

## ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ НА БАЗІ ЕРГОГРАФА МОССО ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ НЕРВОВО-М'ЯЗОВОГО АПАРАТУ СПОРТСМЕНІВ

*У роботі проаналізована можливість використання створеного авторами програмно-апаратного комплексу на основі ергографа Моссо для аналізу показників механічної роботи м'язів спортсмена. Встановлено, що комплекс забезпечує реєстрацію та відображення у режимі реального часу ергограми з високою часовою (від 10 мс) та просторовою (1 мм) роздільною здатністю. Експорт даних у Excel дозволяє виконати їх збереження та графічний і статистичний аналіз. Створений комплекс перспективний для оцінювання функціонального стану м'язів.*

**Ключові слова:** ергограма, спорт, швидкість, амплітуда, скорочення м'язів.

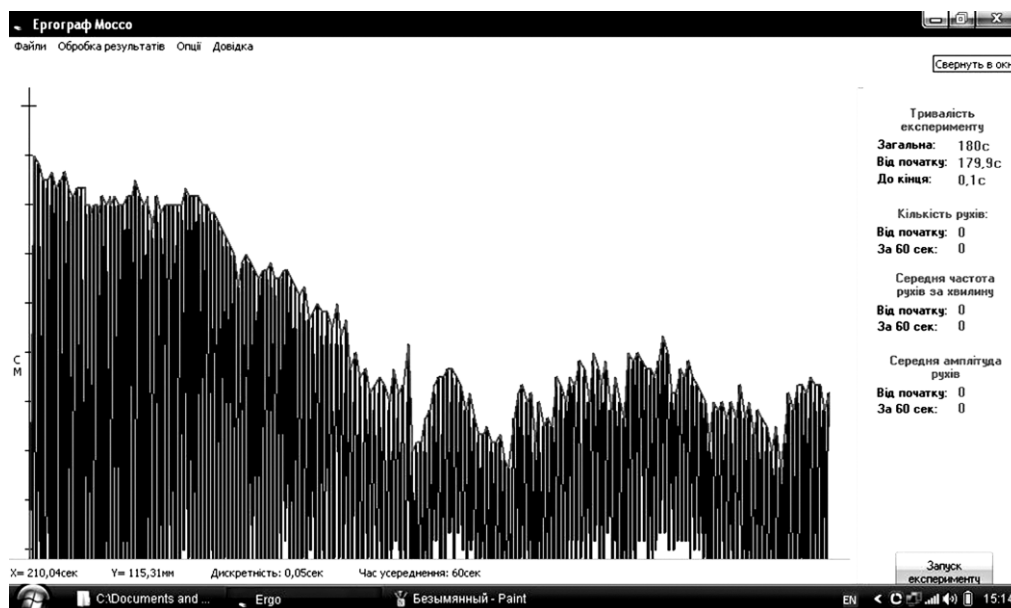
**Постановка проблеми.** Передумовами досягнення високих спортивних результатів у сучасних умовах є детальний аналіз функціональних можливостей нервово-м'язового апарату спортсменів. Отримані за допомогою такого аналізу відомості лежать в основі спортивного добору, індивідуалізації техніки виконання вправи, оцінювання рівня розвитку втомі тощо. Одними із засобів реєстрації та аналізу скорочення м'язів є ергографи різних конструкцій [1]. Серед них можна виділити ергограф Моссо, призначений для механічної реєстрації скорочень м'язів-згиначів пальців кисті [5, 6]. Завдяки точній фіксації положення руки досліджуваного, реєстрації рухів одного з пальців кисті, можливості виконання роботи у різному темпі та із використанням різних навантажень, він став точним інструментом, застосування якого у фізіологічних дослідженнях дозволило виявити низку закономірностей функціонування м'язів людини [6]. Попри свої переваги, ергограф Моссо не дозволяє виконувати реєстрацію та аналіз рухів на основі сучасних програмних засобів, детально характеризувати швидкісні параметри руху на різних ділянках кривої. Водночас саме швидкісні характеристики скорочення перспективні для визначення особливостей композиції м'язових волокон та функціонального стану м'язів [4, 9]. Тому перед нами постало завдання створення програмно-апаратного комплексу на основі ергографа Моссо та аналізу за його допомогою характеристик скорочення м'язів представників різних спортивних спеціалізацій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні відомо, що представники різних спортивних спеціалізацій володіють певними особливостями скорочень м'язів, зумовленими як їхнім складом (композицією) [7, 8, 10, 11], так і особливостями нервової регуляції. Детальний аналіз кривої скорочення м'язу може лягти в основу методик неінвазивного оцінювання генетично зумовлених властивостей м'язової тканини [4]. Це обумовлює перспективність використання удосконалених ергографів для визначення характеристик скоротливого апарату, які лежать в основі добору та спеціалізації спортсменів. Саме тому були здійснені спроби удосконалення ергографа Моссо. Серед них можна назвати роботи С.Л. Устьянцева та І.Б. Ісупова з В.В. Самановим [2, 3]. Таким чином, на сьогодні триває пошук та створення засобів реєстрації та аналізу механічної роботи м'язів спортсменів.

Основною **метою** було створення на основі ергографа Моссо засобу для реєстрації та програмного аналізу механічної роботи м'язів спортсменів.

**Виклад основного матеріалу.** У створеному програмно-апаратному комплексі використана схема фіксації кінцівки та руху тягарця, аналогічна до класичного ергографа Моссо. Розроблена оптоелектрична система фіксації рухів, що з'єднується із комп'ютером через USB-вхід, а також програмний інтерфейс реєстрації та аналізу рухів. Програмний інтерфейс дозволяє задавати основні параметри виконання дослідів – тривалість, наявність та частоту звукового супроводу (визначає темп рухів), часову дискретність реєстрації (від 10 мс), час усереднення (від 5 до 60 с), максимальний шлях руху тягарця та його вагу. Перед початком реєстрації виконується калібрування приладу, на основі якого визначається просторова дискретність реєстрації (у використаних в публікації результатах вона становила 72 імпульси/мм). Під час дослідів рух тягарця (часовий хід скорочення) відображається у режимі реального часу (рис. 1).

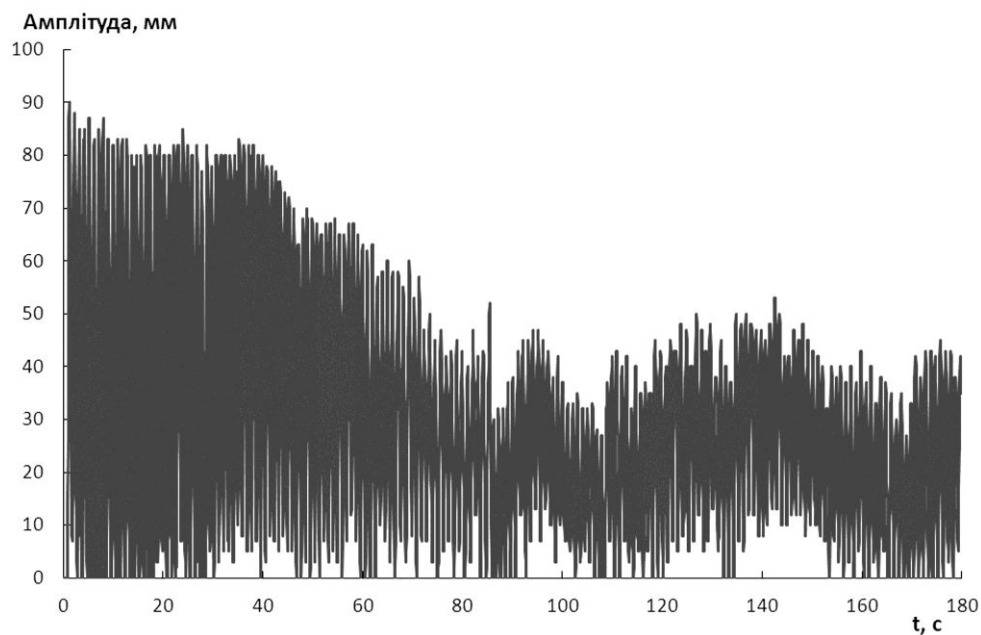
Одночасно відображаються показники тривалості експерименту, виконаної кількості скорочень та усереднена (за весь час дослідів та упродовж останніх 10 с) частота і амплітуда рухів. Після завершення дослідів отримані дані можна експортувати у Excel для збереження та графічного й математико-статистичного аналізу.



**Рис. 1. Основне вікно інтерфейсу програмно-апаратного комплексу на основі ергографа Моссо в момент завершення дослідження (тривалість запису – 3 хв).**

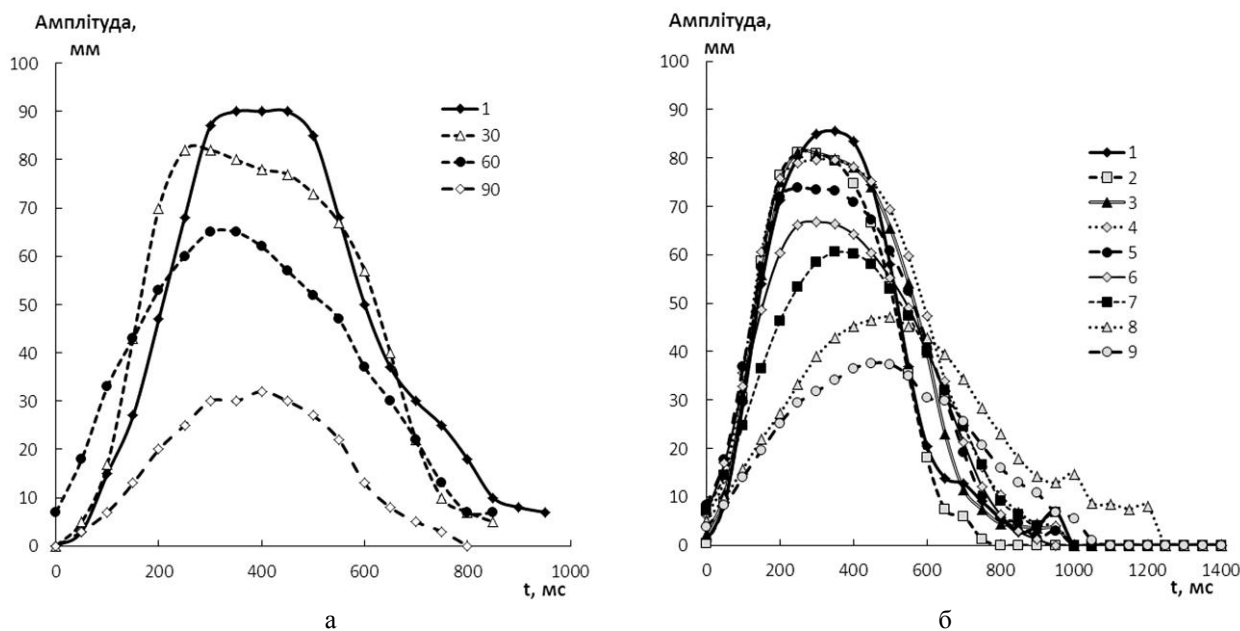
У апробації програмно-апаратного комплексу на основі ергографа Моссо взяли участь старери (біатлон, I розряд – КМС) та спринтери (біг на короткі дистанції, КМС–МС) віком 17–22 років. Досліджувані виконували серію динамічних скорочень тривалістю 3 хв з частотою 30 скорочень за хвилину. Вага тягарця становила 2 кг. Часова роздільна здатність реєстрації – 50 мс, просторова – 1 мм. Запис ергограми експортували у табличний формат Microsoft Office Excel 2010 для графічного та статистичного аналізу. Як ілюстративний матеріал у статті використаний аналіз ергограми одного з учасників дослідження – бігуна на короткі дистанції кваліфікацією КМС.

Аналіз ергограми (рис. 2) вказує на суттєве зменшення амплітуди запису упродовж дослідження. Зміни розпочинаються із 40 с реєстрації. В кінці дослідження амплітуда руху тягарця зменшилась із 90 мм до 32 мм, що вказує на значний розвиток втоми.



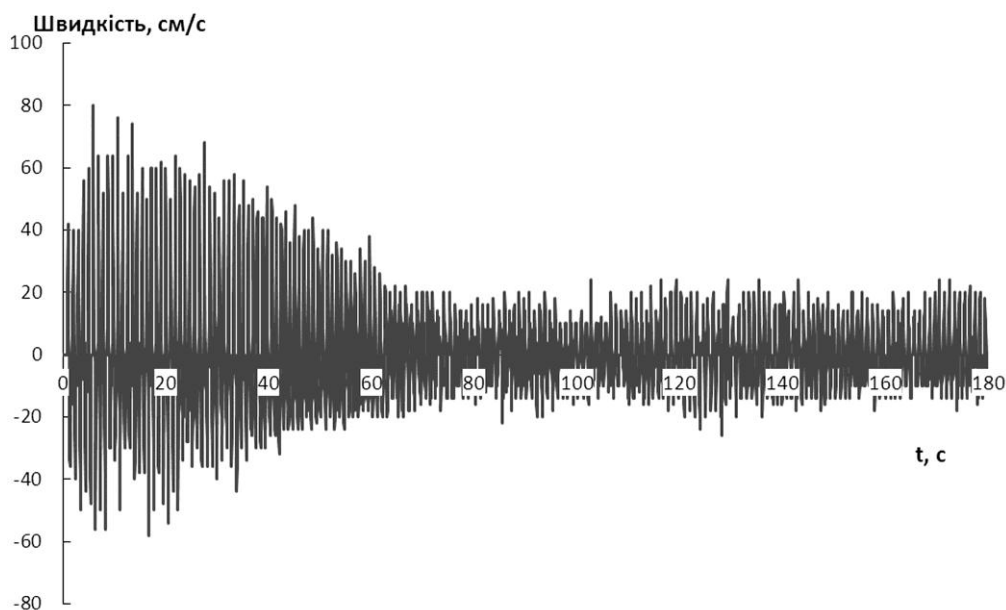
**Рис. 2. Індивідуальна часова динаміка амплітуди ергограми, зареєстрована з використанням програмно-апаратного комплексу на основі ергографа Моссо**

Висока часова роздільна здатність створеного програмно-апаратного комплексу дозволяє детально прослідкувати розвиток скорочення у часі та проаналізувати зміни кривої скорочення у процесі виконання роботи (рис. 3а).



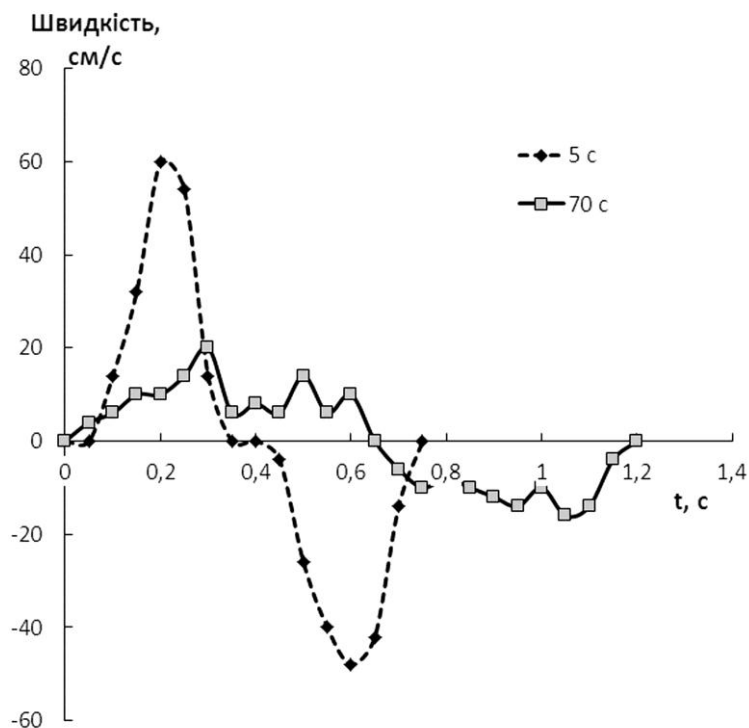
**Рис. 3.** Зміна форми кривої запису окремого скорочення (а) та усереднені зміни форми кривої скорочень (б) у процесі виконання фізичних навантажень з використанням програмно-апаратного комплексу на основі ергографа Моссо:  
а – цифрами позначений порядковий номер кривої скорочення; б – цифрами позначені криві, побудовані на основі усереднення десяти послідовних скорочень

Завдяки експорту даних у формат Excel можливий статистичний аналіз отриманих кривих. Зокрема, на рис 3б представлені усереднені криві запису скорочень. Кожна із зображених на рисунку кривих є результатом усереднення десяти послідовних скорочень. Аналіз середніх величин дозволяє зменшити вплив випадкових факторів та більшою мірою виявити загальні тенденції, які вказують на динаміку розвитку процесів втоми. Проявами втоми, які можна виявити шляхом графічного аналізу кривих, зображених на рис 3, є не лише зменшення амплітуди переміщення тягарця, але й збільшення тривалості циклу скорочення-розслаблення м'язів. Детальнішу інформацію стосовно змін швидкості руху тягарця упродовж дослідження можна отримати з рис. 4 та рис. 5.



**Рис. 4.** Індивідуальна часова динаміка швидкості переміщення тягарця, зареєстрована з використанням програмно-апаратного комплексу на основі ергографа Моссо. Додатні значення позначають рух тягарця вгору (скорочення м'язів), від'ємні – рух тягарця вниз (розслаблення м'язів)

З аналізу даних, вказаних на рис. 4, стає очевидним значне зменшення максимальної швидкості скорочення та розслаблення м'язів досліджуваного, яке можна спостерігати уже після тридцяти секунд роботи. Найбільше зниження цих показників відбувалось у період з 70 по 110 с роботи. Зміна швидкісних параметрів була значною – максимальна швидкість підйому тягарця зменшувалась більш ніж у три рази, опускання – у два рази. Оскільки рисунок 4 ілюструє зміни лише максимальних швидкостей руху, нами був виконаний також графічний аналіз швидкості руху тягарця у всіх ділянках кривої запису (рис. 5).



**Рис. 5. Зміни швидкості руху тягарця під час виконання циклу скорочення-розслаблення з використанням програмно-апаратного комплексу на основі ергографа Моссо. На рисунку вказані криві запису, зареєстровані на п'ятій та сімдесятій секунді роботи**

Дані рисунку 5 не лише підтверджують суттєве збільшення тривалості циклу скорочення-розслаблення, яке відбулось за період від 5 до 70 с роботи. Вони також дозволяють проаналізувати зміни швидкісних параметрів руху тягарця з дискретизацією у 50 мс. Такий аналіз виявляє значні зміни форми кривих скорочення-розслаблення, а також появу значних коливань швидкості руху тягарця на сімдесятій секунді роботи. В основі цих коливань можуть лежати явища погіршення координації скоротливої активності м'язів, які виникають внаслідок розвитку втоми у центральних ланках його регуляції.

Підсумовуючи отримані дані, можна вказати на значну перспективність використання програмно-апаратного комплексу на основі ергографа Моссо для аналізу швидкісно-амплітудних показників динамічних скорочень м'язів спортсменів.

**Висновок.** Створений програмно-апаратний комплекс на основі ергографа Моссо дозволяє з високою точністю (1 мм) та часовою роздільною здатністю (10 мс) реєструвати та аналізувати амплітудні та швидкісні показники скорочення м'язів спортсменів. Експорту даних у Excel дозволяє виконувати їхній графічний та статистичний аналіз.

**Перспективи подальших досліджень.** Програмно-апаратний комплекс на основі ергографа Моссо буде використаний для дослідження особливостей функціонування нервово-м'язового апарату спортсменів різних спеціалізацій.

#### Використані джерела

1. Аулик И. В. Определение физической работоспособности в клинике и спорте / И. В. Аулик. – М. : Медицина, 1990. – 255 с.
2. Исупов И.Б. Электронный эргометр / И.Б. Исупов, В.В. Саманов // Грани познания. – 2009. – №4(5). – Режим доступа: [grani.vspu.ru/files/publics/111\\_pub.pdf](http://grani.vspu.ru/files/publics/111_pub.pdf).

3. Кистевой эргометр: МПК А61В5/22: патент РФ № 2153287 / Устьянцев С.Л. – заявл. 29.06.1998; опубл. 27.07.2000.
4. Самсонова А. Методы оценки композиции мышечных волокон в скелетных мышцах человека / А. Самсонова, И. Барникова, А. Борисевич, А. Вахнин // Труды кафедры биомеханики НГУ им. П. Ф. Лесгафта. – вып. 6. – СПб. – 2012. – С. 18–27.
5. Di Giulio C. Angelo Mosso: a holistic approach to muscular fatigue / C. Di Giulio // Archives Italiennes de Biologie. – 2011. – 149 (Suppl.). – P. 69-76.
6. Giulio C. Angelo Mosso and muscular fatigue: 116 years after the first Congress of Physiologists: IUPS commemoration. / C.Giulio, F.Daniele, C.Tipton // Adv Physiol Educ. – 2006. – Vol. 30, № 2. – P. 51–57.
7. Harridge S. D. R. Whole-muscle and single-fibre contractile properties and myosin heavy chain isoforms in humans / Harridge S. D. R., Bottinelli R., Canepari M. // Pflügers Archiv September. – 1996. – V. 432. – Issue 5. – P. 913–920.
8. Ivy J. L. Isokinetic contractile properties of the quadriceps with relation to fiber type / Ivy J. L., Withers R. T., Brose G. et al // European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. – 1981. – V. 47. – Issue 3. – P. 247–255.
9. Larsson B. Surface electromyography and peak torque of repetitive maximum isokinetic plantar flexions in relation to aspects of muscle morphology / Larsson B., Kadi F., Lindvall B., Gerdle B. // J. Electromyogr Kinesiol. – 2006. – V. 16, № 3. – P. 281–290.
10. Schiaffino S. Fiber Types In Mammalian Skeletal Muscles / Schiaffino S, Reggiani C. // Physiol Rev. – 2011. – V. 91. – P. 1447–1531.
11. Zierath J. R. Skeletal Muscle Fiber Type: Influence on Contractile and Metabolic Properties / Zierath J. R., Hawley J. A. // PLoS Biology – 2004. – V. 2. – Issue 10. –1523–1527.

*Автори публікації висловлюють щирю вдячність Н. Боротюк та С. Клебан за допомогу під час реєстрації та аналізу даних.*

*Vovkanych L., Sokolovskiy V., Kulitka E.*

#### THE USE OF MECHANICAL-COMPUTER COMPLEX, BASED ON THE MOSSO ERGOGRAF, FOR THE DESCRIPTION OF FUNCTIONAL FEATURES OF NEURO-MUSCULAR SYSTEM OF SPORTSMEN

*The Mosso ergograph was designed to record the concentric contractions of the flexor muscles of the finger, in order to characterize muscle fatigue and to associate its occurrence with central or peripheral influences. Unfortunately, the computer recording and analysis of the record is impossible with this device. So, we have aimed on the elaboration of the mechanical-computer complex, based on the Mosso ergograph, which can be used for the computer analysis of the mechanical contraction of muscles with the high spatial and temporal discriminability. The mechanical movement in our complex is registered by opto-mechanical transformer and transferred to PC by USB-port. The program interface allows to register and demonstrate online the ergogram with a high temporal (from 10 ms) and spatial (1 mm) discriminability. The export of data to Excel allows its saving with the next graphical and statistical analysis. We show the changes in the amplitude (from 90 to 32 mm) and velocity of either contraction (approx. 3 times) and relaxation (approx. 2 times) of sportsman muscles during the time course of the ergogram (3 min recording). The detailed analysis (50 ms discriminability) of the shape of contraction curve (amplitude and velocity) during the recording is performed. We demonstrate the possibility of statistical data analysis, which allows the main features of the ergogram changes to be underlined. The elaborated complex is perspective for the evaluation of the functional state of muscles.*

**Key words:** *ergogram, sport, velocity, amplitude, muscles contraction.*

*Стаття надійшла до редакції 11.09.2015 р.*