

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
**БІОМЕХАНІЧНІ, ПЕДАГОГІЧНІ,
МЕДИКО-БІОЛОГІЧНІ ТА ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ
ФІЗИЧНОГО ВИХОВАННЯ ТА СПОРТУ**
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

Архипов Олександр

ORCID 0000-0002-8439-5833
Scopus Author ID 57506762800

*Доктор педагогічних наук, професор,
Український державний університет імені Миколи Драгоманова
(Україна, Київ) E-mail: archipovpri@ukr.net*

Носко Юлія

ORCID 0000-0003-1077-8206
Scopus Author ID 56880089100
ResearcherID C-6263-2017

*Доктор педагогічних наук, професор,
Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка
(Україна, Чернігів) E-mail: mykola.nosko@gmail.com*

Коваль Олександр

ORCID 0000-0003-4522-7092

*Кандидат педагогічних наук,
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій
(Україна, Київ) E-mail: alex.koval19722@gmail.com*

**ЯКІСТЬ ВИКОНАННЯ ФІЗИЧНИХ ВПРАВ
ЗА КІЛЬКІСНОЮ ОЦІНКОЮ РЕКУПЕРОВАНОЇ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

В ході фізичних вправ людина виконує механічну роботу, яка витрачається на зміну механічної енергії тіла або його частин, тобто, роботу з переміщенням.

***Мета** – знайти роботу руху, яка наразі не до кінця вирішена. З'ясувати, в якій мірі рух здійснюється за рахунок існуючої в системі механічної енергії, а в якій – за рахунок енергії скорочення м'язів, можна тільки експериментальним шляхом із залученням ідей і методів теоретичної механіки і сучасних комп'ютерних технологій.*

***Методи.** Для визначення механічної роботи та енергії під час переміщення запропоновано наступний алгоритм: здійснити площинну відеофіксацію фізичної вправи, що вивчається; побудувати біокінематичну схему положень досліджуваного тіла під час виконання даної вправи щодо зовнішньої системи координат, визначити її масштаб і скласти таблицю.*

***Методологія.** Використана Система APAS, оцифрування і аналіз здійснювалися за методикою Augilo R.V., Darpa J. та проф. Аріеля [1, 5, 6. 7].*

***Наукова новизна.** До проблеми економізації спортивної техніки належить раціональне використання енергії та енергозбереження. Якщо у різних спортсменів при виконанні одного і того ж рухового завдання виміряти енерговитрати, то їх величини можуть виявитися різко різними: одна і та ж робота буде для різних спортсменів пов'язана з неоднаковою витратою енергії.*

***Результати дослідження.** Ефективність руху має значення, в залежності від того, що ми вивчаємо: спорт високих досягнень чи оздоровче тренування, де ефективність руху набуває інше значення в відновленні і фізичній реабілітації. Людина, яка ефективно рухається, найбільше зберігає та повторно використовує всю механічну енергію в кожен момент часу – відновлення. Коефіцієнт відновлення може варіюватися від 0 до 1. Якщо*

коефіцієнт дорівнює 0, це означає, що теоретична робота приблизно дорівнює фактичній роботі (тобто в системі не накопичується енергія). Якщо коефіцієнт дорівнює ≈ 1 , це означає, що відбувається пофазний перехід, енергія зберігається і використовується повторно, тобто відбувається відновлення. Фізичний сенс збереження повної механічної енергії полягає в наявності переходу одного виду енергії в інший. Сенс поняття «перехід» полягає в пофазній зміні кінетичної і потенціальної енергій. Ефективність руху полягає в повному використанні всього запасу механічної енергії для досягнення високих спортивних результатів. В оздоровчих тренуваннях концепція ефективного руху протилежна: швидкість відновлення повинна бути високою. Тобто для людей, які піклуються про своє здоров'я, необхідно виконувати рухи таким чином, щоб відбувалося одужання (механічна енергія накопичувалася і використовувалася повторно).

Ключові слова: фізичні вправи, механічна робота, механічна рекуперація енергії, механічна енергія, коефіцієнт рекуперації.

Актуальність. У процесі занять фізичними вправами людина виконує механічну роботу, котра витрачається на змінення механічної енергії тіла або його частин, тобто роботу переміщення.

При аналізі рухів людини особливе значення мають такі види енергії: потенціальна (E_p), зумовлена силою тяжіння; кінетична енергія поступального руху (E_k, t); кінетична енергія обертання (E_k, z); потенціальна енергія, зумовлена пружною деформацією м'язів, та енергія, що є результатом обмінних процесів [1, 5].

У біологічних системах обміну енергії для виконання роботи не є абсолютно ефективним процесом, в результаті чого не вся перетворювана енергія переходить у механічну роботу. Тільки 25% звільненої внаслідок обмінних процесів енергії використовується для виконання роботи, решта 75% перетворюється на тепло або використовується під час відновлювальних процесів. Відношення виконаної роботи до змінення кількості енергії характеризує ефективність руху. Ефективність руху має два значення, в залежності від того, кого досліджуємо:

1) спорт високих досягнень – ефективність руху полягає в тому, щоб повністю використати весь запас механічної енергії для досягнення високих спортивних результатів. Чим більш тренований спортсмен, тим більший запас повної механічної енергії. Ефективність руху залежить від економічності [1-5, 6].

2) ефективність руху набуває свого іншого змісту в оздоровчому тренуванні, відновленні, фізичній реабілітації. Ефективно рухається та людина, яка як найбільше зберігає і повторно використовує повну механічну енергію в кожен момент часу – це і є **рекуперація** (збереження та повторне використання повної механічної енергії при рухових діях людини).

Сьогодні відомо 3 шляхи збереження, або рекуперації механічної енергії при рухах людини:

1. Перехід кінетичної енергії у потенціальну енергію гравітації і зворотньо.
2. Перехід механічної енергії від однієї біоланки до іншої (*балістичний пріоритет*: від біоланки більшої маси до біоланки меншої маси).
3. Перехід кінетичної енергії руху в потенціальну енергію пружної деформації м'язів та сухожилків і зворотно [1-3].

У біомеханіці проблематика пов'язана з дослідженням механічної роботи переміщення, яка включає два основних завдання:

- 1) визначення механічної роботи, виконаної при локомоціях та її окремих фракцій;
- 2) визначення величин рекуперованої механічної енергії як критерію ефективності виконуваних рухів.

Знаходження роботи переміщення представляє собою достатньо важку задачу, яка в теперішній час вирішена не повністю. Основна складність пов'язана з тим, що тіло людини представляє собою неконсервативну систему, в якій одна частина механічної енергії розсіюється, а інша зберігається і використовується при наступній дії. З'ясувати в якій мірі рух виконується за рахунок механічної енергії, існуючій в системі, а в якій – за рахунок енергії м'язового скорочення, можна тільки експериментальним шляхом із залученням ідей і методів теоретичної механіки та сучасних комп'ютерних технологій [6-12].

Мета – знайти роботу руху, яка наразі не до кінця вирішена. З'ясувати, в якій мірі рух здійснюється за рахунок існуючої в системі механічної енергії, а в якій – за рахунок енергії скорочення м'язів, можна тільки експериментальним шляхом із залученням ідей і методів теоретичної механіки і сучасних комп'ютерних технологій.

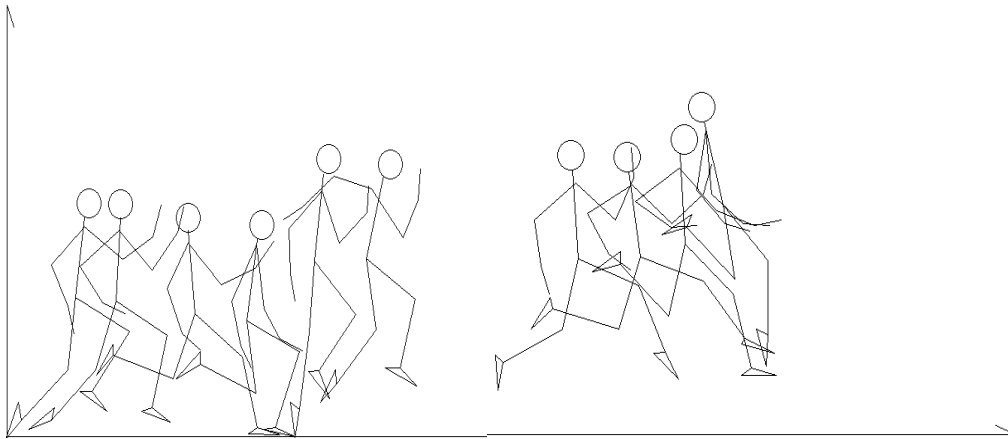
Методи. Для визначення механічної роботи та енергії під час переміщення запропоновано наступний алгоритм: здійснити площинну відеофіксацію фізичної вправи, що вивчається; побудувати біокінематичну схему положень досліджуваного тіла під час виконання даної вправи щодо зовнішньої системи координат, визначити її масштаб і скласти таблицю.

Методологія. Використана Система APAS, оцифрування і аналіз здійснювалися за методикою Augulo R.V., Darpena J. та проф. Арієля [1, 5, 6, 7].

Наукова новизна. До проблеми економізації спортивної техніки належить раціональне використання енергії та енергозбереження. Якщо у різних спортсменів при виконанні одного і того ж рухового завдання виміряти енерговитрати, то їх величини можуть виявитися різко різними: одна і та ж робота буде для різних спортсменів пов'язана з неоднаковою витратою енергії

Результати дослідження. Для визначення механічної роботи та енергії при локомоціях пропонується такий алгоритм:

- провести площинну відеозйомку фізичної вправи, котру вивчають;
- побудувати біокінематичну схему положень тіла досліджуваного при виконанні даної вправи (мал. 1) відносно зовнішньої системи координат ОХУ, визначити її масштаб та скласти таблицю.



Мал. 1. Біокінематична схема стрибка у довжину (фази відштовхування і польоту)

- виміряти на біокінематичній схемі відстань від кожного ЦМ біолонок до лінії опори, перевести у реальні розміри й записати;
- виміряти відстань між ЦМ однойменних біолонок на інтервалі між 1-м та 2-м, 2-м та 3-м, 3-м та 4-м;

– визначити тривалість у часі t між двома сусідніми кадрами за формулою $t=n/f$, де n – кількість часових інтервалів між кадрами; f – частота зйомки;

– обчислити лінійну швидкість ЦМ біолонок на усіх інтервалах шляху за формулою $V_2=S_{1-2}/t_{1-2}$, V_2 – миттєва швидкість ЦМ біоланки у момент часу t_2 ; S_{1-2} – шлях, пройдений ЦМ біоланки за інтервал часу від 1-го до 2-го кадру; t_{1-2} – тривалість інтервалу між 1-м та 2-м кадрами;

– визначити моменти інерції біолонок тіла відносно осі обертання, що проходить через ЦМ цих біолонок, за формулою $I_c = \frac{m_i l_i^2}{12}$, I_c – момент інерції біоланки відносно осі, що проходить через її ЦМ; m_i – маса біоланки; l_i^2 – довжина біоланки;

– виміряти кутові переміщення біолонок. Величини кутів, виміряні у градусах, перевести у радіанну міру, враховуючи, що $1^\circ = 0,0175$ радіан;

– обчислити кутову швидкість біолонок за формулою $\omega_i = \varphi / t$, ω_i – кутова швидкість окремої біоланки у момент t_2 ; φ – кутове переміщення біоланки; t – час повороту біоланки;

– обчислити потенціальну енергію окремих біолонок у момент t_2 за формулою $E_i^n = m_i g h_2$, m_i – маса біоланки; g – прискорення вільного падіння $9,81 \text{ мс}^{-2}$; h_2 – висота розташування ЦМ біоланки відносно лінії опори у момент t_2 ;

– розрахувати кінетичну енергію біоланки при її поступальному русі у момент t_2 : $E_i^{k1} = \frac{m_i V_2^2}{2}$, m – маса біоланки; V_2 – лінійна швидкість біоланки у момент t_2 ;

– розрахувати кінетичну енергію біоланки при її обертальному русі: $E_i^{k2} = \frac{I \omega_2^2}{2}$, I – момент інерції біоланки; ω – кутова швидкість біоланки у момент t_2 ;

– розрахувати загальну кінетичну енергію біоланки у момент t_2 : $E_i = E_i^n + E_i^k$;

– виконати розрахунки між сусідніми позами впродовж усієї біокінематичної схеми;

– для того, щоб розрахувати коефіцієнт рекуперації, необхідно скласти розрахункову таблицю, до котрої вписати значення E_i^n , E_i^k , E_i для усіх біолонок у кожний досліджуваний момент часу, враховуючи протифазну зміну кінетичної і потенціальної енергії [1, 2].

Ці види енергії можуть змінюватися як в результаті роботи діючих на біоланку сил негравітаційної природи, так і в результаті переходу кінетичної енергії в потенціальну і зворотно під дією сили тяжіння.

Необхідною умовою переходу кінетичної „енергії швидкості» в потенціальну «енергію положення» і зворотно являється їх протифазна зміна в часі.

Внаслідок протифазної зміни кінетичної і потенціальної енергій тіла їх сума, яка дорівнює повній механічній енергії, змінюється в циклі на багато менше, ніж кожна з її фракцій.

Для отримання нижньої оцінки, яка необхідна для виконання даної дії вважають, якщо існує можливість переходу енергії, то такий перехід відбувається. Під можливістю переходу розуміється різнонаправлена зміна кінетичної і потенціальної енергії, коли збільшенню кількості одного виду енергії відповідає зменшення іншого (ΔE_i^n і ΔE_i^k мають протилежні знаки).

Верхню оцінку необхідної механічної роботи (якщо припустити повну відсутність переходу кінетичної енергії в потенціальну і зворотно за рахунок сили тяжіння) можна отримати, склавши прирости потенціальної і кінетичної енергії: $W_i^{KM} = \Delta E_i^n + \Delta E_i^k$ [1, 2].

Ця величина називається *квзімеханічною роботою* [1, 2]. Якщо такий перехід енергії дійсно має місце, то величина заощадженої енергії для дії циклічного характеру може бути оцінена за допомогою коефіцієнта рекуперації:

$$K = \frac{\omega_i^{KM} - \Delta E_i}{\omega_i^{KM}}$$

Коефіцієнт рекуперації може змінюватися від 0 до 1, приймаючи значення 0 у випадку відсутності протифазної зміни, а 1 – при збереженні повної енергії біоланки постійною [1, 2].

- побудувати графіки змін кінетичної, потенціальної та повної механічної енергії у русі сегмента;
- зробити практичні висновки.

Визначення потенціальної, кінетичної та повної механічної енергії лівого стегна стрибуна

№ кадру	маса	довжина	Висота від ЦМ до опори, h, м	Шлях S, м	Част. t, с	Лнійн. швид. біоланки V, мс ⁻¹	Мом. Ін. I, КГМ ⁻²	Кут. Переміщ.,	Кут. W, рад.с ⁻¹	E _i ⁿ =mgh	E _i ^k =mV ² /2	E _i ^{k2} =IW ² /2	E _i ^k = E _i ^{k1} + E _i ^k	E _i = E _i ⁿ + E _i ⁿ
1	6,2	0,41	0,8	-	0,04	-	0,08	-	-	49,6	-	-	-	49,3
2			0,7	0,4		12		1,2	25,1	43,4	376	25,8	401	443,8
3			0,9	0,5		13		0,3	7,7	53	446,1	2,2	449	502,9
4			0,8	0,5		14		0,3	7,1	46,6	524	2,3	527	572,5
5			0,73	0,4		10,8		0,4	10,7	44,3	358	4,9	364	407
6			0,8	0,2		5,4		0,44	10,5	50	77,9	4,7	82,4	133
7			1,01	0,4		11		0,32	7,8	63,2	341,5	2,1	344,3	407
8			1,2	0,4		10,3		0,14	2,4	73,8	308	0,19	310,5	383
9			1,4	0,4		10,2		0,06	1,3	82,0	312	0,09	313	392
10			1,2	0,6		13,8		0,23	5,9	91,4	589	1,4	588	678

Зміна потенціальної, кінетичної та повної механічної енергії біоланки у кожний досліджуваний момент часу (ліве стегно стрибуна)

№ кадру	Потен. енергія E _i ⁿ	Кінет. енергія E _i ^k	Пов. мех. енергія E _i	Змін. потен. енергії ΔE _i ⁿ	Змін. кін. енергії ΔE _i ^k	Змін. пов. мех. енергії ΔE _i	Квзімех. робота ΔW ^{KM}
1	49,4	-	49,4	49,4	-	49,4	49,4
2	43,3	401	443,9	-6,0	401	395	406
3	53	449	502,8	10,6	47,5	58,7	58,6
4	46,9	525	572,5	-7,1	77,9	70,1	84,5
5	44,2	363	407	-2,3	-163,4	-165,2	166
6	50	82,4	133	6,9	-280,9	-271	287
7	63,4	342	407	12	263	274	274,3
8	71,9	310	382	8,8	-34	-26	42,4
9	82,8	311	392,9	10	-0,2	11	11,1
10	91,11	587	678	8,53	277	285,7	285,7

$\sum \Delta E_i = 1145$ $\sum \Delta W^{KM} = 1667;$

$$K_{\text{рек}} = \frac{1667 - 1145}{1667} = \frac{522}{1665} = 0,34$$

$$\text{Ліве стегно: } \sum W^{\text{км}} = 1667 \quad \sum \Delta E_i = 1145 \quad K = \frac{1665,18 - 1143,5}{1665,18} = 0,34$$

$$\text{Ліва гомілка: } \sum \Delta E_i = 1002 \quad \sum W^{\text{км}} = 1894,68 \quad K = \frac{1894,66 - 1001,6}{1894,66} = 0,6$$

$$\text{Праве стегно: } \sum \Delta E_i = 1312,71 \quad \sum \Delta W^{\text{км}} = 1992 \quad K = \frac{1991,9 - 1312,74}{1991,9} = 0,4$$

$$\text{Права гомілка: } \sum \Delta E_i = 859,5 \quad \sum \Delta W^{\text{км}} = 1418 \quad K = \frac{1417,8 - 859,5}{1417,8} = 0,43$$

Таким чином, коефіцієнти рекуперації досліджуваних біоланок становить: 0,34; 0,6; 0,4; 0,43 (середні значення). Енергію було використано з середньою економічністю, тому високої ефективності у виконанні вправи не було досягнуто, що призвело до середнього результату. Крім того, $0,34 < 0,6$ та $0,4 < 0,43$; що свідчить про відсутність *балістичного пріоритету* (перехід механічної енергії від біоланки більшої маси до біоланки меншої маси не відбувся), тобто технічно невірно виконану рухову дію.

Висновки. 1. Коефіцієнт рекуперації досліджуваних біоланок становить: 0,34; 0,6; 0,4; 0,43 (середні значення). Це означає, що теоретична робота приблизно дорівнює реальній (тобто енергія в системі зберігається з середньою економічністю). Відсутність *балістичного пріоритету* (перехід механічної енергії від біоланки більшої маси до біоланки меншої маси), свідчить про технічно невірно виконану рухову дію.

2. Фізичний зміст збереження повної механічної енергії полягає у присутності переходу одного виду енергії в інший. Зміст поняття „перехід» полягає в протифазній зміні кінетичної енергії та потенціальної. Якщо одна енергія збільшується, а інші зменшуються, тоді енергія зберігається. На кадрах 2, 3, 6, 9 протифазна зміна не відбувається. У кадрах 1, 4, 5, 7, 8 протифазна зміна є. У кадрах, в яких відбулася протифазна зміна, є повторне використання енергії, тобто відбувається рекуперація.

3. Ефективність руху полягає в тому, щоб повністю використати весь запас механічної енергії для досягнення високих спортивних результатів, з цього випливає головний теоретичний зміст спортивного тренування та понять – спортивно-технічна майстерність; спортивна техніка: чим більше тренований спортсмен, тим запас механічної енергії більший, спортивно-технічна майстерність на високому рівні. З цих досліджень з'ясовано, що спортсмен виконав вправу не ефективно (коефіцієнт рекуперації прямує до середніх значень (0,3-0,6). У спорті високих досягнень спортсмен повинен повністю використати весь запас механічної енергії, для досягнення високоефективних результатів, тобто, коефіцієнт рекуперації прямує до 0.

4. В оздоровчому тренуванні поняття ефективного руху протилежне: коефіцієнт рекуперації повинен бути високий. Тобто, для людей, які займаються своїм здоров'ям, необхідно виконувати рухи таким чином, щоб відбувалась рекуперація (механічна енергія зберігалась та повторно використовувалась; коефіцієнт рекуперації прямує до 1).

References

- Архипов О. А. Біомеханічний аналіз : навч. посіб. Київ : Талком, 2017. 241 с.
Arkhyrov O. A. (2017) Biomekhanichnyi analiz : navch. posib. [Biomechanical analysis] Kyiv : Talkom. 241 p.
- Архипов О. А. Біомеханічні технології у фізичній підготовці студентів : монографія. Київ: Вид-во НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2012. 520 с. URL : <http://library.megu.edu.ua:8180/jspui/bitstream/123456789/3089/1/2015pdf>.
Arkhyrov O. A. (2012) Biomekhanichni tekhnologii u fizychnii pidhotovtsi studentiv : monohrafiia [Biomechanical technologies in physical training of students] Kyiv: NPU im. M. P. Drahomanova, Retrieved from: URL : <http://library.megu.edu.ua:8180/jspui/bitstream/123456789/3089/1/2015pdf>.
- Ахметов Р. Ф. Біомеханіка фізичних вправ: Навчальний посібник, Житомир : Житомирський державний педагогічний університет імені Івана Франка, 2004. 124 с. URL: <http://eprints.zu.edu.ua/14594/1>.
URL:<https://www.sportpedagogy.org.ua/html/journal/2011-01/PP201101.pdf>.
Akhmetov R. F. (2004) Biomekhanika fizychnykh vprav: Navchalnyi posibnyk, [Biomechanics of physical exercises] Zhytomyr : Zhytomyrskiy derzhavnyi pedahohichnyi universytet imeni Ivana Franka. Retrieved from: <http://surl.li/rkywo>
- Ахметов Р. Ф. Сучасні біомеханічні технології в практиці підготовки спортсменів. *Збірник наукових праць Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. 2011. № 1. С. 7-10.* URL : <https://www.sportpedagogy.org.ua/html/journal/2011-01/PP201101.pdf>.

- Akhmetov, R. F. (2011) Suchasni biomekhanichni tekhnologii v praktysi pidgotovky sportsmeniv. [Modern biomechanical technologies in the practice of training athletes] *Zbirnyk naukovykh prats Pedahohika, psykholohiia ta medyko-biologichni problemy fizychnoho vykhovannia i sportu*. Retrieved from: URL : <http://surl.li/rkzdm>
5. Біомеханіка спорту : підручник / О. Ю. Рибак та ін. Львів : ЛДУФК ім. Івана Боберського, 2021. 268 с. URL : https://vo.uu.edu.ua/pluginfile.php/675838/mod_resource/content/1/Rybak.pdf.
Biomekhanika sportu : pidruchnyk (2021) [Biomechanics of sports]. O. Yu. Rybak (Ed.) et al. Lviv : LDUFK im. Ivana Boberskooho, 268 p. Retrieved from: URL : <http://surl.li/rkzet>
 6. Біомеханіка спорту: навч. посіб. / А. Н. Лапутин, В. В. Гамалій, О. А. Архипов та ін. Київ : Олімпійська література, 2005. 320 с.
Laputyn A. N., Hamalii V. V., Arkhyrov O. A. (2005) Biomekhanika sportu: navch. posib. [Biomechanics of sports] et al. Kyiv : Olimpiiska literatura, 320 p.
 7. Воскобойнікова Г. Л., Міненко А. О. Біомеханічні основи у формуванні професійної компетентності вчителя фізичної культури і основ здоров'я початкової школи. *Збірник наукових праць ЧНПУ ім. Т.Г. Шевченка. Серія : Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт. Чернігів, 2014. Вип. 118. Т. 2. С. 80-83.* URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=VchdpuPN_2014_118\(2\)_20](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=VchdpuPN_2014_118(2)_20)
Voskoboynikova G., Minenok A. (2014) Biomechanical basis for the formation of professional competence of teachers of physical education and health foundations of primary school: teaching experience, academic schools. *Zbirnyk naukovykh prats ChNPU im. T.H. Shevchenka. Serii : Pedahohichni nauky. Fizychnе vykhovannia ta sport – Collection of scientific works of the ChNPU named after T.G. Shevchenko. Series: Pedagogical sciences. Physical education and sports. Chernihiv, Vol. 118. T. 2. pp. 80-83.* Retrieved from: URL: <http://surl.li/rkyww> (in Ukrainian)
 8. Гакман А. В. Основи біомеханіки руху: навч. посіб. Чернівці: Чернівецький національний університет, 2019. 144 с.
Hakman A. V. (2019) Osnovy biomekhaniky rukhu: navch. posib. [Fundamentals of biomechanics of movement] Chernivtsi: Chernivetskyi natsionalnyi universytet, 2019. 144 p.
 9. Козубенко О. С. Біомеханіка фізичних вправ : навч.-метод. посіб. Миколаїв : МНУ імені В.О. Сухомлинського, 2015. 215 с. URL: <https://chmmu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/07/Kozubenko-O.-S.-Tupyeyev-YU.V.-Biomehanika-fizichnih-vprav.pdf>.
Kozubenko O. S. (2015) Biomekhanika fizychnykh vprav : navch.-metod. posib. [Biomechanics of physical exercises] Mykolaiv : MNU imeni V. O. Sukhomlynskooho, 215 p. Retrieved from: URL: <http://surl.li/rkyup>
 10. Мухортова Н.О. Використання знань з біомеханіки у занятті спортом. *Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія 5 : Педагогічні науки: реалії та перспективи. Київ : НПУ імені М.П. Драгоманова, 2017. Вип. 57. С. 115-121.* URL: <http://enpuir.npu.edu.ua/handle/123456789/22225>.
Muhortova N.O. (2017) Use of knowledge from biomechanics in going in for sports. *Scientific journal National Pedagogical Dragomanov University Kyiv : NPU imeni M. P. Dragomanova, issue. 57. pp. 115-121.* Retrieved from: URL:<http://enpuir.npu.edu.ua/handle/123456789/22225>. (in Ukrainian)
 11. Носко М. О., Архипов О. А. Біомеханічна характеристика рухових якостей людини (теоретичний аналіз). *Вісник ЧНПУ ім. Т.Г. Шевченка. Серія: Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт. Чернігів, 2014. Вип. 118 : Т. 1. С. 227-239.* Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VchdpuPN_2014_118%281%29_52.
Nosko M., Arkhyrov O. (2014) Biomechanical characteristics of the motor qualities of the man (theoretical analysis). *Visnyk ChNPU im. T. H. Shevchenka. Serii: Pedahohichni nauky. Fizychnе vykhovannia ta sport. – Bulletin of the ChNPU named after T.G. Shevchenko. Series: Pedagogical sciences. Physical education and sports. Chernihiv, 2014. issue. 118 : T. 1. pp. 227-239.* Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VchdpuPN_2014_118%281%29_52. (in Ukrainian)
 12. Носко М. О., Архипов О. А., Половніков І. І. Роль та місце біомеханічних технологій в навчанні руховим діям: збірник наукових праць, *Вісник ЧНПУ ім. Т. Г. Шевченка. Серія : Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт. Чернігів. 2017. Вип. 147. Т. 1. С. 160-166.* URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=VchdpuPN_2017_147\(1\)_31](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=VchdpuPN_2017_147(1)_31).
Nosko M., Arkhyrov O. & Polovnikov I. (2017) The role and place of biomechanical technologies in learning motor actions. *Visnyk ChNPU im. T.H. Shevchenka. Serii : Pedahohichni nauky. Fizychnе vykhovannia ta sport. – Bulletin of the ChNPU named after T.G. Shevchenko. Series: Pedagogical sciences. Physical education and sports. Chernihiv Chernihiv. 2017. issue. 147. T. 1. pp. 160-166.* Retrieved from: URL: <http://surl.li/rkyxl> (in Ukrainian).

Oleksandr Arkhipov

ORCID 0000-0002-8439-5833
Scopus Author ID: 57506762800

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
Mykhailo Drahomanov Ukrainian State University
(Ukraine, Kyiv) E-mail: archipovnpu@ukr.net.

Yuliya Nosko

ORCID.ORG: 0000-0003-1077-8206
Scopus-Author ID 56880089100
Researcher ID C-6263-2017

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
(Chernihiv, Ukraine). E-mail: mykola.nosko@gmail.com

Oleksandr Koval

ORCID 0000-0003-4522-7092

Head of the Department of Life Safety
and Physical Education,
State University of Information and
Communication Technologies
(Kyiv, Ukraine) e-mail: alex.koval19722@gmail.com

QUALITY OF PHYSICAL EXERCISES PERFORMANCE BY QUANTITATIVE ASSESSMENT OF RECOVERED MECHANICAL ENERGY

In the course of physical exercises, a person performs mechanical work, which is spent on changing the mechanical energy of the body or its parts, i.e., displacement work.

The purpose – is to find the work of movement, which is currently not fully resolved. It is possible to find out to what extent the movement is performed due to the mechanical energy existing in the system, and to what extent – due to the energy of muscle contraction, only experimentally with the involvement of ideas and methods of theoretical mechanics and modern computer technologies.

Methods. For determination of mechanical work and energy during locomotion the following algorithm is offered: to carry out a plane video recording of the physical exercise which is studied; to build a biokinematic scheme of positions of a body of the investigated during performance of the given exercise concerning the external coordinate system, to define its scale and to make a table.

Methodology. The APAS System used, digitization and analysis were carried out according to the methodology of Augulo R.V., Dapena J. and prof. Ariel [1, 5, 6, 7].

Originality. The problem of economization of sports equipment includes the rational use of energy and energy saving. If energy expenditure is measured in different athletes when performing the same motor task, then their values may be sharply different: the same work will be associated with unequal energy expenditure for different athletes.

Results of the study. The efficiency of movement matters, depending on whom we study: high achievement sport; movement efficiency acquires its other meaning in health training, recovery, physical rehabilitation.

The person who moves efficiently is the one who most of all preserves and reuses the full mechanical energy at each moment of time – recuperation.

Conclusions: The coefficient of recovery can vary from 0 to 1. If the coefficient is 0, it means that the theoretical work is approximately equal to the actual work (i.e., no energy is stored in the system). If the coefficient is ≈ 1 , it means that there is an out-of-phase change, energy is conserved and reused, i.e., recovery occurs. The physical meaning of the conservation of total mechanical energy is the presence of the transition of one type of energy to another. The meaning of the concept of «transition» is an out-of-phase change of kinetic energy and potential energy. The efficiency of movement is to fully utilize the entire supply of mechanical energy to achieve high sports results. In health training, the concept of effective movement is the opposite: the recovery rate must be high. That is, for people who take care of their health, it is necessary to perform movements in such a way that recovery occurs (mechanical energy is stored and reused).

Keywords: physical exercises, mechanical work, mechanical energy recovery, mechanical energy, recovery coefficient.

Стаття надійшла до редакції 15.01.2024

Рецензент – доктор педагогічних наук, професор **Гаркуша С.В.**