

Застосування рівнянь регресії для оцінювання ефективності виконання тестових вправ у фізичному вихованні студентів закладів вищої освіти

Михайлов Віт. В., Михайлов Вол. В., Коростильова Ю.С

Навчально-спортивна база літніх видів спорту МОУ

Анотація. У дослідженні представлені засоби використання математичного моделювання виконання тестових вправ у фізичному вихованні шляхом побудови рівнянь регресії. **Мета:** удосконалення методики оцінювання результатів виконання тестових вправ у фізичному вихованні. **Методи:** теоретичний аналіз та узагальнення; антропометрія; метод найменших квадратів; кореляційний і регресійний аналіз. **Матеріал:** вивчалась придатність рівнянь регресії для визначення ефективності фізичного виховання за показниками морфологічної, функціональної та фізичної підготовленості студентів 1÷3 курсів ($n = 142$) основного навчального відділення технічних спеціальностей та можливість оцінювання досягнень за середнє арифметичними балами восьми тестових вправ. **Результати:** придатність рівнянь регресії для оцінювання результатів виконання тестових вправ визначена за коефіцієнтом детермінації і середньою похибкою апроксимації у відсотках. Встановлено, що на точність оцінювання впливає вибір рівняння регресії, його цифровий формат, спосіб визначення опорних точок. З'ясовано, що для обчислення середнє арифметичних значень необхідно, щоб тестові вправи склали гетерогенний комплекс. Гетерогенність комплексу визначили за модулем значень парціальних коефіцієнтів кореляції, на підставі яких встановили мультиколінеарність вправ тесту. **Висновки:** у дослідженні оцінювання результатів виконання тестових вправ здійснено за добре підібраними рівняннями регресії ($D = 99,82 \div 100 \%$) за високої точності нарахування балів як у кожному завданні ($\bar{A} = 0 \div 1,52 \%$), так і тесту в цілому ($\bar{A} = 0,71 \%$). Обчислені парціальні коефіцієнти кореляції засвідчили, що даний тест є гетерогенним, оскільки найбільше значення $-|r|_{x_5, x_7 / x_3} = 0,680$ менше критичного показника мультиколінеарності $- (0,7)$.

Ключові слова: фізичне виховання; студенти; вправи; рівняння регресії; оцінювання; коефіцієнт детермінації; апроксимації; мультиколінеарність.

Вступ. Підвищення точності оцінювання ефективності фізичного виховання – пріоритетний напрям покращання навчально-виховного процесу студентів закладів вищої освіти (ЗВО). Ефективність фізичного виховання спеціалісти оцінюють переважно за результатами комплексного підходу, оскільки отримують значну інформацію з широкого кола актуальних питань. Поширення комплексних обстежень виявило певні проблеми оцінювання тестових вправ, представлених у різних одиницях вимірювання. Визначення

ефективності фізичного виховання за морфологічними, функціональними, фізичними (руховими) та іншими показниками підготовленості вимагає переведення їх у єдину систему оцінювання, наприклад, у систему нарахування балів. Разом з тим, розповсюджене оцінювання за рівнями підготовки далеко не завжди відповідає вимогам необхідної точності (Заневський, 2011). Більш перспективним представляється нарахування балів за рівняннями регресії. Але і тут виникають певні труднощі, які викликані відсутністю критеріїв, за якими можна оцінити якість рівнянь регресії, в першу чергу, за підбором та їхньою точністю. Окремо

необхідно виділити потребу контролю точності оцінювання тесту в цілому та його важливих складових, що є необхідною умовою покращання якості математичного і метрологічного забезпечення.

Придатність рівнянь регресії до математичного опису фактичних процесів спеціалісти встановлюють за показниками якості, серед яких, в першу чергу, виділяють підбір та їхню точність (Базака, & Разинков, 2015; Лещинський, Рязанцева, Юнькова, Юртин, & Юнькової, (Ed.), 2019). Підбір рівнянь регресії оцінюють за коефіцієнтом детермінації (D %). Коефіцієнт обчислюють за формулою: $D = R^2 * 100\%$. Підбір рівняння регресії буде добрим, якщо $D > 80\%$ (Базака, & Разинков, 2015). Точності рівняння регресії оцінюють за середньою похибкою апроксимації у відсотках (\bar{A} %), яка характеризує наближення розрахункових (модельних) даних до фактичних. Розрахункові дані – це значення, які отримані за рівнянням регресії, а фактичні – це значення опорних точок, на яких регресійна модель побудована (Заневський, 2011; Віт. В. Михайлов, Вол. В. Михайлов, & Коростильова, 2014, 2016). Середню похибку апроксимації у відсотках обчислюють (Базака, & Разинков, 2015; Лещинський, Рязанцева, Юнькова, Юртин, & Юнькової, (Ed.), 2019; Рогачев, & Мелихова, 2014):

$$\bar{A} = \frac{\sum |y - y_x| / y}{n} 100\%,$$

де n – обсяг вибірки (кількість опорних точок);

\sum – знак суми;

$|y - y_x|$ – різниця за модулем, яку в MS

Excel отримують: $=ABS(y - y_x)$;

y – фактичні значення опорних точок;

y_x – розрахункові значення, що отримані за рівнянням регресії.

Точність рівнянь регресії спеціалісти визначають за такою градацією значень \bar{A} : менше 5% – висока (Лещинський, Рязанцева, Юнькова, Юртин, & Юнькової, (Ed.), 2019); 5-7 % –

добра (Базака, & Разинков, 2015); 8-10 % – допустима (Лещинський, Рязанцева, Юнькова, Юртин, & Юнькової, (Ed.), 2019; Рогачев, & Мелихова, 2014); 10-12 % – задовільна (Рогачев, & Мелихова, 2014); більше 15 % – незадовільна (Лещинський, Рязанцева, Юнькова, Юртин, & Юнькової, (Ed.), 2019).

Тестування фізичному вихованні і спорті проводять за комплексами вправ, які поділяються на гомогенні і гетерогенні. Гомогенний комплекс призначений для вивчення однієї якості, гетерогенний – для оцінювання різних властивостей організму людини (Зациорский, (Eds.), 1982). Гомогенний комплекс включає тестові вправи, які мають між собою сильну лінійну статистичну залежність. Тестові вправи у такому тесті називаються мультиколінеарними (Лещинський, Рязанцева, Юнькова, Юртин, & Юнькової, (Ed.), 2019; Рогачев, & Мелихова, 2014; Щолокова, & Коротунова, (Eds.), 2013) або еквівалентними (Зациорский, (Eds.), 1982). Гетерогенний комплекс, навпаки, складають з тестових вправ, між якими існує невисокий статистичний взаємозв'язок. В основу дослідження тестових вправ на мультиколінеарність покладений алгоритм Фарра-Глобера (Лещинський, Рязанцева, Юнькова, Юртин, & Юнькової, (Ed.), 2019; Щолокова, & Коротунова, (Eds.), 2013), у якому передбачений аналіз за критерієм Пірсона χ^2 , F -критерієм Фішера, t -критерієм Стьюдента. Мультиколінеарність тестових вправ встановлюють також за модулем парціальних коефіцієнтів кореляції, що обчислені на коефіцієнтах парної кореляції Браве-Пірсона. У гетерогенному комплексі значення парціальних коефіцієнтів кореляції повинні бути менше 0,7 (Щолокова, & Коротунова, (Eds.), 2013).

Гіпотеза. Впровадження критеріїв якості рівнянь регресії буде сприяти встановленню їхньої придатності для оцінювання результатів виконання тестових вправ.

Метою роботи є удосконалення методики оцінювання результатів

виконання тестових вправ у фізичному вихованні.

Завдання дослідження:

1. Запропонувати критерії якості та шляхи підвищення точності оцінювання тестових вправ за рівняннями регресії.
2. Визначити якість рівнянь регресії для оцінювання тестових вправ функціональної, морфологічної та фізичної підготовленості студентів.
3. Визначити критерії для укладання гетерогенного комплексу за середнє арифметичними балами його складових.

Матеріал і методи дослідження.

Теоретичний аналіз та узагальнення науково-методичної літератури.

Методи антропометрії. Застосовані для визначення зросту, маси тіла, індексу маси тіла та конституції тіла за обводом зап'ястка руки.

Методи математичної статистики. Метод найменших квадратів використаний для укладання рівнянь регресії. Статистичний взаємозв'язок між тестовими вправами обчислений за коефіцієнтами кореляції Браує-Пірсона. Оцінка мультиколінеарності тестових вправ дана за модулем значень парціальних коефіцієнтів кореляції.

Обстежувались студенти ($n = 142$) віком від 17 до 22 років, які навчались на технічних спеціальностях Національного університету «Львівська політехніка» і які за результатами медичного огляду займались фізичним вихованням в основному навчальному відділенні. В процес фізичного виховання були включені спортивні ігри та вправи з елементами спортивних ігор. Кількість обстежених на 1 курсі $n = 42$, на 2 курсі – $n = 50$, на 3 курсі – $n = 50$. Дослідження організовано у 1÷6 семестрах в умовах проведення занять 1 раз на тиждень. Протягом одного заняття фіксувались: маса тіла, зріст, обвід зап'ястка, вік, ЧСС у трьох функціональних станах та результати у чотирьох фізичних вправах. Студенти тестувались двічі на рік на перших трьох курсах навчання в один і той же період: в осінній семестр у грудні місяці перед зимовою екзаменаційною сесією, у весняний семестр – у березні

місяці через місяць після зимових канікул. Результати обстеження враховувались у семестровій атестації студентів. Усі обчислення проведені в системах комп'ютерної математики MS Excel і Statistica 8.0.

Основні результати та їх обговорення. Ефективність фізичного виховання визначена за рівняннями регресії, що укладені на опорних точках, які обчислені за середнє арифметичними значеннями на границях суміжних рівнів 4 тестових вправ функціональної, морфологічної та фізичної підготовленості студентів. Оцінка функціональної підготовленості отримана за показниками частоти серцевих скорочень (ЧСС) у стані спокою, після 20 присідань за 30 с і часу відновлення пульсу (Віт. В. Михайлов, Вол. В. Михайлов, & Коростильова, 2016) за вимогами Н. Н. Амосова (Амосов, 2002) і Г. Л. Апанасенка (Апанасенко, & Науменко, 1988). Оцінка морфологічної підготовленості (МП) обчислена за відсотками відхилення реальної маси тіла студентів (PMT) від оптимального показника маси тіла для чоловіків (ОМТЧ) на основі рекомендацій Г. Л. Апанасенка (Апанасенко, & Науменко, 1988) і І. П. Заневського (Заневський, 2011) з урахуванням зросту, віку, конституції тіла і середнього зросту чоловіків України (Віт. В. Михайлов, Вол. В. Михайлов, & Коростильова, 2014, 2016). Оцінка фізичної підготовленості розрахована за результатами виконання чотирьох тестових вправ (Віт. В. Михайлов, Вол. В. Михайлов, & Коростильова, 2019). Отримані рівняння регресії, їхня якість за коефіцієнтом детермінації ($D\%$) і середньою похибкою апроксимації у відсотках ($\bar{A}\%$) наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 засвідчує, що якість підбору рівнянь регресії добрий, оскільки їхні $D\%$ перебувають у межах $99,82 \div 100\%$, що значно краще критичного значення 80% . Точність нарахування балів висока на що вказують середні похибки апроксимації у відсотках ($0 \div 1,52\%$), які значно менше 5% .

Рівняння регресії та показники їхньої придатності для оцінювання фізичного виховання студентів ЗВО за результатами виконання тестових вправ

№	Рівняння регресії	D %	\bar{A} %
1	Бали $ЧСС_{сп.} = 0,0156 * ЧСС_{сп.}^2 - 0,9091 * ЧСС_{сп.} + 11,472$	100	0,06
2	Бали $ЧСС_{наван.} = -0,04 * (ЧСС_{наван.} / ЧСС_{сп.} * 100 - 100) + 5,52$	100	0
2а	Бали $ЧСС_{наван.} (ПП) = -0,4818 * (ЧСС_{наван.} - ЧСС_{сп.}) / ЧСС_{сп.} * 8,302 + 5,52$	100	0,002
3	Бали $t_{відн.} ЧСС = 0,000126 * t_{відн.} ЧСС^2 - 0,0555 * t_{відн.} ЧСС + 7,3813$	99,82	1,52
4	Бали $МП = -0,00401 * (PMT * 100 / OMTЧ - 100)^2 - 0,005 * (PMT * 100 / OMTЧ - 100) + 5$	100	1,19
5	Бали $стриб. = 5,7792 * результат - 9,9598$	99,98	0,52
6	Бали $вис. = 0,0813 * результат + 0,1547$	99,99	0,30
7	Бали $човн. = -2,0605 * результат + 23,013$	99,94	0,90
8	Бали $сід = 0,1574 * результат - 3,3559$	99,96	0,85

У таблиці 1 подані рівняння регресії, за якими оцінювались тестові завдання:

1. Бали $ЧСС_{сп.}$ – оцінка $ЧСС$ (уд./10 с) у стані спокою.
2. Бали $ЧСС_{наван.}$ – оцінка $ЧСС$ після 20 присідань за 30 с (уд./10 с) за відсотками збільшення.
- 2а. Бали $ЧСС_{наван.} (ПП)$ – оцінка $ЧСС$ за пульсовою різницею між $ЧСС_{наван.}$ і $ЧСС_{сп.}$.
3. Бали $t_{відн.} ЧСС$ – оцінка часу відновлення $ЧСС$ (с) після 20 присідань за 30 с.
4. Бали $МП$ – оцінка морфологічної підготовленості.
5. Бали $стриб.$ – оцінка результату (м) стрибка у довжину з місця.
6. Бали $вис.$ – оцінка результату (с) вису на зігнутих руках, хватом зверху, підборіддя вище перекладаєни.
7. Бали $човн.$ – оцінка результату (с) виконання човникового бігу 4×9 м.
8. Бали $сід$ – оцінка кількості підйомів тулуба в сід за 1 хв. з положення лежачи, руки за головою, лікті в сторони, ноги зігнуті в колінах і зафіксовані.

З таблиці 1 видно, що оцінка $ЧСС_{наван.}$ може бути отримана за двома різними рівняннями регресії: за формулою (2), яка визначає бали за відсотками збільшення $ЧСС$ після присідань, і за формулою (2а), яка укладена за різницею пульсу між $ЧСС_{наван.}$ і $ЧСС_{сп.}$. Якість цих рівнянь регресії за показниками підбору і точності оцінювання практично однакові.

У тестових вправах, в яких бали отримані за нелінійною регресією, оцінку можна визначити і за лінійним рівнянням. На прикладі оцінювання часу відновлення $ЧСС$ після присідань (табл. 1, вправа 3) ми провели порівняння якості нелінійного з лінійним рівнянням регресії. Графіки двох рівнянь регресії, їхні формули, опорні точки та значення R^2 представлені на рисунку 1.

Щоб отримати бали за формулами, що на рисунку 1, необхідно замість x

вставити час відновлення $ЧСС$ у секундах. Крива графіку нелінійної форми зв'язку оцінки з результатом (формула 3) ближче розташована до значень опорних точок, ніж графік лінійної регресії (формула 3*), а значить вона краще їх описує. Для рівняння квадратичної параболи отримано $R^2 = 0,9982$, а для лінійної регресії – $R^2 = 0,9657$, що дає $D = 99,82\%$ і $D = 96,57\%$ відповідно. Отже, відносно лінійної регресії рівняння квадратичної параболи має певну перевагу, хоча підбір двох рівнянь добрий, тому що їхні $D > 80\%$.

Обчислення точності оцінювання часу відновлення $ЧСС$ після присідань за лінійним і нелінійним рівнянням регресії показано у таблиці 2.

Порівняння виявило, що для нелінійної регресії точність нарахування балів вища ($\bar{A} = 1,52\%$), ніж для лінійної

($\bar{A} = 7,58\%$). Отже, оцінку часу відновлення пульсу після 20 присідань за 30 с краще виконати за формулою, яка отримана за квадратичною параболою.

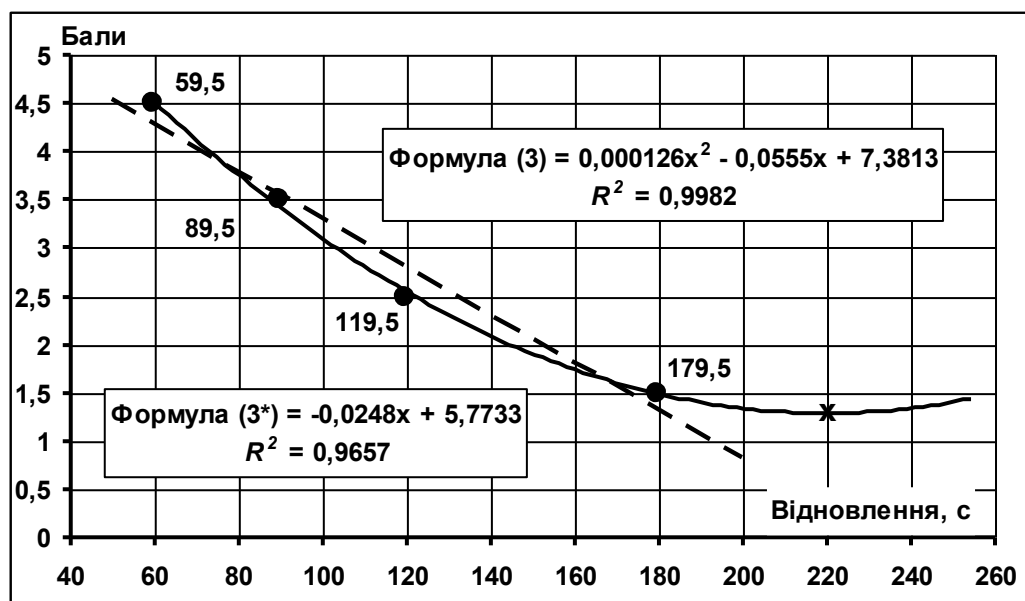


Рис. 1. Оцінювання часу відновлення пульсу після 20 присідань за 30 с за різними рівнянням регресії

Таблиця 2

Середня похибка апроксимації у відсотках оцінювання часу відновлення ЧСС після 20 присідань за 30 с для нелінійного і лінійного рівняння регресії

n	Опорні точки		Оцінка за формулою (3), бали (y_x)	$ y-y_x /y$	Оцінка за формулою (3*), бали (y_x)	$ y-y_x /y$
	$t_{відн}$ ЧСС, с (x)	оцінка, бали (y)				
1	59,5	4,5	4,5251	0,005583	4,2977	0,044956
2	89,5	3,5	3,4233	0,021902	3,5537	0,015343
3	119,5	2,5	2,5484	0,019345	2,8097	0,123880
4	179,5	1,5	1,4788	0,014132	1,3217	0,118867
				$\Sigma = 0,060962$		$\Sigma = 0,303045$
				$\bar{A} = 1,52\%$		$\bar{A} = 7,58\%$

У таблиці 2 подано:

1-й стовпчик – кількість опорних точок – $n = 4$;

2-й стовпчик – опорні точки часу відновлення частоти пульсу після присідань, с;

3-й стовпчик – фактичні оцінки опорних точок, бали;

4-й стовпчик – розрахункові оцінки опорних точок, що отримані за формулою (3) для нелінійної регресії:

$$\text{Бали } t_{відн} \text{ ЧСС} = 0,000126 * t_{відн} \text{ ЧСС}^2 - 0,0555 * t_{відн} \text{ ЧСС} + 7,3813;$$

5-й стовпчик – результати, що обчислені за формулою: $|y-y_x|/y$, а також їхня сума (Σ) для нелінійної регресії;

6-й стовпчик – розрахункові оцінки опорних точок, що отримані за формулою (3*) для лінійної регресії:

$$\text{Бали} = -0,0248 * x + 5,7733;$$

7-й стовпчик – результати, що обчислені за формулою: $|y-y_x|/y$, а також їхня сума (Σ) для лінійної регресії.

При укладанні рівнянь регресії завжди виникає необхідність не тільки підібрати більш точну формулу, але і бажання зменшити у формулі кількість знаків після коми. Зрозуміло, що таке спрощення супроводжується зниженням якості оцінювання. Точність нарахування

балів за формулою (3), у якій в одному випадку менше на один знак після коми (формула 3а), а у другому – на два знаки (формула 3б), встановлена за середньою похибкою апроксимації у відсотках. Результати обчислення \bar{A} % для формул (3а) і (3б) представлені у таблиці 3.

Таблиця 3

Точність оцінювання часу відновлення частоти пульсу після 20 присідань за 30 с для різного цифрового формату формули (3)

	Опорні точки		Оцінка за формулою (3а), бали (y_x)	$ y-y_x /y$	Оцінка за формулою (3б), бали (y_x)	$ y-y_x /y$
	$t_{відн. ЧСС}, c(x)$	оцінка, бали (y)				
1	59,5	4,5	4,5393	0,008729	4,4331	0,014872
2	89,5	3,5	3,4554	0,012748	3,2151	0,081407
3	119,5	2,5	2,6055	0,042193	2,1771	0,129170
4	179,5	1,5	1,6077	0,071788	0,6411	0,572617
				$\Sigma = 0,135459$		$\Sigma = 0,798066$
				$\bar{A} = 3,39\%$		$\bar{A} = 19,95\%$

У таблиці 3 подано:

1-й стовпчик – кількість опорних точок – $n = 4$;

2-й стовпчик – опорні точки часу відновлення частоти пульсу після присідань, с;

3-й стовпчик – фактичні оцінки опорних точок, бали;

4-й стовпчик – розрахункові оцінки опорних точок, що отримані за формулою (3а):

$$\text{Бали } t_{відн} = 0,00013 * t_{відн}^2 ЧСС - 0,0555 * t_{відн} ЧСС + 7,3813;$$

5-й стовпчик – результати, що здобуті за формулою: $|y-y_x|/y$, а також їхня сума (Σ) для формули (4а);

6-й стовпчик – розрахункові оцінки опорних точок, що отримані за формулою (3б):

$$\text{Бали } t_{відн} = 0,0001 * t_{відн}^2 ЧСС - 0,0555 * t_{відн} ЧСС + 7,3813;$$

7-й стовпчик – результати, що обчислені за формулою: $|y-y_x|/y$, а також їхня сума (Σ) для формули (3б).

Таблиця 2 показує, що зменшення кількості знаків після коми, по-різному впливає на точність оцінювання $t_{відн. ЧСС}$. Причому, якщо для формули (3а) воно цілком відповідає вимогам високої точності оцінювання ($\bar{A} = 3,39 < 5 \%$), то формулу (3б) взагалі не можна використовувати, адже $\bar{A} = 19,95 > 15 \%$.

Отже, нарахування балів за час відновлення ЧСС після присідань можна виконати як за формулою (3), так і за формулою (3а), для яких отримано $\bar{A} = 1,52 \%$ і $\bar{A} = 3,39 \%$ відповідно. Справа експериментатора, якому цифровому формату віддати перевагу. Важливо, що обидва показники $\bar{A} \%$ задовольняють поставлену вимогу, а саме: бути меншими за критичне значення високої точності

оцінювання. Щодо формули (3б), для якої одержано $\bar{A} = 19,95 \%$, то вона має незадовільну точність оцінювання, а значить її у такому цифровому форматі не можна застосовувати для оцінювання часу відновлення ЧСС після 20 присідань за 30 с. Цей приклад показує, що зменшувати кількість знаків після коми необхідно дуже обережно і тільки після відповідного аналізу якості рівняння регресії.

На якість оцінювання за рівняннями регресії впливає спосіб визначення опорних точок. Опорні точки можна отримати за нормативами та їхніми оцінками у балах або за їхніми середні арифметичними значеннями. Розглянемо ці два способи укладання рівнянь регресії

на прикладі оцінювання дальності стрибка

у довжину з місця у студентів (рис. 2).

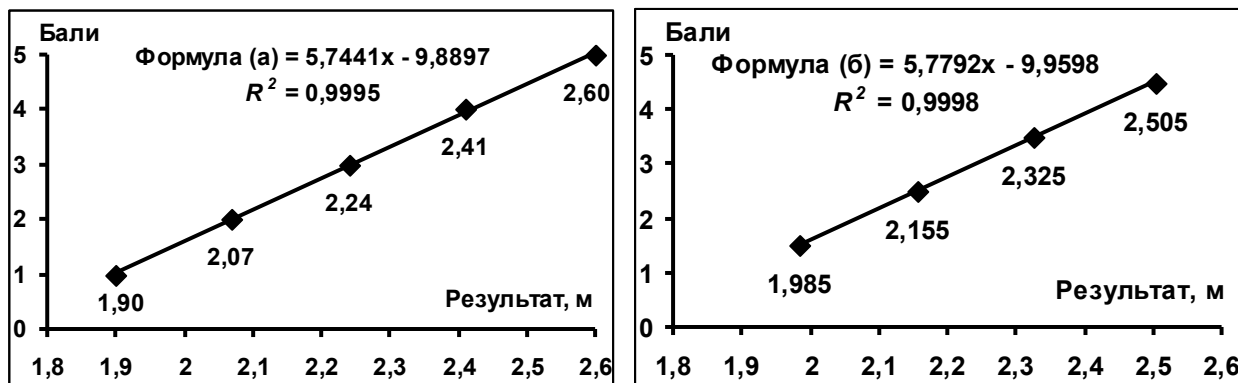


Рис. 2. Оцінювання результатів стрибка у довжину з місця за рівняннями регресії, які обчислені на опорних точках, отриманих двома різними способами

На рисунку 2 формулу (а) обчислили з використанням опорних точок, за які обрані нормативи у стрибку та їхні оцінки у балах. Опорні точки такі: норматив 2,60 м – оцінка «5»; 2,41 м – оцінка «4»; 2,24 м – оцінка «3»; 2,07 м – оцінка «2»; 1,90 м – оцінка «1». Для формули (а) показники якості будуть такими: $D = 99,95\%$ і $\bar{A} = 0,57\%$. При оцінюванні інших тестових вправ фізичної підготовки за рівнянням регресії, які отримані за нормативами та їхніми оцінками, якість буде такою: вис на зігнутих руках – $D = 99,97\%$ і $\bar{A} = 0,87\%$; човниковий біг – $D = 98,83\%$ і $\bar{A} = 1,83\%$; піднімання тулуба в сід за 1 хв. – $D = 99,92\%$ і $\bar{A} = 1,47\%$.

Отже, підбір рівнянь регресії буде добрим ($D = 98,83\div 99,92\%$), а точність оцінювання – високою ($\bar{A} = 0,57\div 1,83\%$). У цілому оцінка фізичної підготовки за результатами виконання чотирьох вправ теж визначена з високою точністю – $\bar{A} = 1,14\%$.

На рисунку 2 також представлена формула (б), яку одержали на опорних точках, розрахованих за середнє арифметичними значеннями нормативів та їхніх оцінок у стрибку в довжину з місця. У цьому способі опорні точки встановили так: результат $(2,60+2,41)/2 = 2,505$ м, оцінка $(5+4)/2 = 4,5$ бала; $(2,41+2,24)/2 = 2,325$ м, оцінка $(4+3)/2 = 3,5$ бала; $(2,24+2,07)/2 = 2,155$ м, $(3+2)/2 = 2,5$ бала; результат $(2,07+1,90)/2 = 1,985$ м,

оцінка $(2+1)/2 = 1,5$ бала. Якість оцінювання вправ фізичної підготовки, яку одержано у цьому способі представлена у таблиці 1 (вправи 5÷8). Точність підбору ($D = 99,94\div 99,98\%$) і точність оцінювання за цими рівняннями регресії ($\bar{A} = 0,30\div 0,90\%$) виявилась кращою, ніж у попередньому способі, у якому опорними точками були нормативами та їхні оцінки.

При оцінюванні результатів виконання тестових вправ за рівняннями регресії інколи доцільно обмежити кількість нарахованих балів. Причинами можуть бути: дуже низькі або навпаки дуже високі досягнення студентів у вправах тесту; особливості нарахування балів для нелінійних рівнянь; вимоги контролю навчального процесу, які не завжди співпадають із завданнями наукових досліджень. Обмежити кількість нарахованих балів можна або за шкалою оцінювання, або за результатом виконання тестового завдання. Обмеження кількості нарахованих балів за шкалою оцінювання продемонструємо на прикладі підйому тулуба в сід за 1 хв. (рис. 3).

На рисунку 2 темними ромбами представлені опорні точки, оціночне рівняння регресії, значення R^2 , нижня границя обмеження – оцінка «0» і верхня границя – оцінка «5». Графік показує, що за результати, які гірші за 22 підйоми, рівняння регресії виставляє оцінку менше «0».



Рис. 3. Верхнє і нижнє обмеження шкали оцінювання кількості підйомів тулуба в сід за 1 хв. у студентів ЗВО

Щоб уникнути цього у рівняння регресії потрібно включити нижнє обмеження шкали оцінювання:

$$= ЕСЛИ((Бали_{сід}) > 0; (Бали_{сід}); 0),$$

де $Бали_{сід}$ – це формула, за якою отримана оцінка у вправі:

$$Бали_{сід} = 0,1574x - 3,3559.$$

Формула, яка за результати гірші за 22 підйоми виставляє оцінку «0», буде:

$$= ЕСЛИ((0,1574x - 3,3559) > 0; (0,1574x - 3,3559); 0),$$

де x – кількість підйомів тулуба в сід за 1 хв.

Без використання нижнього обмеження, наприклад, за 15 підйомів у сід студент отримав би оцінку -0,99 бала. Разом з тим, формула за результати, що краще 53 підйоми нараховує більше, ніж «5» балів. У дослідженні серед 142 студентів 26 осіб показали результат краще оцінки «5», а найвище досягнення – 69 підйоми отримало 7,50 бала. Для того, щоб оцінка була не вище «5» балів пропонується верхнє обмеження шкали оцінювання:

$$= ЕСЛИ((Бали_{сід}) < 5; (Бали_{сід}); 5),$$

де $Бали_{сід}$ – це оціночне рівняння регресії:

$$Бали_{сід} = 0,1574x - 3,3559.$$

Формула верхнього обмеження шкали нарахування балів має вигляд:

$$= ЕСЛИ((0,1574x - 3,3559) < 5; (0,1574x - 3,3559); 5),$$

де x – кількість підйомів тулуба в сід за 1 хв.

За такого обмеження формула максимально нараховує «5» балів, але при цьому за дуже низькі результати дає від'ємні бали. Щоб формула виставляла оцінку в межах від 0 до 5 балів потрібно використати двостороннє обмеження шкали оцінювання:

$$= ЕСЛИ((Бали_{сід}) > 0; ЕСЛИ((Бали_{сід}) < 5; (Бали_{сід}); 5); 0),$$

де $Бали_{сід}$ – це рівняння регресії, за яким отримана оцінка:

$$Бали_{сід} = 0,1574x - 3,3559.$$

Формула двостороннього обмеження буде:

$$= ЕСЛИ((0,1574x - 3,3559) > 0; ЕСЛИ((0,1574x - 3,3559) < 5; (0,1574x - 3,3559); 5); 0),$$

де x – кількість підйомів тулуба в сід за 1 хв.

0 і 5 – границі обмеження шкали нарахування балів.

Формула автоматично виставляє оцінки не вище 5 балів за кількість підйомів у сід, які більше 53 разів, і оцінку «0» за 21 підйом і менше.

Не завжди кількість нарахованих балів може бути лімітована шкалою оцінювання. Тоді обмеження можна виконати за показаним результатом. Прикладом може бути оцінювання $t_{відн. ЧСС}$ після присідань. Особливість оцінювання у цій вправі в тому, що при відновленні ЧСС більше 220 с (3.40,0 с) рівняння регресії знову збільшує бали (цей момент на рисунку 1 позначений зірочкою). Щоб запобігти такому підвищенню, формулу треба записати у вигляді:

$$= \text{ЕСЛИ}((\text{Бали } t_{відн. ЧСС}) < \text{ЕСЛИ}(x < 221; x; 0); (\text{Бали } t_{відн. ЧСС}); 0),$$

де *Бали $t_{відн. ЧСС}$* – це рівняння регресії (див. табл. 1, вправа 3), за яким отримана оцінка:

$$= 0,000126 * t_{відн. ЧСС}^2 - 0,0555 * t_{відн. ЧСС} + 7,3813;$$

x – час відновлення ЧСС, с;

221 с – значення часу відновлення ЧСС після присідань, яке оцінюється у 0 балів.

Робоча формула має вигляд:

$$= \text{ЕСЛИ}((0,000126 * x^2 - 0,0555 * x + 7,3813) < \text{ЕСЛИ}(x < 221; x; 0); (0,000126 * x^2 - 0,0555 * x + 7,3813); 0).$$

Нульова оцінка виставляється цією формулою, якщо $t_{відн. ЧСС}$ буде 221 с і більше. Справедливо зауважити, що таке обмеження для 142 студентів основного навчального відділення було зайвим, оскільки тривалість відновлення ЧСС після 20 присідань за 30 с була у межах від 40 до 140 с, що значно менше 221 с.

Для укладання гетерогенного комплексу необхідно пересвідчитись у відсутності мультиколінеарності між тестовими вправами. У дослідженні мультиколінеарність встановлена за модулем парціальних коефіцієнтів кореляції для оцінок, обчислених за результати виконання 4 тестових вправ. На 1 курсі ($n = 42$) найбільший парціальний коефіцієнт кореляції одержано між оцінками дальності стрибка у довжину з місця (x_5) і часу човникового бігу 4×9 м (x_7) за умови, виключення впливу оцінки збільшення ЧСС (x_2) після 20 присідань за 30 с – $|r|_{x_5, x_7 / x_2} = 0,552 < 0,7$. На 2 курсі ($n = 50$) найбільший коефіцієнт зафіксований між оцінками дальності стрибка у довжину з місця (x_5) і часу виконання човникового бігу 4×9 м (x_7) за умови, виключення впливу оцінки ЧСС (x_1) у стані спокою – $|r|_{x_5, x_7 / x_1} = 0,504 < 0,7$, а на 3 курсі ($n = 50$) – між оцінками дальності стрибка у довжину з місця (x_5) і часу виконання човникового бігу 4×9 м (x_7) за умови, виключення впливу оцінки тривалості відновлення ЧСС (x_3) після 20 присідань за 30 с – $|r|_{x_5, x_7 / x_3} = 0,680 < 0,7$.

Отже, значення парціальних коефіцієнтів кореляції на кожному курсі навчання вказують на відсутність тісного лінійного статистичного взаємозв'язку між оцінками результатів виконання тестових завдань. Це означає, що тестові завдання доповнюють, а не дублюють одне одну, а значить складають гетерогенний комплекс. У такому комплексі можливо встановити точність нарахування балів усіх його складових. У дослідженні отримано високу точність оцінювання не тільки морфологічної ($\bar{A} = 1,19$ %), функціональної ($\bar{A} = 0,63$ %); морфофункціональної ($\bar{A} = 0,79$ %) та фізичної ($\bar{A} = 0,64$ %) підготовленості студентів, але і тесту в цілому ($\bar{A} = 0,71$ %).

Висновки:

1. Придатність рівнянь регресії встановлена за показниками їхнього підбору та точності оцінювання. Підбір рівнянь регресії визначений за коефіцієнтом детермінації, а точність – за середньою похибкою апроксимації. Підбір буде добрим, якщо $D > 80$ %, а точність високою при $\bar{A} < 5$ %. Непридатними є рівняння регресії, в яких \bar{A} % більше 15 %.
2. Отримані рівняння регресії, які укладені на опорних точках за середнє арифметичними значеннями, мають найкращі показники свого підбору ($D = 99,82 \div 100$ %) та точності оцінювання ($\bar{A} = 0 \div 1,52$ %).
3. Встановлено, що вибір і спрощення рівняння регресії шляхом зменшення кількості знаків після коми значно

полегшується за умови контролю його якості за коефіцієнтом детермінації і середньою похибкою апроксимації у відсотках. Використання одно- або двостороннього обмеження за шкалою оцінювання або за результатом тестування сприяє розв'язанню конкретних наукових або навчальних завдань.

4. Гетерогенність тестових вправ визначена за модулем парціальних коефіцієнтів кореляції, які повинні бути менше 0,7. Результати обстеження засвідчили, що тестування студентів проведено за гетерогенним комплексом, оскільки найбільший серед усіх отриманих парціальних коефіцієнтів кореляції менше критичного значення 0,7. Це дозволило

дати оцінку ефективності фізичного виховання до його складових за середнє арифметичними балами.

Напрямок подальших досліджень. Визначити придатність рівнянь регресії для оцінювання ефективності фізичного виховання студенток ЗВО.

Конфлікт інтересів. Автори відзначають, що не існує ніякого конфлікту інтересів.

Джерела фінансування. Ця стаття не отримала фінансової підтримки від державної, громадської або комерційної організації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Амосов, Н. Н. (2002). *Энциклопедия Амосова. Алгоритм здоровья. Человек и общество*. М. : АСТ; Донецк : Сталкер.
- Апанасенко, Г. Л. & Науменко, Р. Г. (1988). Соматическое здоровье и максимальная аэробная способность индивида. *Теория и практика физкультуры*, 4, 29-31.
- Базака, Л. Н. & Разинков, А. И. (2015). *Статистическая обработка данных в среде пакетов Statistica, EViews и MS Excel: методические указания по выполнению лабораторных работ*. Пинск : ПолесГУ.
- Заневський, І. П. (2011). Точність шкал оцінювання рівня фізичного здоров'я. Частина 1. Інтер- та екстраполяція шкали оцінювання. *Фізична активність, здоров'я і спорт*. 2 (4), 8-19.
- Михайлов, Віт. В., Михайлов, Вол. В., & Коростильова, Ю. С. (2014). Оцінювання маси тіла студентів на основі індексу маси тіла за вимогами соматичного здоров'я людини. *Журнал науковий огляд, Вип. 2, 1 (1 частина)*, 164-171.
- Михайлов, Віт. В., Михайлов, Вол. В., & Коростильова, Ю. С. (2016). Морфофункціональна підготовленість за оцінкою маси тіла та ЧСС студентів ВНЗ. *Сучасні технології в сфері фізичного виховання, спорту та валеології: Збірн. наук. праць X Міжн. Інтернет наук.-метод. конф. Вип. 10*. 202-216.
- Михайлов, Віт. В., Михайлов, Вол. В., & Коростильова, Ю. С. (2019). Аналіз морфофункціонального стану та фізичної підготовленості військовослужбовців-учасників ООС з різною масою тіла. *Сучасні тенденції та перспективи розвитку фізичної підготовки і спорту у ЗСУ, правоохоронних органах, рятувальних та інших спеціальних служб на шляху євроатлантичної інтеграції України: матер. II Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 14-15 лютого 2019 р.) / Національний ун-т оборони України ім. Івана Черняховського; за заг. ред. В. Свистун, О. Петрачкова*. 263-266.
- Лещинський, О. Л., Рязанцева, В. В., Юнькова, О. О., Юртин, І. І., & Юнькової, О. О. (Ed.). (2009). *Практикум з економетрії*. К. : ДП «Вид. дім «Персонал»». ISBN 978-966-608-841-6
- Рогачев, А. Ф. & Мелихова, Е. В. (2014). *Эконометрика*. Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГТУ.
- Щолокова, М. О., & Коротунова, О. В. (Eds.). (2013). *Розрахунково-графічні завдання для самостійної роботи з дисципліни «Економетрія» Частина 1 (парна та множинна регресії) для студентів економічних спеціальностей усіх форм навчання*. Запоріжжя: ЗНТУ.

Зациорский, В. М. (Eds.). (1982). *Спортивная метрология*. М.: Физкультура и спорт.

Стаття поступила до редакції: 05.10.2019.

Опублікована: 01.11.2019.

Аннотация. Михайлов Виталий, Михайлов Владимир, Коростылева Юлия. **Пригодность уравнений регрессии для оценивания эффективности физического воспитания студентов высших учебных заведений.** В исследовании представлены средства использования математического моделирования выполнения тестовых упражнений в физическом воспитании путем построения уровня регрессии. **Цель:** совершенствование методики оценивания результатов тестовых упражнений в физическом воспитании. **Методы:** теоретический анализ и обобщение; антропометрия; метод наименьших квадратов; корреляционный и регрессионный анализ. **Материал:** изучалась пригодность уравнений регрессии для определения эффективности физического воспитания за показателями морфологической, функциональной и физической подготовленности студентов 1÷3 курсов ($n = 142$) основного учебного отделения технических специальностей и возможность оценивания достижений за средними арифметическими значениями восьми тестовых упражнений. **Результаты:** пригодность уравнений регрессии для оценивания результатов выполнения тестовых упражнений определили по коэффициенту детерминации и средней ошибки аппроксимации в процентах. Найдено, что на точность оценивания влияет выбор уравнения регрессии, его цифровой формат и способ определения опорных точек. Установлено, что для вычисления средних арифметических значений необходимо, чтобы тестовые упражнения составляли гетерогенный комплекс. Гетерогенность комплекса определили по модулю значений парциальных коэффициентов корреляции, на основании которых судили о мультиколлинеарности тестовых упражнений. **Выводы:** в исследовании оценивание достижений в тестовых упражнениях выполнено за хорошо подобранными уравнениями регрессии ($D = 99,82 \div 100 \%$) при высокой точности начисления баллов как в каждом задании ($\bar{A} = 0 \div 1,52 \%$), так и в тесте в целом ($\bar{A} = 0,71 \%$). Вычисленные парциальные коэффициенты корреляции свидетельствуют о том, что данный тест является гетерогенным, поскольку наибольшее значение $- |r|_{x_5, x_7 / x_3} = 0,680$ меньше критического показателя мультиколлинеарности – 0,7.

Ключевые слова: физическое воспитание, студенты, тестовые упражнения, уравнение регрессии, оценивание, коэффициент детерминации, аппроксимация, мультиколлинеарность.

Abstract. Vitaliy Mykhaylov, Volodymyr Mykhaylov, Yuliya Korostylova. **Applicability of Regression Equations for Evaluation of the Effectiveness of Physical Education among Students of Higher Education Establishments.** The study presents the means of using mathematical modeling to perform test exercises in physical education by constructing regression equations. **Aim:** Improvement of the methodology for evaluation of the exercise results in physical education. **Methods:** Theoretical analysis and generalization; anthropometry; method of least squares; correlation and regression analysis. **Materials:** We have studied the applicability of the regression equations to determine the effectiveness of physical education using the results of morphological, functional and physical readiness among students of 1st – 3rd years of studies ($N = 142$) at the main educational departments of technical courses. We have also determined the possibility of evaluating their achievements using the arithmetic mean in eight test exercises. **Results:** The applicability of the regression equations for evaluation of the results of test exercises has been determined with the coefficient of determination and the percent average approximation error. It has been found that the choice of the regression equation, its digital format, and the way of determining control points influences the assessment accuracy. It has also been found that in order to calculate arithmetic mean values, it is essential that the test exercises create a heterogeneous complex. The heterogeneity of the complex has been determined as a modulus of the values of the partial correlation coefficients which have been used as bases to judge on the multicollinearity of

test exercises. **Conclusions:** The study shows that the assessment of achievements using the test exercises is done with the well-chosen regression equations ($D = 99.82 \div 100\%$) with high accuracy of scoring both of every exercise ($\bar{A} = 0 \div 1.52\%$) and of the test as a whole ($\bar{A} = 0.71\%$). The calculated partial correlation coefficients have indicated that this test is heterogeneous since the highest value among all obtained values $|r|_{x_5, x_7 / x_3} = 0.680$ is less than the critical multicollinearity indicator – 0.7.

Key words: physical education, students, test exercises, regression equation, assessment, determination coefficient, approximation, multicollinearity.

Reference

- Amosov, N. N. (2002). *Jenciklopedija Amosova. Algoritm zdorov'ja. Chelovek i obshhestvo*. M. : AST; Doneck : Stalker.
- Apanasenko, G. L. & Naumenko, R. G. (1988). Somaticheskoe zdorov'e i maksimal'naja ajerobnaja sposobnost' individa. *Teorija i praktika fizkul'tury*, 4, 29-31.
- Bazaka, L. N. & Razinkov, A. I. (2015). *Statisticheskaja obrabotka dannyh v srede paketov Statistica, EViews i MS Excel: metodicheskie ukazanija po vypolneniju laboratornyh rabot*. Pinsk : PolesGU.
- anevs'kyj, I. P. (2011). Tochnist' shkal ocinjuvannja rivnja fizychnogo zdorov'ja. Chastyna 1. Inter- ta ekstrapoljacija shkaly ocinjuvannja. *Fizychna aktyvnist', zdorov'ja i sport*, 2 (4), 8-19.
- Myhajlov, Vit. V., Myhajlov, Vol., V., & Korostyl'ova, Ju. S. (2014). Ocinjuvannja masy tila studentiv na osnovi indeksu masy tila za vymogamy somatychnoho zdorov'ja ljudyny. *Zhurnal naukovyj ogljad*, Vyp. 2, 1 (1 chastyna), 164-171.
- Myhajlov, Vit. V., Myhajlov, Vol. V., & Korostyl'ova, Ju. S. (2016). Morfofunkcional'na pidgotovlenist' za ocinkoju masy tila ta ChSS studentiv VNZ. *Suchasni tehnologii' v sferi fizychnogo vyhovannja, sportu ta valeologii'*: Zbirn. nauk. prac' X Mizhn. Internet nauk.- metod. Konf, Vyp, 10. 202-216.
- Myhajlov, Vit. V., Myhajlov, Vol. V., & Korostyl'ova, Ju. S. (2019). Analiz morfofunkcional'nogo stanu ta fizychnoi' pidgotovlenosti vijs'kovoslužbovciv-uchasnykiv OOS z riznoju masoju tila. *Suchasni tendencii' ta perspektyvy rozvytku fizychnoi' pidgotovky i sportu u ZSU, pravoohoronnyh organah, rjatuval'nyh ta inshyh special'nyh sluzhb na shljahu jevroatlantlychnoi' integracii' Ukraïny : mater. II Mizhnarodnoi' naukovy-praktychnoi' konferencii' (Kyï'v, 14-15 ljutogo 2019 r.) / Nacional'nyj un-t oborony Ukraïny im. Ivana Chernjahovs'kogo; za zag. red. V. Svystun, O. Petrachkova*. 263-266.
- Leshhyns'kyj, O. L., Rjazanceva, V. V., Jun'kova, O. O. , Jurty, I. I., & Jun'kovoi', O. O. (Ed.). (2009). *Praktykum z ekonometrii'*. K. : DP «Vyd. dim «Personal». ISBN 978-966-608-841-6
- Rogachev, A. F. & Melihova, E. V. (2014). *Jekonometrika*. Volgograd: FGBOU VPO Volgogradskij GTU.
- Shholokova, M. O., & Korotunova, O. V. (Eds.). (2013). *Rozrahunkovo-grafichni zavdannja dlja samostijnoi' roboty z dyscypliny «Ekonometrija» Chastyna 1 (parna ta mnozhynna regresii') dlja studentiv ekonomichnyh special'nostej usih form navchannja*. Zaporizhzhja: ZNTU.
- Zaciorskij, V. M. (Eds.). (1982). *Sportivnaja metrologija*. M.: Fizkul'tura i sport.

Відомості про авторів / Information about the Authors

Михайлов Віталій Вікторович: кандидат педагогічних наук, доцент; Навчально-спортивна база літніх видів спорту МОУ; вул. Клепарівська 39а, 79000 м. Львів;

Михайлов Виталий Викторович, кандидат педагогических наук, доцент; Учебно-спортивная база летних видов спорта МОУ; ул. Клепаривсь-ка 39а, 79000 м. Львов;

Vitaliy Mykhaylov: PhD; Educational Sports Base of Summer Sports; 39a Kleparivska st. 79000 Lviv;

<https://orcid.org/0000-0001-7935-7579>

E-mail: nmv@nsblvs.org

Михайлов Володимир Віталійович: кандидат наук з фізичного виховання і спорту; Навчально-спортивна база літніх видів спорту МОУ; вул. Клепарівська 39а, 79000 м. Львів,

Михайлов Владимир Викторович: *кандидат педагогических наук, доцент; Учебно-спортивная база летних видов спорта МОУ; ул. Клепаривсь-ка 39а, 79000 м. Львов;*

Volodymyr Mykhaylov: PhD; Educational Sports Base of Summer Sports; 39a Kleparivska st. 79000 Lviv;

<https://orcid.org/0000-0002-2517-6016>

E-mail: nmv@nsblvs.org

Коростильова Юлія Сергіївна: *кандидат наук з фізичного виховання і спорту; Навчально-спортивна база літніх видів спорту МОУ; вул. Клепарівська 39а, 79000 м. Львів,*

Коростылева Юлия Сергеевна: кандидат наук по физическому воспитанию и спорту.

Учебно-спортивная база летних видов спорта МОУ; ул. Клепаривсь-ка 39а, 79000 м. Львов;

Yuliya Korostylova: PhD; Educational Sports Base of Summer Sports; 39a Kleparivska st. 79000 Lviv;

<https://orcid.org/0000-0001-8939-3530>

E-mail: nmv@nsblvs.org