

Ю.С. ШПАКОВИЧ, асп., ХНУРЭ, Харьков,

Т.В. ЖЕМЧУЖКИНА, канд. техн. наук, доц., ХНУРЭ, Харьков,

Т.В. НОСОВА, канд. техн. наук, доц., ХНУРЭ, Харьков

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В данной работе с помощью тестов на единичные корни Дики-Фуллера и Квятковского-Филлипса-Шмидта-Шина на стационарность проанализированы электромиографические сигналы для правильного выбора статистических, корреляционных и спектральных методов исследования. Также был определен временной интервал, в течение которого сигналы можно рассматривать как кусочно-стационарные. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: электромиографические сигналы; стационарность; временной интервал, тесты на единичные корни.

Постановка проблемы. В настоящее время для анализа электромиографических (ЭМГ) сигналов используют заимствованные преимущественно из статистической радиофизики и широко используемые физиологами в научной работе методы спектрально-корреляционного анализа [1]. Но стоит отметить, что важным критерием при выборе методов анализа реальных сигналов является определение их стационарности и однородности.

Большинство случайных сигналов на практике имеют в целом нестационарный характер. Для целей измерения и анализа часто удается рассмотреть процесс как кусочно-стационарный. Но существуют ситуации, когда такой подход к сбору и анализу данных нецелесообразен, и индивидуальные реализации процесса приходится рассматривать как нестационарные.

Если статистические свойства случайного процесса не изменяются при переносе начала отсчета времени, такие процессы являются стационарными. Понятие "стационарность" относится к статистическим характеристикам, полученным путем усреднения по ансамблю реализаций. Однако на практике часто говорят о стационарности или нестационарности данных, которые являются одной реализацией случайного процесса. В этом случае стационарность понимают в несколько ином смысле. Если об одной реализации говорят как о стационарной, то обычно имеют в виду, что ее свойства существенно не изменяются от интервала к интервалу [2].

Для проведения статистического и спектрально-корреляционного анализа сигнал ЭМГ с некоторыми допущениями при исследовании считают стационарным сигналом. При таком подходе усреднение по

© Ю.С. Шпакович, Т.В. Жемчужкина, Т.В. Носова, 2017

времени может дать результаты, имеющие смысл для некоторых параметров и по некоторым специфическим условиям, однако в целом дает сильно искаженные оценки. Следовательно, для использования статистических и спектрально-корреляционных методов анализа ЭМГ сигнала представляется необходимым исследовать сигнал на стационарность или определить интервал стационарности для анализа его как кусочно-стационарного.

Анализ литературы. Цифровой сигнал ЭМГ можно рассматривать как временной ряд значений амплитуды биоэлектрической активности мышц от времени. Временным рядом называется последовательность упорядоченных во времени числовых показателей, характеризующих уровень состояния и изменения изучаемого явления.

Временной ряд называется стационарным в узком смысле, если для каждого момента времени случайные величины имеют одинаковые распределения, т.е. справедливо соотношение:

$$\begin{aligned} p_n &= (U_1, \dots, U_i, \dots, U_N; t_1, \dots, t_i, \dots, t_N) = \\ &= p_n(U_1^\tau, \dots, U_i^\tau, \dots, U_N^\tau; t_1 + \tau, \dots, t_i + \tau, \dots, t_N + \tau), \end{aligned} \quad (1)$$

где U_i^τ – случайная величина, отражающая значение процесса в момент времени $t = t_i + \tau$ (τ – произвольное число).

Очевидно, что из стационарности в узком смысле следует стационарность в широком смысле. Условие стационарности временного ряда необходимо для корректного применения методов спектрально-корреляционного анализа. Таким образом, для анализа нестационарного сигнала проводится его разбиение на стационарные сегменты с их последующим анализом [3 – 5]. Данное условие также является главным при исследовании сигналов энцефалограммы (ЭЭГ), для которых на основе практических исследований было введено такое понятие, как сегментная (кусочная) стационарность – интервал времени, на котором сигнал будет считаться стационарным [6, 7].

Одним из методов для оценки стационарности временных рядов является тест Дики-Фуллера (ADF). Эта методика, которая используется в прикладной статистике и эконометрике для анализа временных рядов, является одним из тестов на единичные корни (Unit root test). Временной ряд имеет единичный корень, или порядок интеграции один, если его первые разности образуют стационарный ряд.

Суть метода заключается в предположении вида процесса, породившего исследуемый временной ряд, для которого строится вспомогательная модель, и проверяются гипотезы о коэффициентах этой

модели. На этом основании делается вывод о стационарности или нестационарности исходного ряда [8].

Еще одним методом для определения стационарности временных рядов является тест Квятковского-Филлипса-Шмидта-Шина (KPSS), который в качестве нулевой берет гипотезу о стационарности временного ряда:

$$y_t = c_t + \delta t + u_{1t},$$
$$c_t = c_{t-1} + u_{2t},$$

где y_t – наблюдаемый временной ряд; c_t – стохастический тренд; δ – коэффициент тренда; t – время; u_{1t} – стационарный процесс; u_{2t} – независимый и равномерно распределенный процесс со средним значением равным нулю и дисперсией σ^2 . Нулевой гипотезой является то, что $\sigma^2 = 0$ и стохастический тренд (c_t) представляется случайным блужданием. Альтернативная гипотеза соответствует предположению о том, что эта дисперсия отлична от нуля, так что анализируемый ряд принадлежит классу нестационарных временных рядов [9].

Цель статьи – исследование ЭМГ сигнала на стационарность и определение интервала стационарности сигнала для его анализа как кусочно-стационарного с помощью разработанного программного средства.

Для достижения поставленной цели используются методы оценки стационарности временных рядов: тест Дики-Фуллера и тест Квятковского-Филлипса-Шмидта-Шина.

Анализ электромиографических (ЭМГ) сигналов на стационарность. Было исследовано 45 ЭМГ сигналов длительностью 51 – 70 с, полученных при исследовании длинного разгибателя туловища на уровне поясничного отдела позвоночника (L4-L5 позвонков). Из них 10 – контрольная группа, 11 – здоровые пациенты с болью, 10 – пациенты с вертебрологическим заболеванием, 14 – пациенты со сколиозом. Сигналы были получены в одинаковых условиях электромиографическим прибором "Нейро-МВП" в лаборатории патофизиологии Института патологии позвоночника и суставов им. М.И. Ситенко АМН Украины [10].

Результаты теста Дики-Фуллера (ADF) для всех сигналов полной длительности дали значение нулевой гипотезы – 1, что подтверждает их нестационарность. Результаты теста Квятковского-Филлипса-Шмидта-Шина (KPSS) также показали, что сигналы нестационарные. При сегментировании сигналов на фрагменты длительностью 60 мс 0% фрагментов сигналов являются стационарными по результатам теста

ADF и от 3% до 8% сегментов являются стационарными по результатам KPSS теста. При уменьшении длительности сегментов до 10 мс количество стационарных сегментов по результатам теста ADF увеличилось до 4 – 23%, по результатам KPSS теста практически не изменилось (4 – 7%). Результаты по всем исследованным длительностям сегментов сведены в таблицу.

Таблица

Результаты исследования стационарности сегментов ЭМГ

Длительность сегмента, мс	% стационарных сегментов по ADF	% стационарных сегментов по KPSS
60	0	3,3 – 8,4
30	0 – 0,2	3,6 – 7,2
20	0 – 5,2	4 – 7,3
10	3,9 – 22,7	4,2 – 6,9

Выводы. В результате исследования методами Дики-Фуллера и Квятковского-Филлипса-Шмидта-Шина был проведен анализ стационарности полной длительности сигналов ЭМГ. Исследуемые сигналы были разделены на определенные интервалы длительностью 10 – 69 мс, для которых также был проведен анализ стационарности. На основе полученных результатов было установлено, что с уменьшением длительности сегмента ЭМГ до значений 15 – 20 мс количество стационарных участков, определяемых методом ADF, по отношению к общему количеству резко увеличивается. На интервалах более 20 мс количество таких участков близко к нулю. При исследовании тестом KPSS было установлено, что значение отношения стационарных участков длительностью 10 – 69 мс к общему количеству составило 3,3 – 8,4% и не имеет тенденции к резкому изменению с уменьшением длительности интервалов. В дальнейшем планируется продолжить работу по анализу зависимости информативных параметров ЭМГ сигнала, полученных методами статистического, спектрального и корреляционного анализа, от длительности исходного сигнала и его фрагментов.

Список литературы: 1. Reaz M.B.I. Techniques of EMG signal analysis: detection, processing, classification and applications / M.B.I. Reaz, M.S. Hussain, F. Mohd-Yasin // Biological Procedures Online. – 2006. – Vol. 8. – P. 11-35. 2. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1989. – 540 с. 3. Bilodeau M. Normality and stationarity of EMG signals of elbow flexor muscles during ramp and step isometric Contractions / M. Bilodeau, M. Cincera, B. Arsenault, D. Gravel // J. Electromyogr. Kinesiol. – 1997. – Vol. 7. – № 2. – P. 87-96. 4. Osipov A. Method of time-frequency analysis of compound electromyogram in estimation of neurogenic control efficiency in human skeletal muscles / A. Osipov, M. Mezhennaya, N. Davydova, I. Ilyasevich, M. Davydov, E. Soshnikova, V. Kulchitsky // Activitas Nervosa Superior Rediviva. – 2015. –

Vol. 57. – № 4. – P. 105-111. **5.** Istenic R. Analysis of Neuromuscular Disorders Using Statistical and Entropy Metrics on Surface EMG / R. Istenic, A. Prodromos, K. Constantinos, S. Pattichis, D. Zazula // *Wseas Transactions On Signal Processing*. – 2008. – Vol. 4. – P. 28-35. **6.** Каплан А.Я. Нестационарность ЭЭГ: методологический и экспериментальный анализ / А.Я. Каплан // *Успехи физиологических наук*. – М.: МАИК "Наука/Интерпериодика". – 1998. – Т. 29. – № 3. – С. 35-55. **7.** Fein G. EEG power spectra in normal and dyslexic children. I. Reliability during passive conditions / G. Fein, D. Galin, J. Jahnstone // *EEG and Clin. Neurophysiol.* – 1983. – Vol. 55. – P. 399-405. **8.** Магнус Я.Р. Эконометрика. Начальный курс / Я.Р. Магнус, П.К. Камышев, А.А. Пересяцкий. – М.: Дело, 2007. – 504 с. **9.** Kwiatkowski D. Testing the Null Hypothesis of Stationarity against the Alternative of a Unit / D. Kwiatkowski, P.C.B. Phillips, P. Schmidt, Y. Shin Root. // *Journal of Econometrics*. – 1992. – Vol. 54. – P. 159-178. **10.** Жемчужкина Т.В. Статистический анализ спектральных характеристик ЭМГ-сигнала с целью дифференцирования поясничных болей / Т.В. Жемчужкина, Т.В. Носова, Я.В. Носова, А.В. Губанов, Д.Р. Дуплий, И.В. Котульский // *Бионика интеллекта*. – 2015. – № 2 (85). – С. 105-108.

References:

1. Reaz M.B.I., Hussain M.S., and Mohd-Yasin F. (2006), "Techniques of EMG signal analysis: detection, processing, classification and applications". *Biological Procedures Online.*, Vol. 8, pp. 11-35.
2. Bendat, J. (1989), *Przykladnoy analiz slychaynykh dannykh [Applied analysis of random data: transl. from English]*. Mir Publ., Moscow, 540 p.
3. Bilodeau M., Cincera M., Arsenault B., and Gravel D. (1997), "Normality and stationarity of EMG signals of elbow flexor muscles during ramp and step isometric Contractions". *J. Electromyogr. Kinesiol.*, Vol. 7, No. 2, pp. 87-96.
4. Osipov A., Mezhenayaya M., Davydova N., Ilyasevich I., Davydov M., Soshnikova E., and Kulchitsky V. (2015), "Method of time-frequency analysis of compound electromyogram in estimation of neurogenic control efficiency in human skeletal muscles". *Activitas Nervosa Superior Rediviva.*, Vol. 57, No. 4, pp. 105-111.
5. Istenic R., Prodromos A., Constantinos K., Pattichis S., and Zazula D. (2008), "Analysis of Neuromuscular Disorders Using Statistical and Entropy Metrics on Surface EMG". *Wseas Transactions On Signal Processing*, Vol. 4, pp. 28-35.
6. Kaplan A.Y. (1998), Nestatsyonarnost EEG: metodologycheskyy I eksperementalnyy analiz [Non-stationarity of the EEG: methodological and experimental analysis], *Progress in Physiology.*, Vol. 29, No. 3, pp. 35-55.
7. Fein G., Galin D., and Jahnstone. J. (1983), EEG power spectra in normal and dyslexic children. I. Reliability during passive conditions. *EEG and Clin. Neurophysiol*, Vol. 55, pp. 399-405.
8. Magnus Y. R., Kartyshev P. K., and Pereseckiy A. A. (2007), *Ekonometrika. Nachalnyy kurs [Econometrics. The initial course]*, Delo Publ., Moscow, 504 p.
9. Kwiatkowski D., Phillips P.C.B., Schmidt P., and Shin, Y. (1992), "Testing the Null Hypothesis of Stationarity against the Alternative of a Unit Root". *Journal of Econometrics.*, Vol. 54, pp. 159-178.
10. Zhemchuzhkina T.V., Nosova T.V., Nosova Y.V., Gubanov A.V., Dupliy D.R., and Kotulskiy I.V. (2015), "Statisticheskyy analiz spektralnykh kharakteristik ENG-sygnala s tsel'y differentsirovaniya poyasnychnykh boley" [Statistical analysis of the spectral characteristics of the EMG signal for the purpose of differentiating lumbar pain], *Bionics of the intellect.*, Vol. 85, No. 2, pp. 105-108.

Поступила (received) 31.03.2017

Статью представил д-р техн. наук, проф. ХНУРЭ Аврунин О.Г.

Yurii Shpakovych, postgraduate student
Kharkiv National University of Radioelectronics
Av. Nauky, 14, Kharkiv, Ukraine, 61166
Tel.: (057) 702-13-06), e-mail: yurii.shpakovych@nure.ua
ORCID ID: 0000-0003-0207-3329

Tatyana Zhemchuzhkina, PhD Tech, Associate Professor.
Kharkiv National University of Radioelectronics
Av. Nauky, 14, Kharkiv, Ukraine, 61166
Tel.: (057) 702-13-06), e-mail: tatyana.zhemchuzhkina@nure.ua
ORCID ID: 0000-0001-8884-5099

Tatyana Nosova, PhD Tech, Associate Professor.
Kharkiv National University of Radioelectronics
Av. Nauky, 14, Kharkiv, Ukraine, 61166
Tel.: (057) 702-13-06), e-mail: tatyana.nosova@nure.ua
ORCID ID: 0000-0003-4442-8001

УДК 615.47

Щодо застосовності методів аналізу електроміографічних сигналів / Шпакович Ю.С., Жемчужкіна Т.В., Носова Т.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2017. – № 21 (1243). – С. 117 – 123.

В цій роботі за допомогою тестів на поодинокі корені Дікі-Фуллера та Квятківського-Філіпса-Шмідта-Шина на стаціонарність було проаналізовано електроміографічні сигнали для коректного вибору статистичних, кореляційних і спектральних методів дослідження. Також було визначено інтервал часу, на якому сигнал можна вважати кусково-стаціонарним. Табл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: електроміографічні сигнали; стаціонарність; часовий інтервал, тести на одиничні коріння

УДК 615.47

К вопросу о применимости методов анализа электромиографических сигналов / Шпакович Ю.С., Жемчужкина Т.В., Носова Т.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2017. – № 21 (1243). – С. 117 – 123.

В данной работе с помощью тестов на единичные корни Дики-Фуллера и Квятковского-Филлипса-Шмидта-Шина на стационарность проанализированы электромиографические сигналы для правильного выбора статистических, корреляционных и спектральных методов исследования. Также был определен временной интервал, в течение которого сигналы можно рассматривать как кусочно-стаационарные. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: электромиографические сигналы; стационарность; временной интервал, тесты на единичные корни.

UDC 615.47

To the problem of application of methods of electromyographic signal analysis / Shpakovych Y.S., Zhemchuzhkina T.V., Nosova T.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2017. – №. 21 (1243). – P. 117 – 123.

In this work EMG signal was analyzed with Unit Root Dickey-Fuller (ADF) and Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin (KPSS) tests for stationarity for the correct choice of statistical, correlation and spectral research methods. Also it was determined the time interval at which the signal can be viewed as piecewise stationary. Tabl.: 1. Refs.: 10 titles.

Keywords: electromyographic signals; stationarity; time interval, unit root tests.