



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-6-97-102>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 616-073.97

ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЛАБЛЕНИЯ МЫШЦ ЖЕВАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПОСЛЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

И. В. САМУЙЛОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Поступила в редакцию 31.10.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Поверхностная электромиография спонтанной активности мышц является наиболее распространенным методом оценки функционального состояния мышечного комплекса. Сигнал поверхностной электромиограммы имеет шумоподобный вид с изменяющейся во времени амплитудой сигнала. Изучены изменение фоновой активности и вероятность появления высокоамплитудных выбросов амплитуды – кратковременного значительного увеличения амплитуды электромиограммы. Изменение фоновой активности может быть связано как с техническими факторами, например, с изменением сопротивления контакта кожа–электрод, так и непосредственно с состоянием мышечного комплекса и невозможностью мышц ментально расслабиться. Высокоамплитудные выбросы также могут появляться из-за множества факторов – смещение электродов, регистрация сторонних мышечных сокращений, спазмы мышц и т. д. Проанализированы синхронные электромиограммы височных и жевательных мышц. Исследование фоновой активности и наличия высокоамплитудных выбросов показало различие в скорости расслабления мышц до и после проведения теста на функциональную нагрузку, разницу в скорости расслабления между височными и жевательными мышцами.

Ключевые слова: электромиография, височные мышцы, жевательные мышцы, расслабление мышц, циклическая нагрузка.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность. Автор выражает благодарность кафедре ортопедической стоматологии и ортодонтии с курсом детской стоматологии БелМАПО и лично И. Н. Барадиной за помощь в организации исследований.

Для цитирования. Самуйлов, И. В. Исследование расслабления мышц жевательного комплекса после функциональной нагрузки / И. В. Самуйлов // Доклады БГУИР. 2024. Т. 22, № 6. С. 97–102. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-6-97-102>.

STUDY OF RELAXATION OF THE MUSCLES OF THE CHEWING COMPLEX AFTER THE FUNCTIONAL LOAD

IVAN U. SAMUILAU

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 31.10.2024

Abstract. Surface electromyography of spontaneous muscle activity is the most common method for assessing the functional state of the muscle complex. The surface electromyogram signal has a noise-like appearance with a signal amplitude changing over time. The change in background activity and the probability of high-amplitude amplitude spikes, a short-term significant increase in the electromyogram amplitude, were studied. A change in background activity can be associated with both technical factors, such as changes in the resistance of the skin-electrode contact, and directly with the state of the muscle complex and the inability of the muscles to relax instantly. High-amplitude spikes can also appear due to many factors – electrode displacement, recording of extraneous muscle contractions, muscle spasms, etc. Synchronous electromyograms of the temporal and masseter muscles were analyzed. The study of background activity and the presence of high-amplitude spikes showed a difference in the rate of muscle relaxation before and after the functional load test, as well as a difference in the rate of relaxation between the temporal and masseter muscles.

Keywords: electromyography, temporal muscles, masticatory muscles, muscle relaxation, functional load.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

Gratitude. The author expresses the gratitude to the Department of Orthopedic Dentistry and Orthodontics with the Course of Pediatric Dentistry of BelMAPO, and personally to I. N. Baradina for the help in organizing the research.

For citation. Samuilau I. U. (2024) Study of Relaxation of the Muscles of the Chewing Complex after the Functional Load. *Doklady BGUIR*. 22 (6), 97–102. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-6-97-102> (in Russian).

Введение

Поверхностная электромиография является наиболее применяемым методом оценки функционального состояния мышечного комплекса [1]. Самый распространенный тест, в ходе которого происходит регистрация электромиограмм (ЭМГ), – это спонтанная активность (состояние покоя) мышц. В качестве функциональной нагрузки также могут выступать максимальное сжатие зубов, удержание максимального усилия, процесс пережевывания, глотательные движения, открывание-закрывание нижней челюсти [2].

Критерием оценки ЭМГ спонтанной активности мышц чаще всего выступает среднее значение амплитуды по всей записи ЭМГ. Кроме того, для оценки стабильности и надежности полученного значения амплитуды ЭМГ может использоваться параметр среднеквадратичного отклонения [3]. Во многих ЭМГ значение среднеквадратичного отклонения сопоставимо по размерности со значением амплитуды ЭМГ, что усложняет интерпретацию результатов. Также амплитуда ЭМГ не стабильна во времени, часто наблюдается тенденция на постепенные изменения уровня амплитуды в процессе проведения регистрации. Амплитуда может как увеличиваться, так и уменьшаться. Следует отметить такой вид артефактов на ЭМГ, как высокоамплитудные выбросы – кратковременное значительное увеличение амплитуды. Данные особенности сигнала ЭМГ могут быть вызваны спонтанным сжатием зубов, глотательными движениями, болевыми ощущениями и т. д. В [4] отмечается, что такие психологические факторы, как длительное воздействие стресса и беспокойство, стимулируют мышечные сокращения лицевой области и, соответственно, могут вызывать скрежет, сжатие зубов и болевые ощущения.

Динамика изменения амплитуды ЭМГ мышц в состоянии покоя после функциональной нагрузки изучена недостаточно. Чаще всего критерием оценки состояния мышечного комплекса выступает время расслабления мышц с пикового уровня или с момента подачи команды на расслабление мышц до уровня, принятого за уровень покоя. При этом не учитывается постепенное снижение уровня спонтанной активности [5]. Если изучать длительные ЭМГ спонтанной активности после функциональной нагрузки, то на многих записях заметно постепенное изменение амплитуды сигнала, что свидетельствует о продолжении расслабления мышц. Примеры различ-

ного поведения амплитуды ЭМГ правой височной мышцы до и после функциональной нагрузки приведены на рис. 1.

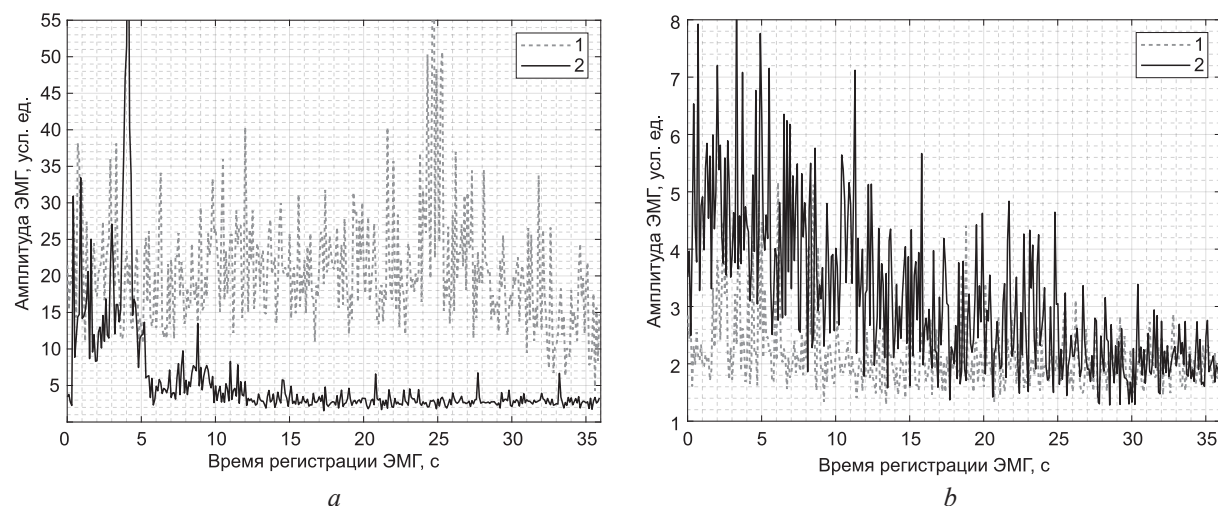


Рис. 1. Пример для пациентов № 1 (а) и № 2 (б) поведения электромиограмм правой височной мышцы до (1) и после (2) функциональной нагрузки

Fig. 1. Example for patients No 1 (a) and No 2 (b) of the behavior of electromyograms of the right temporal muscle before (1) and after (2) functional load

В процессе анализа ЭМГ изучалось расслабление мышц после интенсивной функциональной нагрузки в сравнении с поведением мышц до функциональной нагрузки.

Методика проведения эксперимента

В ходе предварительных исследований была собрана база из 101 исследования ЭМГ височных и жевательных мышц в состоянии покоя до и после функциональной нагрузки. Длительность записи составляла 36 с. Функциональная нагрузка заключалась в удержании максимальной силы сжатия зубов в течение 6 с с циклами расслабления с длительностью 3 с. Число повторений равнялось пяти. Таким образом, регистрация спонтанной активности после функциональной нагрузки начиналась спустя 6 с после команды на расслабление мышц. Полученные данные ЭМГ обрабатывались в среде MATLAB 2020R. Подробное описание методики регистрации ЭМГ изложено в [6].

Для вычисления амплитуды электромиограммы она разбивалась на участки длительностью 20 мс. На каждом участке определялась амплитуда путем отнимания максимального значения ЭМГ от минимального. Таким образом, при длительности сигнала 36 с на выходе получается вектор с длительностью 1800 отсчетов. Для каждого из 1800 интервалов времени имелось 101 (по количеству исследований) значение амплитуды. Далее на каждом интервале определялось медианное значение амплитуды. Среднее значение для оценки амплитуды ЭМГ не использовалось ввиду того, что закон распределения амплитуд ЭМГ отличается от нормального закона. Для анализа всех полученных данных рассчитывался вектор, состоящий из медианных амплитуд.

Для оценки зависимости изменения амплитуды от времени регистрации ЭМГ полученные данные аппроксимировались по линейному закону вида $U = k_1 t + k_2$. Дополнительно проводился расчет корреляции между медианными амплитудами и временем регистрации ЭМГ, а также коэффициентов корреляции с характеристикой силы связи [7].

Еще одним критерием, оценивающим спонтанную активность после функциональной нагрузки, являлась доля ЭМГ, в которых присутствуют высокоамплитудные выбросы. Их наличие определялось следующим образом:

- находилось среднее значение амплитуды для каждого вектора амплитуд;
- значение каждой амплитуды в векторе, состоящем из 1800 отсчетов, проверялось на превышение пятикратной величины усредненной амплитуды.

Для отсева случайных срабатываний присутствие высокоамплитудных выбросов в ЭМГ считалось подтвержденным в случае наличия пяти превышений.

Результаты исследований и их обсуждение

Несмотря на значительную разницу между данными отдельных пациентов, при анализе медианных амплитуд отчетливо видна тенденция на уменьшение амплитуды с начала времени регистрации для всех исследуемых мышц (рис. 2). При этом после функциональной нагрузки наблюдались значительное снижение фоновой активности, которая оценивается по коэффициенту корреляции (табл. 1), и более высокоамплитудный сигнал в начале регистрации. Это приводит к тому, что через некоторое время амплитуды до и после функциональной нагрузки выравниваются.

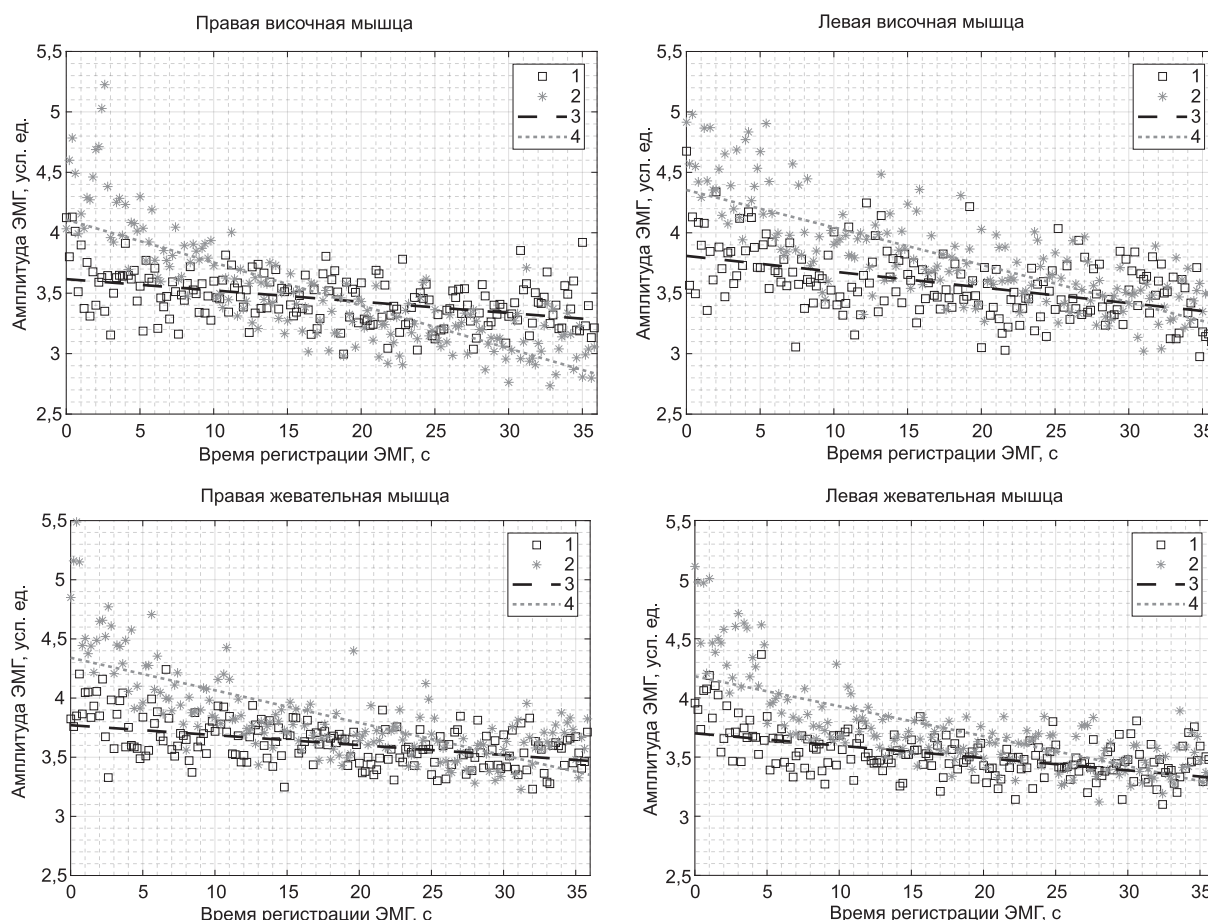


Рис. 2. Динамика изменения медианных амплитуд в ходе регистрации электромиограмм: 1, 2 – до и после функциональной нагрузки; 3, 4 – линейная аппроксимация амплитуд до и после функциональной нагрузки
Fig. 2. Dynamics of changes in median amplitudes during electromyogram recording: 1, 2 – before and after functional load; 3, 4 – linear approximation of amplitudes before and after functional load

Таблица 1. Расчет коэффициентов корреляции
Table 1. Calculation of correlation coefficients

Наименование мышцы	До функциональной нагрузки		После функциональной нагрузки	
	Формула линейной аппроксимации	Коэффициент корреляции	Формула линейной аппроксимации	Коэффициент корреляции
Правая височная	$U = -0,0093t + 3,616$	-0,4291	$U = -0,0344t + 4,1087$	-0,8008
Левая височная	$U = -0,0130t + 3,808$	-0,4878	$U = -0,0310t + 4,3542$	-0,7817
Правая жевательная	$U = -0,0084t + 3,770$	-0,4703	$U = -0,0275t + 4,3408$	-0,7480
Левая жевательная	$U = -0,0104t + 3,700$	-0,5694	$U = -0,0253t + 4,1829$	-0,7597

До функциональной нагрузки наблюдалось падение уровня амплитуды, составлявшее ~0,01 В каждую секунду. Данная зависимость, скорее всего, связана с психологическими факторами (рас-

слабление пациента) и улучшением контакта электрод–кожа за счет растекания электропроводящего геля. Уровень амплитуды стабилизировался в диапазоне 10–30 с.

После функциональной нагрузки наблюдалась тенденция падения уровня амплитуды, которое составляло ~0,03 В каждую секунду. При этом падение амплитуды ЭМГ жевательных мышц прекращалось приблизительно после 20 с регистрации, что соответствует 26 с после команды на расслабление мышц. Для височных мышц за 36 с регистрации не был зарегистрирован конец тенденции на расслабление мышц.

Коэффициенты корреляции между амплитудой ЭМГ и временем регистрации в случае анализа амплитуд ЭМГ спонтанной активности после функциональной нагрузки находились в диапазоне от 0,74 до 0,80, что свидетельствует о линейной зависимости падения амплитуды. До функциональной нагрузки коэффициенты корреляции имели значения от 0,42 до 0,56. Данные величины коэффициентов находятся на границе слабой и сильной связей между измеряемыми параметрами, свидетельствуют о некорректности использования линейной аппроксимации зависимости между амплитудой ЭМГ и временем регистрации. Амплитуда ЭМГ быстро уменьшается в первые секунды записи и выходит на плато.

В случае спонтанной активности до функциональной нагрузки из 404 исследований (четыре канала данных, 101 пациент) было зарегистрировано 57 исследований, содержащих высокоамплитудные выбросы, что составляет 14 % из всех исследований. Для правой височной мышцы зарегистрировано 12 выбросов, для левой – 15, для правой жевательной мышцы – 14, для левой – 16. После функциональной нагрузки зарегистрировано 122 случая (30 %) выбросов, из них 21 и 26 – для правой и левой височных мышц соответственно, 38 и 37 – для правой и левой жевательных мышц соответственно. Из представленных данных можно сделать вывод, что после функциональной нагрузки количество высокоамплитудных выбросов в среднем увеличилось вдвое. При этом до проведения функциональной нагрузки количество высокоамплитудных выбросов в жевательных мышцах незначительно превосходит (в 1,1 раза) их количество в височных мышцах. Общий показатель экспериментов с выбросами – 14 %. После проведения функциональной нагрузки частота выбросов при исследовании жевательных мышц составляла 37 %, височных – 23 %. Разница во встречаемости выбросов амплитуды увеличилась до 1,6 раза.

Заключение

1. Зарегистрирована общая тенденция на расслабление мышц в ходе электромиографического исследования мышц в состоянии покоя. До функциональной нагрузки скорость уменьшения амплитуды сигнала электромиограммы составляла 0,01 В/с, после функциональной нагрузки – 0,03 В/с.

2. Высокоамплитудные выбросы до функциональной нагрузки обнаружены в 14 % случаев без существенной разницы между исследуемыми мышцами, после проведения функциональной нагрузки они обнаружены в височных мышцах в 23 % случаев, в жевательных мышцах – в 37 %.

3. На основе полученных данных можно дать следующие рекомендации для проведения электромиографических исследований:

– после начала регистрации необходимо выждать минимум 20 с для получения стабильных данных для анализа;

– после функциональной нагрузки высокой интенсивности ожидаемое время расслабления жевательных мышц составляет 30 с, височных – более 40 с.

Список литературы

1. Szyszka-Sommerfeld, L. Surface Electromyography as a Method for Diagnosing Muscle Function in Patients with Congenital Maxillofacial Abnormalities / L. Szyszka-Sommerfeld, M. Lipski, K. Woźniak // Journal of Healthcare Engineering. 2020. No 1–6. DOI: 10.1155/2020/8846920.
2. Blanksma, N. G. Electromyographic Heterogeneity in the Human Temporalis and Masseter Muscles During Static Biting, Open/Close Excursions, and Chewing / N. G. Blanksma, T. M. G. J. van Eijden // Journal of Dental Research. 1995. Vol. 74, No 6. P. 1318–1327. DOI: 10.1177/00220345950740061201.
3. Bruxism and Masseter and Temporal Muscle Activity Before and After Selective Grinding / J. A. Aristizabal Hoyos [et al.] // International Journal of Odontostomatology. 2017. Vol. 11, No 3. P. 253–259. DOI: 10.4067/s0718-381x2017000300253.

4. Анализ функционального состояния мышц челюстно-лицевой области у стоматологических пациентов с признаками бруксизма в сочетании с синдромом обструктивного апноэ во сне / С. П. Рубникович [и др.] // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2020. Т. 64, № 3. С. 341–349. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-3-341-349>.
5. Сидоренко, А. Н. Сравнительный анализ функционального состояния жевательных мышц у больных с нейромышечной дисфункцией височно-нижнечелюстных суставов при традиционном методе лечения и применении транскраниальной электростимуляции / А. Н. Сидоренко, А. А. Кулаков, А. Х. Каде // Фундаментальные исследования. 2013. Т. 9, № 1. С. 132–136.
6. Самуйлов, И. В. Алгоритм анализа паттерна движения мышечно-суставного комплекса височно-нижнечелюстного сустава на основе обработки многоканальных электромиограмм / И. В. Самуйлов [и др.] // Доклады БГУИР. 2020. Т. 18, № 8. С. 53–61. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-8-53-61>.
7. Баврина, А. П. Современные правила применения корреляционного анализа / А. П. Баврина, И. Б. Борисов // Медицинский альманах. 2021. Т. 3, № 68. С. 70–79.

References

1. Szyszka-Sommerfeld L., Lipski M., Woźniak K. (2020) Surface Electromyography as a Method for Diagnosing Muscle Function in Patients with Congenital Maxillofacial Abnormalities. *Journal of Healthcare Engineering*. (1–6). DOI: 10.1155/2020/8846920.
2. Blanksma N. G., van Eijden T. M. G. J. (1995) Electromyographic Heterogeneity in the Human Temporalis and Masseter Muscles During Static Biting, Open/Close Excursions, and Chewing. *Journal of Dental Research*. 74 (6), 1318–1327. DOI: 10.1177/00220345950740061201.
3. Aristizabal Hoyos J. A., Restrepo de Mejía F., Peralta Pineda A. F., Díaz Deossa Y. T., Triviño Charry A. M., Ballesteros Oliva Y., et al. (2017) Bruxism and Masseter and Temporal Muscle Activity Before and After Selective Grinding. *International Journal of Odontostomatology*. 11 (3), 253–259. DOI: 10.4067/s0718-381x2017000300253.
4. Rubnikovich S. P., Baradina I. N., Denisova Y. L., Samuilov I. V., Davydov M. V., Kulchitsky V. A. (2020) Analysis of the Functional State of the Maxillofacial Region Muscles of Dental Patients with Bruxism Signs in Combination with Obstructive Sleep Apnea Syndrome. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*. 64 (3), 341–349. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-3-341-349> (in Russian).
5. Sidorenko A. N., Kulakov A. A., Kade A. H. (2013) The Comparative Analysis of the Functional Condition of the Masseters with the Patients Having Neuromuscular Dysfunction of Temporomandibular Joints in the Traditional Method of Treatment and Application of the Transcranial Electric Electric Stimulation. *Fundamental Research*. 9 (1), 132–136 (in Russian).
6. Samuilov I. V., Davydov M. V., Saghaymarouf G. G., Baradina I. N., Rubnikovich S. P. (2020) Algorithm for Analyzing the Movement Pattern of the Temporomandibular Joint Muscular-Articular System Based on Multichannel Electromyogram Processing. *Doklady BGUIR*. 18 (8), 53–61. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-8-53-61> (in Russian).
7. Bavrina A. P., Borisov I. B. (2021) Modern Rules of the Application of Correlation Analysis. *Medical Almanac*. 3 (68), 70–79 (in Russian).

Сведения об авторе

Самуйлов И. В., ассист. каф. электронной техники и технологии, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 33 613-88-28
E-mail: i.samuilov@bsuir.by
Самуйлов Иван Владимирович

Information about the author

Samuilau I. U., Assistant at the Department of Electronic Engineering and Technology, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 33 613-88-28
E-mail: i.samuilov@bsuir.by
Samuilau Ivan Uladimiravich