

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет  
"Харківський політехнічний інститут"

# ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
"ХПІ"

*Серія: Інформатика та моделювання*

№ 13 (1338) 2019

Збірник наукових праць

Видання засновано у 1961 році

Харків  
НТУ "ХПІ", 2019

**Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".** Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2019. – № 13 (1338). – 191 с.

**Державне видання**

**Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України**

**КВ № 5256 від 2 липня 2001 року**

Збірник виходить українською, російською та англійською мовами.

*Вісник Національного технічного університету "ХПІ" внесено до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук", затвердженого наказом Міністерства освіти і науки України № 1328 (додаток 8) від 21.12.2015 р.*

*Серія "Інформатика та моделювання" Вісника НТУ "ХПІ" включена у наукометричні бази Copernicus (Польща), Elibrary (РІНЦ), DOAJ (Швеція), Google Scholar і базу даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).*

**Головний редактор**

Сокол Є. І., д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України, НТУ "ХПІ", Україна

**Заст. головного редактора**

Марченко А. П., д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПІ", Україна

**Секретар**

Горбунов К. О., доц., НТУ "ХПІ", Україна

**Редакційна колегія серії:**

*Відповідальний редактор:* Дмитрієнко В. Д., д-р техн. наук, проф.

*Відповідальний секретар:* Леонов С. Ю., д-р техн. наук, проф.

*Члени редколегії:*

О.П. Арсенєва, д-р техн. наук, проф.;

Є.Г. Жиликов, д-р техн. наук, проф.;

О.Ю. Заковоротний, д-р техн. наук, проф.;

М.І. Корсунов, д-р техн. наук, проф.;

Г.А. Кучук, д-р техн. наук, проф.;

О.С. Логунова, д-р техн. наук, проф.;

Р.П. Мигущенко, д-р техн. наук, проф.;

А.І. Поворознюк, д-р техн. наук, проф.;

Г.А. Самігуліна, д-р техн. наук, проф. (Казахстан);

О.А. Серков, д-р техн. наук, проф.;

Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.;

Г.Є. Філатова, д-р техн. наук, доц.;

А.Г. Трифонов, д-р техн. наук, проф. (Белорусь);

Х. Гамзаєв, д-р техн. наук, проф. (Азербайджан);

Б.А. Худаяров, д-р техн. наук, проф. (Узбекистан);

I. Zanevsky, PhD, prof. (Polska);

D. Sakara, PhD, prof. (Switzerland);

Jiri Jaromir Klemes, Dr., Prof (Czech Republic);

Issa Shehabat, Dr., Assistant Professor (Jordan);

David J. Kukulka, PhD (USA);

Badur Tchunashvili, Dr., Prof (Georgia);

Javad Khamisabadi, Dr., (Iran).

**Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ "ХПІ"**

**Протокол № 07 від 05.07.2019 р.**

**ISSN 2079-0031 (Print)**

**ISSN 2411-0558 (Online)**

© Національний технічний університет "ХПІ", 2019

УДК 004.9:612

DOI: 10.20998/2411-0558.2019.13.15

**О. М. ДАЦОК**, канд. техн. наук, доц. каф. БМІ ХНУРЕ, Харків,

**І. В. ПРАСОЛ**, д-р техн. наук, проф. каф. БМІ ХНУРЕ, Харків,

**О. А. ЄРОШЕНКО**, лаборант каф. БМІ ХНУРЕ, Харків

## **ПОБУДОВА БІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ М'ЯЗОВОЇ ЕЛЕКТРОСТИМУЛЯЦІЇ**

Розглянуті особливості побудови біотехнічної системи електростимуляції м'язів людини під дією стимулюючих сигналів різної скорочувальної здатності з урахуванням індивідуального стану нервово-м'язового апарату людини. Система дозволяє здійснювати безперервний контроль ефективності проведення терапевтичних процедур за рахунок реєстрації сигналу електроміограми поверхневими електродами та узгодження параметрів сигналу електростимуляції з характеристиками стимульованої мускулатури. Іл.: 3. Бібліогр.: 16 назв.

**Ключові слова:** електростимуляція; електроміограма; нервово-м'язовий апарат; терапевтична процедура; параметри сигналу; поверхневі електроди.

**Постановка проблеми.** Процедури електричного масажу широко застосовуються для профілактики захворювань, підвищення ефективності результатів тренувань у спортсменів, а також при різних способах лікування і відновлення організму. Вони виконуються за допомогою спеціальних апаратів, які здійснюють електричний імпульсний вплив на м'язові структури людини.

Параметри стимулюючого впливу не завжди оптимально відповідають конкретному пацієнту або обраній ділянці тіла, що призводить до недостатньої ефективності терапевтичних процедур, подовження термінів реабілітації. Усунення недоліків можливе внаслідок коригування параметрів електричних стимулів залежно від даних міографічних досліджень конкретного пацієнта.

**Аналіз літератури.** У дослідженні [1] показано, що електрична та/або електромеханічна стимуляція відіграють значну роль в регенерації функціональних можливостей в м'яких тканинах, таких як сухожилля, м'язи і нерви.

В роботі [2] пояснюється, як електрична стимуляція може впливати на об'єм та розмір м'язів, м'язовий тонус, м'язову атрофію і м'язову силу. Розглядається різновиди електричної стимуляції (ES) – нейром'язова електрична стимуляція (NMES) та крізьшкірна електрична стимуляція (TES), коли електричний струм застосовується для стимуляції нервів або нервових закінчень, які іннервують м'язи під шкірою. Електрична

стимуляція може проводитися поверхнево на шкіру (крізьшкірно) або безпосередньо в м'яз або м'язи (внутрішньом'язово). Якщо периферичний нерв можна стимулювати, отриманий імпульс збудження буде передаватися нервом на кінцеві пластини м'язового волокна, що призводить до скорочення м'язів. Аналізується вплив простої електричної стимуляції на м'язову масу і міцність.

У дослідженні [3] показано, що слабкість скелетних м'язів є помітною особливістю у пацієнтів з ревматоїдним артритом (РА). Автори досліджували, чи є тренування за допомогою нервово-м'язової електростимуляції (NMES) захистом від дисфункції скелетних м'язів. Отримані дані свідчать про те, що оптимізація параметрів NMES запобігає м'язовій слабкості при певних видах артритів і може бути ефективним методом лікування дисфункції м'язів у пацієнтів з РА.

### **Фізіологічні основи адаптивної електром'язової стимуляції.**

Електростимуляція (ЕС) скелетних м'язів, які є основою опорно-рухового апарату людини, дає позитивний лікувальний, профілактичний і тренувальний ефекти. ЕС призводить не тільки до збудження нервово-м'язових структур, але й впливає на трофічні процеси в м'язі і в усьому організмі, що обумовлює неспецифічне посилення основних функцій єдиного організму [4].

В основі дослідження м'язів лежить визначення параметрів потенціалів окремих рухових одиниць, що є функціональним елементом кожного скелетного м'яза. Основними параметрами потенціалів рухових одиниць (ПРО) є їх тривалість і амплітуда [5].

Стимуляція м'язової тканини проводиться за допомогою спрямованого збудження і скорочення певної групи м'язів, причому здійснюється це одночасно, щоб посилити обмінно-трофічні процеси, які спрямовані на забезпечення роботи м'язів енергетичним запасом.

Електрична стимуляція успішно поєднується з традиційною лікарською терапією, а в ряді випадків дозволяє домогтися лікувального ефекту там, де інші методи лікування не дають результату. Методи ЕС, що застосовуються в медицині, залежать від конкретного об'єкта впливу.

Залежно від амплітуди сигналів і порога збудження нервово-м'язової структури, що стимулюється розрізняють підпороговий режим електростимуляції, пороговий і надпороговий [6].

Підпороговий режим впливу не викликає скорочення м'яза, який реєструється візуально або за допомогою датчиків. Пороговий режим це такий вплив, при якому відбувається ледь реєстроване скорочення стимульованого м'язу. Надпороговий режим – це вплив, при якому скорочення м'язу, що стимулюється, більше порогового, з різним ступенем вираженості. Безпосередній вплив на нервово-м'язові структури

виявляється сильнішим, чітко виражений еферентний вплив на всі рівні рухового аналізатора і цілісний організм. Викликане максимальне скорочення м'яза може підтримуватися довше і повторюватися більшу кількість разів, ніж при довільних зусиллях. У порівнянні зі звичайним тренуванням електростимуляція нервово-м'язового апарату має певні переваги [6]. Для реалізації адаптивної електром'язової стимуляції необхідно використовувати пороговий режим.

Важливою властивістю нервово-м'язових структур при подразненні електричними сигналами є залежність збуджуваності від швидкості зміни амплітуди стимулюючого сигналу [7].

Електростимуляція збільшує кровотік в м'язах, надає болезаспокійливу і протизапальну дію, попереджає виникнення атрофії від бездіяльності, уповільнює її розвиток при денервації, знижує тонус при наявності спастичності, покращує регенерацію нервів.

Під час проведення ЕС варто враховувати особливості процесів, пов'язаних зі зміною міжелектродного опору. Опір шкіри і підшкірних тканин суттєво розрізняються. Ділянки м'язової тканини, що знаходиться під біполярними електродами, умовно можна вважати гомогенними, проте різні органи і частини тіла не можна характеризувати однаковими значеннями питомого опору, так як між далеко розташованими електродами виявляються різномірні тканини і органи. Доцільним є біполярне накладення пари електродів одного каналу електростимулятора на м'яз, що стимулюється, і небажано (навіть неприпустимо) їх рознесення на різні групи м'язів і тим більше на одноім'язи протилежної сторони тіла.

Опір міжелектродного кола залежить від сили струму, характер залежності відповідає розчину електроліта – чим менше щільність струму, тим більше опір кола.

Таким чином, при проведенні ЕС нервово-м'язового апарату важливий раціональний вибір її режимів і поєднання тонічних і кінетичних скорочень; це суттєво впливає на збільшення маси, розвиток сили, підвищення збудливості і працездатності м'язів.

**Мета статті** – теоретичний аналіз можливості регулювання параметрів впливу під час проведення процедур електростимуляції м'язів залежно від даних міографічних досліджень пацієнта; розробка структурної схеми біотехнічної системи адаптивної електром'язової стимуляції, формування основних медичних та технічних вимог щодо такої системи.

**Спосіб формування сигналу зворотного зв'язку.** Для якісної і кількісної оцінки стану нервово-м'язового апарату людини за допомогою

електроміограми (ЕМГ) може бути використаний інформаційний метод частотно-часового аналізу на основі спектрограм.

Сумарна електроміографія є визнаним методом дослідження нервово-м'язової системи, оснований на реєстрації і якісно-кількісному аналізі сумарної біоелектричної активності сукупності рухових одиниць за допомогою нашкірних електродів. Параметри ЕМГ сигналу, що реєструється, служать об'єктивним діагностичним показником функціонального стану м'язових груп [8], [9].

Якісний аналіз структури нестационарного за своєю природою ЕМГ-сигналу і динаміки його параметрів в процесі м'язового скорочення виконується на основі спектрограми, що реалізує графічну візуалізацію амплітудної, частотної та часової складових біомедичного сигналу в реальному режимі часу. Отже, параметри стимулюючих впливів можуть бути підібрані на основі даних ЕМГ-сигналу, що дозволяє реалізувати систему для проведення індивідуальних терапевтичних процедур [10].

Перспективним підходом при цьому є застосування біотехнічного зворотного зв'язку. Контуром біотехнічного зворотного зв'язку передаються електричні параметри, що характеризують біологічний стан об'єкта. На основі цієї інформації відповідно до цільової функції проводиться автоматичне керування параметрами сигналу впливу. Таким чином, здійснюється узгодження параметрів біооб'єкту і технічних компонентів системи, вироблення оптимального лікувального впливу [11].

Розглянемо особливості ЕМГ-сигналу для окремих груп м'язів людини під час виконання фіксованих за інтенсивністю фізичних вправ. На рис. 1 наведено ЕМГ-сигнал тренованого м'язу *m. biceps brachii* в нормі.

ЕМГ-сигнал знімали з двоголового м'яза плеча. Анатомічне розташування м'язів показано на рис. 2, а [12], місця розташування електродів виділено на рис. 2, б. Для запису ЕМГ-сигналу виконувался рух згинання та розгинання руки. Визначення середньої амплітуди ЕМГ-сигналу здійснюється за формулу:

$$A_{cp} = (\sum_{i=1}^N |A_i|) / N, \quad (1)$$

де  $A_i$  – амплітуда  $i$ -го відліку зареєстрованого сигналу,  $N$  – число відліків сигналу.

Середні значення амплітуди ЕМГ-сигналу для тренованих і нетренованих м'язів *m. biceps brachii* становлять:

– середня амплітуда ЕМГ-сигналу для тренованих м'язів дорівнює  $345,62 \pm 148,10$  мкВ,

– середня амплітуда ЕМГ-сигналу для нетренованих м'язів дорівнює  $189,27 \pm 84,00$  мкВ.

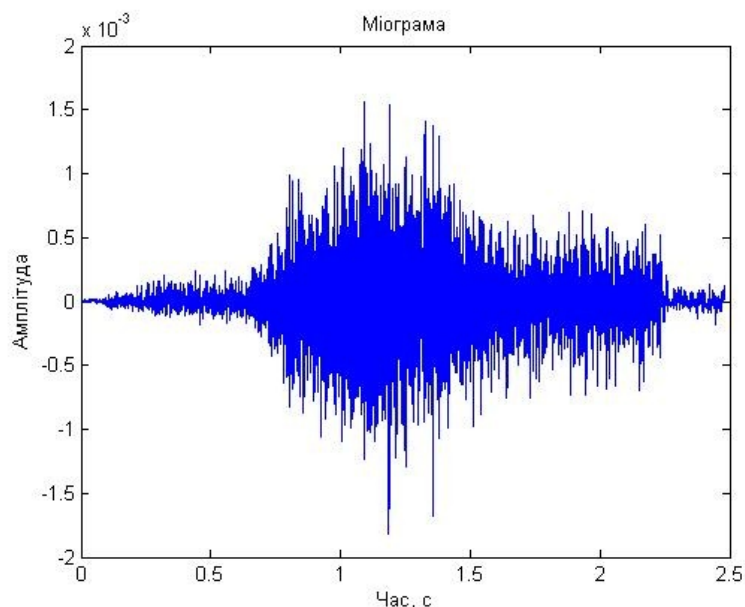
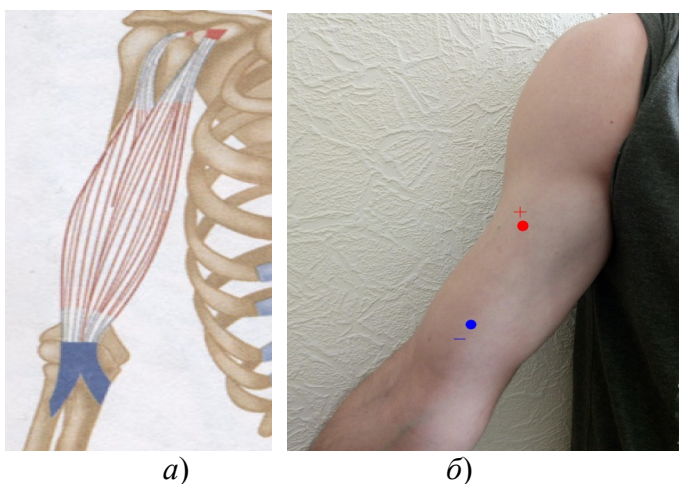


Рис. 1. ЕМГ-сигнал тренованого м'язу *m. biceps brachii*



а) б)

Рис. 2. Двоголовий м'яз плеча,

а – анатомічне розташування двоголового м'яза плеча, б – місце розташування електродів

Таким чином, значення середньої амплітуди окремої групи м'язів пацієнта може слугувати сигналом зворотного зв'язку в системі для проведення індивідуальних процедур ЕС.

**Структура біотехнічної системи адаптивної м'язової електростимуляції.** З метою підвищення ефективності терапевтичних процедур пропонується структура біотехнічної системи (рис. 3), яка реалізує спосіб формування параметрів впливу міоелектростимуляції пацієнта залежно від поточного стану м'язів.

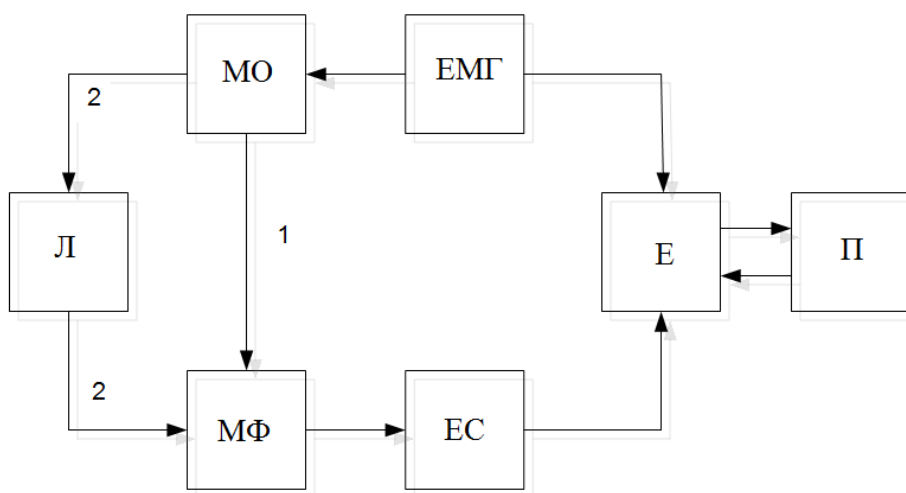


Рис. 3. Структурна схема біотехнічної системи адаптивної м'язової електростимуляції

Л – особа, що приймає рішення (ОПР), лікар; ЕМГ – модуль реєстрації електроміограми; МО – модуль обробки результатів ЕМГ;

ЕС – електростимулятор; МФ – модуль формування параметрів впливу; Е – електродна система; П – пацієнт

Мікропроцесорний електростимулятор (ЕС) формує послідовність електричних імпульсів із заданими параметрами. Електродна система (Е) забезпечує, по-перше, передачу імпульсів на нервові закінчення, що призводить до активного скорочення м'язів, по-друге, реєстрацію сигналів ЕМГ. Модуль (МО) визначає основні параметри ЕМГ, що дозволяє здійснювати автоматичне коригування параметрів стимуляції (коло зворотного зв'язку 1). В системі передбачена можливість попереднього налаштування, зміни та коригування параметрів стимуляції безпосередньо особою, яка приймає рішення (Л) (коло зворотного зв'язку 2). Додаткове коло зворотного зв'язку необхідно, насамперед, у випадках, коли зміна параметрів стимуляції здійснюється внаслідок змін стану пацієнта, що не вимірюються інструментально (почервоніння шкіри, больові відчуття тощо).

Запропонована БТС забезпечує можливість обліку індивідуальних особливостей пацієнтів і вибору форми і параметрів стимулюючих впливів, оптимальних в певному сенсі, для впливу на нейром'язові структури з метою досягнення позитивного терапевтичного і тренувального ефекту.

**Медичні та технічні вимоги щодо окремих елементів БТС адаптивної електростимуляції.** Для підтримання сталих характеристик ЕМГ-сигналу необхідно здійснювати правильне позиціонування електродів на поверхні шкіри. Для отримання максимальної амплітуди сигналу електроди накладаються на так звані рухові точки. Розташування цих точок достатньо добре відомо. Для отримання стабільного контакту електрод-шкіра і зменшення імпедансу шкірного покриву, місце накладення електродів необхідно належним чином підготувати [13].

Необхідно використовувати електроди з матеріалів, які б забезпечували стабільний контакт шкіра-електрод протягом довгого часу, а також були мало схильні до ефектів поляризації. У цьому випадку доцільно використовувати електроди з срібла, хлорсрібні електроди, або з золота [14].

Геометрія електродів впливає на амплітуду сигналу, що знімається, а також на рівень перехресних перешкод. Основними параметрами є міжелектродна відстань і площа поверхні, зайнята електродом. Амплітуда сигналу буде прямо пропорційна міжелектродній відстані, в той час як смуга пропускання зі збільшенням цієї відстані буде зменшуватися. Оптимальною є відстань в межах 8 – 30 мм [15]. Збільшення площі поверхні електродів веде до збільшення амплітуди одержуваного сигналу, однак зі збільшенням амплітуди різко зростає вплив сусідніх м'язів, що створює перехресні перешкоди в корисному сигналі.

Аналіз залежності амплітуди ЕМГ-сигналу від відстані між електродами прямокутної форми з шириною 1 – 2 мм і довжиною 10 мм дозволяє вважати, що в розглянутому інтервалі м'язове волокно можна вважати однорідним провідником [16].

Для процедури електростимуляції застосовуються електроди у вигляді металевих пластин, які накладаються через серветку, змочену в спеціальному розчині. Електроди на клейовий основі зручні тим, що з ними можна вільно пересуватися, а їх недоліком є швидке забруднення. Оптимальними для процедури адаптивної ЕС є багаторазові електроди з струмопровідною вуглецевою тканиною, що призначені для роботи з усіма типами електрофізіотерапевтичних апаратів.

**Висновки.** Таким чином, запропонована структура біотехнічної системи електростимуляції м'язів опорно-рухового апарату людини зі

зворотним зв'язком на основі реєстрації поверхневими електродами сигналу ЕМГ пацієнта і подальшої його обробки дозволяє здійснити поточний контроль ефективності терапевтичних впливів за рахунок оптимального підбору параметрів стимулюючих впливів. На прикладі окремої групи м'язів визначений розкид усереднених значень амплітуди ЕМГ-сигналу під час скорочень для тренуваних і нетренуваних м'язів, що може бути підґрунтям для розробки алгоритмів керування параметрами ЕС та критерієм ефективності терапевтичної процедури. Такі пристрої можуть знайти широке застосування в практиці підготовки спортсменів, для оздоровчих процедур, а також в реабілітаційних центрах.

**Список літератури:**

1. Hoop M. Ultrasound-mediated piezoelectric differentiation of neuron-like PC12 cells on PVDF membranes / M. Hoop, X. Chen, A. Ferrari, F. Mushtaq, G. Ghazaryan, T. Tervoort, D. Poulikakos, B. S. Nelson, Pané // Scientific Reports 7. – 2017. – Article number: 4028.
2. Azman M.F. The Effect of Electrical Stimulation in Improving Muscle Tone (Clinical) / M.F. Azman, A.W. Azman // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2017.
3. Himori K. Neuromuscular electrical stimulation prevents skeletal muscle dysfunction in adjuvant-induced arthritis rat / K. Himori, D. Tatebayashi, K. Kanzaki, M. Wada, H. Westerblad, J.T. Lanner // PLoS ONE. – 2017. – Vol. 12 (6).
4. Ерошенко О.А. О построении системы мышечной электростимуляции для курсантов / О.А. Ерошенко, И.В. Прасол, В.В. Семенец // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. – 2018. – Харків: НАНГУ. – С. 120-122.
5. Никитин С.С. Электромиографические стадии денервационно-реиннервационного процесса при нервно-мышечных болезнях: необходимость ревизии / С.С. Никитин // Нервно-мышечные болезни. – Москва. – 2015. – № 2. – С. 16-24.
6. Колесников Г.Ф. Электростимуляция нервномышечного аппарата / Г.Ф. Колесников. – Ленинград: Здоровье, 1977.
7. Ерошенко О.А. Информационные технологии определения параметров стимулов систем электромиостимуляции / О.А. Ерошенко, И.В. Прасол // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. – Харків: НАНГУ, 2018. – С. 122-124.
8. Меженная М.М. Метод частотно-временного анализа суммарной электромиограммы в оценке функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека / М.М. Меженная, А.Н. Осипов // Проблемы физики, математики и техники. – Минск: БГУИР, 2012. – № 1. – С. 105-112.
9. Меженная М.М. Частотно-временной анализ суммарной электромиограммы в качественной и количественной оценке функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека / М.М. Меженная // Биомедицинская радиоэлектроника. – Минск: БГУИР, 2012. – № 2. – С. 3-11.
10. Прасол И.В. Индивидуальный электромассажный терапевтический аппарат / И.В. Прасол, О.А. Ерошенко // 6-й Международный радиоэлектронный форум "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития". – МРФ-2017. Конференция "Проблемы биомедицинской инженерии. Наука и технологии". Сборник научных трудов. – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ. – Издательство "Точка", 2017. – С. 43-44.

11. Осипов А.Н. Сложная биотехническая обратная связь в системах электростимуляции / А.Н. Осипов, С.К. Дик, К.Г. Сеньковский. // Медицинская техника. – Москва. – 2002. – № 6. – С. 27-29.
12. Джерми К. Атлас скелетно-мышечной анатомии / К. Джерми // Издательство АСТ. 2008. – 382 с.
13. Luca De C.J. The use of surface electromyography in biomechanics / C.J. Luca De // Journal of Applied Biomechanics. – 1997. – Vol. 13 (2).
14. Сафин Д.Р. Оценка эффективности различных конструкций электродов и усилителей биосигналов в системах управления протезами / Д.Р. Сафин, И.С. Пильщиков, М.А. Ураксеев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – Пенза: ГОУ ВПО "ПГУ". – 2009. – № 2 (10). – С. 88-101.
15. Roy S.H. Electro-Mechanical stability of surface EMG sensors / S.H. Roy, G. Luca De, S. Cheng, A. Johansson, L.D. Gilmore, C.J. Luca De // Medical and biological engineering and computing. – 2007. – Vol. 45.
16. Осипов А.Н. Влияние межэлектродного расстояния на энергетические характеристики электромиограмм / А.Н. Осипов, В.М. Бондарик, Д.Ф. Кузнецов // Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ-БГУИР (Минск, 18-19 марта 2014 года): материалы конф. в 2 ч. Ч. 2. – Минск: БГУИР, 2014. – С. 115-116.

#### **References:**

1. Hoop, M., Chen, X., Ferrari, A., Mushtaq, F., Ghazaryan, G., Tervoort, T., Poulikakos, D., Nelson, B. and Pané, S. (2017), "Ultrasound-mediated piezoelectric differentiation of neuron-like PC12 cells on PVDF membranes", *Scientific Reports* 7, Article number: 4028.
2. Azman, M.F. and Azman, A.W. (2017), "The Effect of Electrical Stimulation in Improving Muscle Tone (Clinical)", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*.
3. Himori, K., Tatebayashi, D., Kanzaki, K., Wada, M., Westerblad, H., Lanner, J.T., et al. (2017), "Neuromuscular electrical stimulation prevents skeletal muscle dysfunction in adjuvant-induced arthritis rat", *PLoS ONE*, Vol. 12 (6).
4. Yeroshenko, O.A., Prasol, I.V., and Semenets, V.V. (2018), "On building a system of muscle electrostimulation for students", *Application of information technologies in the preparation and operation of law enforcement forces*, Kharkiv, pp. 120-122.
5. Nikitin, S.S. (2015), "Electromyographic stages of the denervation-reinnervation process in neuromuscular diseases: the need for revision", *Neuromuscular disease*, Moscow, No. 2, pp. 16-24.
6. Kolesnikov, G.F. (1977), *Electrical stimulation of the neuromuscular apparatus*, Health, Leningrad.
7. Yeroshenko, O.A., and Prasol, I.V. (2018), "Information technologies for determining parameters of stimuli of electromyostimulation systems", *Application of information technologies in the preparation and operation of law enforcement forces*, Kharkiv, Materials International sci. pract. conf, pp. 122-124.
8. Mezhen, M.M., and Osipov, A.N. (2012), "The method of time-frequency analysis of total electromyogram in assessing the functional state of the human neuromuscular apparatus", *Problems of physics, mathematics and technology*, Minsk, BSUUR, pp. 105-112.
9. Mezhen, M.M. (2012), "Time-frequency analysis of the total electromyogram in the qualitative and quantitative assessment of the functional state of the human neuromuscular apparatus", *Biomedical electronics*, Minsk, BSUUR, No. 2, pp. 3-11.
10. Prasol, I.V., Yeroshenko, O.A. (2017), "Individual electromassage therapeutic apparatus", *The 6th International Radioelectronic Forum "Applied Radioelectronics. State and development prospects"*, Publisher "Tochka", Kharkiv, pp. 43-44.

11. Osipov, A.N., Dick, S.K., Senkovsky, K.G. (2002), "Complicated biotechnical feedback in electrostimulation systems", *Medical equipment*, Moscow, No. 6, pp. 27-29.
12. Jermi, K. (2008), *Atlas of musculoskeletal anatomy*, AST, 382 p.
13. Luca De, C.J. (1997), "The use of surface electromyography in biomechanics", *Journal of Applied Biomechanics*, Vol. 13 (2).
14. Safin, D.R., Sawers, and I.S., Urakseev, M.A. (2009), "Evaluation of the effectiveness of various designs of electrodes and biosignal amplifiers in prosthetic control systems", *Proceedings of higher educational institutions. Volga region. Technical science*, Penza, pp. 88-101.
15. Roy, S.H., Luca De, G., Cheng, S., Johansson, A., Gilmore, L.D. and Luca De, C.J. (2007), "Electro-Mechanical stability of surface EMG sensors". *Medical and biological engineering and computing*, Vol. 45.
16. Osipov, A.N., Bondarik, V.M., and Kuznetsov, D.F. (2014), "Influence of interelectrode distance on the energy characteristics of electromyograms", *International Scientific and Technical Conference dedicated to the 50th anniversary of MRTI-BSUIR*, Conferences materials in 2 Parts. Part 2, Minsk, pp. 115-116.

*Статтю представив д-р фіз-мат. наук, проф. ХНУРЕ Бух А.І.*

*Надійшла (received) 30.04.2019*

Datsok Oleh, Cand.Sc.Tech, Associate Professor  
Kharkiv National University of Radio Electronics  
Nauky Ave. 14, Kharkiv, Ukraine, 61166  
Tel: (057) 7021-364, e-mail: [oleh.datsok@nure.ua](mailto:oleh.datsok@nure.ua)  
ORCID ID: 0000-0003-4489-3819

Prasol Igor, Dr.Sc.Tech, Professor  
Kharkiv National University of Radio Electronics  
Nauky Ave. 14, Kharkiv, Ukraine, 61166  
Tel: (057) 7021-364, e-mail: [igor.prasol@nure.ua](mailto:igor.prasol@nure.ua)  
ORCID ID: 0000-0003-2537-7376

Yeroshenko Olha, Laboratory assistant  
Kharkiv National University of Radio Electronics  
Nauky Ave. 14, Kharkiv, Ukraine, 61166  
Tel: (057) 7021-364, e-mail: [olha.yeroshenko@gmail.com](mailto:olha.yeroshenko@gmail.com)  
ORCID ID: 0000-0001-6221-7158

УДК 004.9:612

**Побудова біотехнічної системи м'язової електростимуляції / Дацок О.М., Прасол І.В., Єрошенко О.А.** // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2019. – № 13 (1338). – С. 165 – 175.

Розглянуто особливості побудови біотехнічної системи електростимуляції м'язів людини під дією стимулюючих сигналів різної скорочувальної здатності з урахуванням індивідуального стану нервово-м'язового апарату людини. Система дозволяє здійснювати безперервний контроль ефективності проведення терапевтичних процедур за рахунок реєстрації сигналу електроміограми поверхневими електродами та узгодження параметрів сигналу електроміостимуляції з характеристиками стимульованої мускулатури. Ил.: 3. Бібліогр.: 16 назв.

**Ключові слова:** електроміостимуляція; електроміограма; нервово-м'язовий апарат; терапевтична процедура; параметри сигналу; поверхневі електроди.

УДК 004.9:612

**Построение биотехнической системы мышечной электростимуляции / Дацок О.М., Прасол И.В., Єрошенко О.А.** // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2019. – № 13 (1338). – С. 165 – 175

Рассмотрены особенности построения биотехнической системы электростимуляции мышц человека при воздействии стимулирующими сигналами различной сократительной способности с учетом индивидуального состояния нервно-мышечного аппарата человека. Система позволяет осуществлять непрерывный контроль эффективности проведения терапевтических процедур за счет регистрации сигнала электромиограммы поверхностными электродами и согласовывать параметры сигнала электромиостимуляции с характеристиками стимулируемой мышцы. Ил.: 3. Библиогр.: 16 назв.

**Ключевые слова:** электромиостимуляция; электромиограммы; нервно-мышечный аппарат; терапевтическая процедура; параметры сигнала; поверхностные электроды.

UDC 004.9:612

**Construction of biotechnical system of muscular electrical stimulation / Datsok O.M., Prasol I.V., Yeroshenko O.A.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2019. – № 13 (1338). – P. 165 – 175.

The features of the construction of the biotechnical system of human muscle stimulation when exposed to stimulating signals of various contractility taking into account the individual state of the human neuromuscular apparatus. System allows continuous monitoring of the effectiveness of therapeutic procedures by recording the electromyogram signal with surface electrodes and matching the parameters of the electromyostimulation signal with the characteristics of the muscle being stimulated. Figs.: 3. Refs.: 16 titles.

**Keywords:** electrical stimulation; electromyogram; neuromuscular apparatus; therapeutic procedure; parameters of the electromyostimulation signal; surface electrodes.

---

|                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Мороз В.В., Швандт М.А.</b> Дослідження руху та поведінки лабораторних тварин методами детектування і трекінгу об'єктів ..... | 93  |
| <b>Повхан І.Ф.</b> Задача загальної оцінки складності максимального побудованого логічного дерева класифікації .....             | 104 |

### **Информационные технологии**

|                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Сіряк Р.В., Скарга-Бандурова І.С., Шумова Л.О.</b> Особливості реалізації технології обробки даних для розпізнавання жестів .....     | 117 |
| <b>Суздаль В.С., Тавровский И.И.</b> Инвариантные по выходу системы управления выращиванием щелочногалоидных монокристаллов ....         | 128 |
| <b>Tikhonov V.I., Tykhonova O.V.</b> The math modeling cognitive issues of general system theory .....                                   | 137 |
| <b>Ширяева О.И., Самигулин Т.И.</b> Разработка искусственной иммунной системы управления многомерным объектом нефтегазовой отрасли ..... | 155 |

### **Биологические и медицинские приборы и системы**

|                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Дацок О.М., Прасол І.В., Єрошенко О.А.</b> Побудова біотехнічної системи м'язової електростимуляції .....                                                        | 165 |
| <b>Самигулина Г.А., Самигулина З.И.</b> Информационная система для молекулярного дизайна лекарственных соединений на основе модельно-ориентированного подхода ..... | 176 |