(t)$; N – количество состояний, которое может принимать ДП $X(t)$.

В качестве основного показателя состояния здоровья рассматривается T – время возврата в устойчивое состояние после прекращения нормированного внешнего воздействия. Для количественной оценки состояния здоровья предложены числовой портрет (3), энтропийные и временные шкалы оценки состояния здоровья (4):

$$\left\{ \begin{array}{l} [X_{\text{Stab}}^{\min}(t), X_{\text{Stab}}^{\max}(t)], \|H_{i0}\|, t_{\text{fStab}} \\ [X^{\min}(t), X^{\max}(t)], \|H\|, t_{\text{f}} \\ T \end{array} \right. , \quad (3)$$

$$\left. \begin{array}{l} 0 \dots \|H_{\text{Stab}}\| \dots 1, \\ 0 \dots T_{\text{Stab}} \dots \infty. \end{array} \right\} \quad (4)$$

где H_{Stab} – значение нормы энтропии для здорового организма; T_{Stab} – значение времени возврата для здорового организма.

Реперной точкой энтропийной шкалы является норма энтропии H_{Stab} – значение энтропии Шенно-

на, соответствующее здоровому состоянию организма. Норма энтропии является индивидуальной характеристикой отдельного органа и меняет свое значение с течением времени. Предложен способ определения нормы энтропии, учитывающий индивидуальность и эволюционные изменения организма. В рамках модели решена задача определения значения величины внешнего нормированного воздействия, необходимо для определения времени возврата системы в устойчивое состояние T , используемое в качестве количественной характеристики здоровья.

Выводы и предложения о практическом применении

Рассмотрена метрологическая модель измерения физического состояния организма человека. Модель построена на положениях теории динамического хаоса, теории динамических систем и теории информации.

Показано, что время и энтропия Шеннона могут быть использованы для количественной оценки физического состояния организма, оценки здоровья человека. Для этого предложено при помощи нормированного внешнего воздействия выводить организм из устойчивого состояния и измерять время возврата в устойчивое состояние после. Также при этом предлагается анализировать изменение значения энтропии.

Предложены числовой портрет, временные и энтропийные шкалы для количественной оценки состояния физического состояния организма человека.

Модель измерения физического состояния организма может быть использована для диагностики и лечения заболеваний человека. Периодический контроль ДП организма и анализ данных (3), (4) позволяет количественно оценить физическое состоя-

ние всего организма или его отдельных органов, наблюдать динамику процессов.

Вторым перспективным направлением применения модели является медицинская составляющая подготовки спортсменов. При подготовке спортсменов решаются задачи определения оптимальных физических нагрузок и достижения максимума формы спортсменов к началу соревнований. Использование модели измерения позволяет контролировать физическое состояние и величину нагрузки, а также прогнозировать динамику физической формы спортсмена.

Список литературы

1. Мачехин, Ю. Фрактальная шкала для временных рядов результатов измерений / Ю. Мачехин // Измерительная техника. – 2008. – Вып. 8. – С. 40–43.
2. Мачехин, Ю. Модель измерения параметров нелинейных динамических систем / Ю. Мачехин, Ю. Курской // Системи обробки інформації. – 2012. – Вып. 1 (99). – С. 169–175.
3. Мачехин, Ю. Анализ результатов измерений в нелинейных динамических системах / Ю. Мачехин, Ю. Курской // Системи обробки інформації. – 2012. – Вып. 07 (105). – С. 117–122.
4. Machekhin Yu. Features of entropy analysis of measurement results in nonlinear dynamical systems / Yu. Machekhin, Yu. Kurskoy // Метрологія та прилади. – 2013. – Вып. 6. – С. 17–21.
5. Лоскутов, А.Ю. Основы теории сложных систем / А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. – 620 с.
6. Климонтович Ю.Л. Критерии относительной степени упорядоченности открытых систем / Ю.Л. Климонтович // Успехи физических наук. – 1996. – № 11 (166). – С. 1231–1243.

Поступила в редколлегию 24.03.2014

Рецензент: д-р техн. наук проф. Р.М. Трищ, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.

ЗДОРОВ'Я ЯК ОБ'ЄКТ ВИМІРЮВАННЯ

Ю.С. Курський

У роботі обговорюється метрологічна модель виміру фізичного стану організму людини. Модель побудована на положеннях теорії динамічного хаосу, теорії динамічних систем та теорії інформації. Показано, що час і ентропія Шеннона можуть бути використані для кількісної оцінки фізичного стану організму, здоров'я людини. Для цього запропоновано за допомогою нормованого зовнішнього впливу виводити організм зі стійкого стану і вимірювати час повернення в стійкий стан після. Також при цьому пропонується аналізувати зміну значення ентропії. Запропоновано числовий портрет, тимчасові і ентропійні шкали для кількісної оцінки стану фізичного стану організму людини. Результати роботи можуть бути використані при діагностиці і лікуванні захворювань, а також у медичному супроводі підготовки спортсменів.

Ключові слова: модель виміру здоров'я, нелінійна динамічна система, ентропія Шеннона, числовий портрет здоров'я, ентропійні і часові шкали.

HEALTH AS AN OBJECT OF DIMENSION

Yu.S. Kurskoy

New metrological model for measurement of human health is discussed in the work. The model is based on the principles of Dynamic chaos, Dynamic systems and Information theories. It is shown that time and Shannon entropy can be used for quantitative evaluation of human organism condition. For this task it is proposed, using normalized external stress, to destabilize an organism and measure its stabilization time. Also it is proposed to measure and analyze a change of entropy value. The measurement model contains: the numerical portrait of human health, time and entropy scales for measurement of human organism condition. Results of this work can be used for diagnosis and treatment of diseases and for the medical support of athletes training.

Keywords: health measurement model, nonlinear dynamic system, Shannon entropy, health numeric portrait, entropy and time lines.