

Толочний Віктор

<http://orcid.org/0000-0002-0463-4073>
 Researcher ID AAC-6825-2020

Старший викладач кафедри педагогіки, психології та методики фізичного виховання,
 Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка
 (Чернігів, Україна) E-mail: tolvkn@gmail.com

ПОБУДОВА БІОКІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ ФІЗИЧНОЇ ВПРАВИ ЗА ДОПОМОГОЮ MICROSOFT EXCEL

Біокінематична схема фізичної вправи є базовим інструментом біомеханіки, що дозволяє наочно відобразити просторово-часову організацію рухів людини, визначити положення тіла, траєкторії руху його сегментів, кути у суглобах та послідовність фаз виконання вправи. Традиційні методи побудови таких схем ґрунтуються на використанні спеціалізованих програмних засобів або ручних графічних побудов, що забезпечують високу точність, але потребують значних часових витрат і спеціальної підготовки [2-6]. Це обмежує їх широке застосування у навчальному процесі та практичній діяльності тренерів і дослідників. Актуальним є пошук універсальних і доступних комп'ютерних засобів, які дозволяють автоматизувати процес побудови біокінематичних схем, забезпечити їх наочність та точність, а також бути придатними для використання в умовах дистанційної освіти та оперативного аналізу рухів.

Мета роботи. Запропонувати алгоритм створення шаблону побудови біокінематичної схеми фізичної вправи для здобувачів освіти, які опановують дисципліну біомеханіка рухової діяльності, дослідників та тренерів, використовуючи можливості програмного забезпечення Microsoft Excel 2019.

Методологія. ґрунтується на аналізі навчально-методичних джерел і можливостей програмного забезпечення, інтеграції біомеханічних методів з математичними підходами та використанні комп'ютерних технологій і моделювання.

Наукова новизна. На основі функціоналу Microsoft Excel 2019 розроблено шаблон, що дозволяє повністю автоматизувати побудову біокінематичної схеми без використання додаткових графічних редакторів. Перевагою запропонованого інструменту є можливість неперервного відтворення всіх біолянок тіла спортсмена, автоматичне визначення середніх точок плечового та тазостегнового поясів, контроль коректності введених даних та їх оперативне коригування. Це забезпечує підвищення точності та скорочення часу побудови схеми, а також робить процес доступним для студентів і дослідників.

Висновки. Представлений у статті шаблон побудови біокінематичної схеми фізичної вправи дає можливість швидко та об'єктивно здійснювати аналіз рухових дій спортсмена. Він дозволяє здобувачам освіти зменшити витрати часу на виконання практичних робіт, підвищити якість та точність аналізу техніки, а також формувати навички роботи з сучасними комп'ютерними технологіями. Широке використання Microsoft Excel у цьому процесі відкриває перспективи застосування методу в умовах дистанційного навчання, у наукових дослідженнях та у практичній діяльності тренерів і фахівців з фізичної культури та спорту.

Ключові слова: біокінематична схема фізичної вправи, комп'ютерні технології, Microsoft Excel, студенти, біомеханіка.

Постановка проблеми. У процесі аналізу рухової діяльності людини важливе місце посідає дослідження кінематичних характеристик фізичних вправ, що відображають просторово-часову організацію рухів та взаємодію окремих ланок тіла. Одним із базових інструментів такого аналізу є біокінематична схема (БКС), яка дозволяє наочно представити положення тіла, траєкторії руху його сегментів, кути у суглобах та послідовність фаз виконання вправи [3; 5].

Традиційні підходи до побудови БКС ґрунтуються на використанні спеціалізованих програмних засобів або виконанні ручних графічних побудов на основі фотографій чи відеокліпів. Такі методи, хоча й забезпечують високу точність, потребують значних часових витрат, спеціальної підготовки та наявності відповідного програмного забезпечення. Це обмежує їх широке застосування в освітньому процесі та практичній діяльності тренерів та дослідників.

У зв'язку з цим актуальною є проблема пошуку доступних і універсальних комп'ютерних засобів, які дозволяють автоматизувати процес побудови БКС, забезпечити їх наочність та точність, бути

придатними для використання при навчанні студентів, в умовах дистанційної освіти та оперативного аналізу рухів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання об'єктивної оцінки спортивної техніки та аналізу рухових дій займають центральне місце у роботах провідних фахівців із біомеханіки, таких як А. Лапутін, М. Носко та інші [3-6]. Теоретичний фундамент досліджень базується на розумінні фізичної сутності рухів людини та використанні декартової інерціальної системи координат для фіксації положення матеріальних точок тіла.

Традиційно для візуалізації рухів використовували метод стробоскопії, проте сучасні дослідники вказують на його недоліки, зокрема накладання зображень одне на одне та затемнення малюнка зайвими елементами. На противагу цьому, БКС розглядається як ефективніший інструмент, оскільки вона дозволяє отримати чітке зображення розрахункових точок, з'єднаних у біокінематичні ланцюги, що вигідно відрізняє її в умовах якісного аналізу техніки.

В останніх публікаціях значна увага приділяється автоматизації процесу побудови таких схем. Фахівці (зокрема В. Кашуба) [2] наголошують на важливості відеокomp'ютерного аналізу тіла спортсмена. Для опрацювання відеоматеріалів та визначення просторово-часових характеристик рухів автори рекомендують використовувати спеціалізоване та загальнодоступне програмне забезпечення, таке як Virtual Dub, Microsoft Office Excel та Corel Draw.

Особливе значення у наукових працях приділяється точності отриманих даних. Доведено, що побудова БКС за координатами розрахункових точок є значно точнішою, ніж метод замальовування поз вручну на міліметровому папері. Таким чином, використання Microsoft Excel для обробки таблиць координат і побудови діаграм стає актуальним напрямком, що поєднує класичні біомеханічні методи з сучасними комп'ютерними технологіями.

Мета роботи. Представити варіант створення шаблону побудови БКС фізичної вправи для здобувачів освіти, які опановують дисципліну біомеханіка рухової діяльності, дослідників та тренерів, використовуючи можливості програмного забезпечення Microsoft Excel 2019.

Методологія. Дослідження ґрунтується на системному аналізі фахової літератури, інтеграції класичних біомеханічних методів аналізу відеоматеріалів із математичним моделюванням та функціональними можливостями табличних процесорів. Застосовано методи координатного оцифрування рухових дій та алгоритмізацію геометричних побудов у системі декартових координат.

Наукова новизна. На основі функціональних можливостей програмного забезпечення Microsoft Excel 2019 розроблено шаблон, придатний для використання у процесі вивчення біомеханіки рухової діяльності, наукових досліджень рухової діяльності спортсмена та оперативному контролю тренувального процесу. Перевагою запропонованого інструменту є можливість повної та неперервної побудови всіх біолоанок тіла спортсмена, а також, контроль коректності введених даних і їх оперативне коригування, що забезпечує підвищення точності та скорочення часу побудови БКС фізичної вправи.

Результати дослідження. Біокінематична схема (БКС) – це умовне, спрощене графічне та геометричне, зображення рухової системи людини у встановленому масштабі відносно обраної системи відліку. Вона являє собою графічне відтворення послідовних положень тіла людини (поз), де розрахункові точки (центри суглобів, голови, кісті) з'єднані прямими лініями у так звані біокінематичні ланцюги. БКС дозволяє візуалізувати просторове та часове розгортання руху, перетворюючи складну динамічну дію на серію статичних зображень і ліній для детального вивчення її механіки.

У такій схемі: ланки тіла (передпліччя, плече, стегно тощо) зображуються у вигляді прямих ліній (векторів), суглоби розглядаються як центри обертання (вузлові точки), а геометрія мас позначається точками, що відповідають центрам мас окремих сегментів. Схема може бути статичною (фіксація положення тіла у певний момент) або динамічною (послідовність фаз руху).

БКС відображає геометричні та просторові взаємозв'язки між сегментами тіла, що дозволяє досліднику або студенту бачити структуру руху у фронтальній, сагітальній чи горизонтальній площині.

Побудова БКС фізичної вправи має на меті:

- ❖ Наочну візуалізацію структури руху та взаємодії окремих біолоанок тіла спортсмена, абстрагуючись від зовнішніх ознак і зосереджуючись на механічній суті вправи.

- ❖ Аналіз кінематичних характеристик руху (траєкторії, суглобові кути, амплітуди, положення сегментів у просторі) у різних фазах виконання вправи.

- ❖ Визначення положення та траєкторії загального центру мас (ЗЦМ) як ключового показника стійкості та ефективності техніки.

- ❖ Оцінку техніки виконання вправи та виявлення помилок шляхом порівняння побудованої схеми з еталонною моделлю.

- ❖ Математичне моделювання руху для розрахунку кінематичних (швидкість, прискорення) та динамічних (сили, моменти сил) характеристик.

- ❖ Порівняння різних фаз руху або варіантів виконання вправи, що дозволяє здійснювати якісний та кількісний аналіз техніки.

- ❖ Оптимізацію тренувального процесу та зниження ризику травм через точний аналіз рухових дій.

❖ Використання як навчального інструменту у біомеханіці, фізичному вихованні та спортивній педагогіці для формування у студентів навичок аналізу рухів.

❖ Індивідуалізацію тренувань на основі отриманих даних, що дозволяє створювати персоналізовані програми розвитку фізичних якостей.

Повний алгоритм побудови БКС включає у себе такі етапи:

1. Визначення мети дослідження. Формулювання завдань аналізу руху (оцінка амплітуди, траєкторії, швидкості, суглобових кутів, фаз руху тощо).

2. Реєстрація рухової дії. Відеозапис виконання фізичної вправи з фіксованого ракурсу із застосуванням масштабної лінійки та вибором ключових кадрів (основних фаз рухової дії).

3. Вибір і маркування ключових точок. Визначення та позначення опорних точок тіла (суглобів, кінцівок, центру мас) на кожному ключовому кадрі.

4. Формування координатної бази даних. Зчитування координат (X, Y) опорних точок на ключових кадрах у вибраній системі відліку та занесення їх до таблиці.

5. Побудова БКС. З'єднання опорних точок у послідовні біокінематичні ланцюги з візуалізацією положення тіла в окремі фази руху.

Із сказаного вище слідує, що точне графічне представлення виконання фізичної вправи є ключем до її повного та коректного аналізу, у статті розглянемо 5-й етап алгоритму, а саме – представимо послідовний варіант створення шаблону для побудови БКС фізичної вправи за допомогою Microsoft Excel версії 2019.

Розглянемо покрокову інструкцію створення файлу для побудови БКС фізичної вправи. Для зручності та оперативної корекції помилок введення координат у таблицю БКС, він буде містити один аркуш – «БКС». Можна зробити і варіант з двома аркушами, на одному розмістити таблицю, а на іншому – побудову, але на наш погляд перший варіант більш практичний, оскільки не потребує перемикання між аркушами, щоб контролювати правильність побудови. Змінюємо назву аркушу: «Аркуш1» на «БКС» за допомогою пункту контекстного меню – *Перейменувати*.

Розмістимо на аркуші таблицю координат точок суглобів біоланок тіла спортсмена за осями x та y. У клітинку A1 введемо назву таблиці – «Координати точок суглобів біоланок тіла спортсмена за осями x та y». Виділимо діапазон клітинок A1:R1 та натиснемо на значок  *Об'єднати та розташувати у центрі*, який знаходиться на вкладці *Основне* стрічки меню вікна програми та зробимо його жирним шрифтом.

Далі додаємо таблицю, як показано на малюнку (рис. 1): A3:B4 – «№ кадрів» у цьому стовпці будемо вказувати номери кадрів; B5, B7, B9, B11, B13 та B15 – «пр», а B6, B8, B10, B12, B14 та B16 – «л» у ці рядки будемо вводити координати правої (пр), або лівої (л) біоланок тіла; C3:D3 – «ЦМ голови», E3:F3 – «Плечовий суглоб», G3:H3 – «Ліктювий суглоб», I3:J3 – «Суглоб кисті», K3:L3 – «Тазостегновий суглоб», M3:N3 – «Колінний суглоб», O3:P3 – «Суглоб стопи», Q3:R3 – «ЦМ стопи» у ці стовпці вносять координати центру мас голови, плечового, ліктювого, кистьового, тазостегнового, колінного суглобів, стопи та її центру мас відповідно. Перелік ключових точок, що представлений у таблиці (рис. 1) є стандартним набором описаним у більшості авторських джерел.

Координати точок суглобів біоланок тіла спортсмена за осями x та y																
№ кадрів	ЦМ голови		Плечовий суглоб		Ліктювий суглоб		Суглоб кисті		Тазостегновий суглоб		Колінний суглоб		Суглоб стопи		ЦМ стопи	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
5	пр															
6	л															
7	пр															
8	л															
9	пр															
10	л															
11	пр															
12	л															
13	пр															
14	л															
15	пр															
16	л															

Рис. 1. Таблиця для введення координат точок суглобів біоланок тіла спортсмена за осями x та y

Більшість авторів пропонують будувати БКС вручну за допомогою міліметрового паперу, а інші – будують точки за допомогою точкової діаграми в Microsoft Excel, або іншому табличному процесорі. Далі за допомогою графічного редактора сполучають відповідні точки та отримують БКС. Цей спосіб, хоч і більш автоматизований, але все ж вимагає наявності на ПК чи ноутбучі графічного редактора, а також, навичок користування ним.

Провівши дослідження різних алгоритмів побудови, ми дійшли висновку, що даний дизайн таблиці ідеально підходить для тих випадків, коли рухова дія фіксується у сагітальній площині та відбувається таким чином, що правий і лівий плечові та тазостегнові суглоби проєктуються в одну точку. У випадку окремих точок виникає проблема – як сполучити центр мас голови, плечовий та тазостегновий пояс (побудувати тулуб), який і зазвичай добудовують у графічному редакторі.

Запропонуємо варіант вирішення даної проблеми. Додамо до нашої таблиці 2 стовпці: «Середня точка плечового поясу» та «Середня точка тазостегнового поясу». Для цього виділимо стовпці G та H (затиснувши ліву клавішу миші та провівши по їх назвах), далі викликаємо контекстне меню та обираємо пункт *Додати клітинки* (рис. 2).

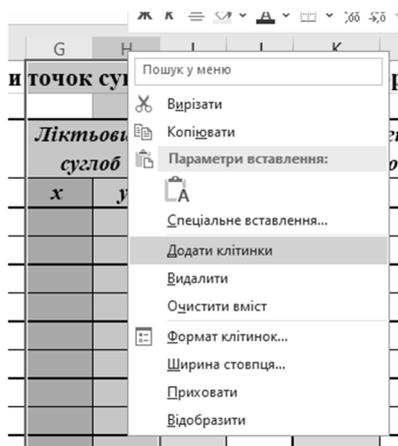


Рис. 2. Додавання стовпців до таблиці

Виділяємо стовпець та робимо відповідні межі та заливку як у всій таблиці за допомогою значків *Межі* та *Колір заливки*, які знаходяться на вкладці *Основне* стрічки меню вікна програми. Аналогічні операції пророблюємо і для другого стовпця, виділивши стовпці O та P. Вводимо назви стовпців у G3 – «Середня точка плечового поясу», у O3 – «Середня точка тазостегнового поясу» та об'єднуємо діапазони клітинок G3:H3 та O3:P3 за допомогою інструменту *Об'єднати та розташувати у центрі* (рис. 3). Вводимо до G4 та O4 – «x», а до H4 та P4 – «y».

Координати точок суглобів біолонок тіла спортсмена за осями x та y																					
№ кадрів	ЦМ голови		Плечовий суглоб		Середня точка плечового поясу		Ліктьовий суглоб		Суглоб кисті		Тазостегновий суглоб		Середня точка тазостегнового поясу		Колінний суглоб		Суглоб стопи		ЦМ стопи		
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	
5	пр																				
6	л																				
7	пр																				
8	л																				
9	пр																				
10	л																				
11	пр																				
12	л																				
13	пр																				
14	л																				
15	пр																				
16	л																				

Рис. 3. Таблиця для введення координат точок суглобів біолонок тіла спортсмена за осями x та y з додатковими стовпцями

Введемо формули до відповідних комірок таблиці:

$$G5 - \text{«}=\text{IF}((E5 < > "") * (E6 < > ""); (E5 + E6) / 2; \text{IF}(E5 < > "" ; E5; \text{IF}(E6 < > "" ; E6; ""))) \text{»};$$

$$G7 - \text{«}=\text{IF}((E7 < > "") * (E8 < > ""); (E7 + E8) / 2; \text{IF}(E7 < > "" ; E7; \text{IF}(E8 < > "" ; E8; ""))) \text{»};$$

G9 – «=IF((E9<>"")*(E10<>"");(E9+E10)/2;IF(E9<>"";E9;IF(E10<>"";E10;""))»;
 G11 – «=IF((E11<>"")*(E12<>"");(E11+E12)/2;IF(E11<>"";E11;IF(E12<>"";E12;""))»;
 G13 – «=IF((E13<>"")*(E14<>"");(E13+E14)/2;IF(E13<>"";E13;IF(E14<>"";E14;""))»;
 G15 – «=IF((E15<>"")*(E16<>"");(E15+E16)/2;IF(E15<>"";E15;IF(E16<>"";E16;""))»;
 H5 – «=IF((F5<>"")*(F6<>"");(F5+F6)/2;IF(F5<>"";F5;IF(F6<>"";F6;""))»;
 H7 – «=IF((F7<>"")*(F8<>"");(F7+F8)/2;IF(F7<>"";F7;IF(F8<>"";F8;""))»;
 H9 – «=IF((F9<>"")*(F10<>"");(F9+F10)/2;IF(F9<>"";F9;IF(F10<>"";F10;""))»;
 H11 – «=IF((F11<>"")*(F12<>"");(F11+F12)/2;IF(F11<>"";F11;IF(F12<>"";F12;""))»;
 H13 – «=IF((F13<>"")*(F14<>"");(F13+F14)/2;IF(F13<>"";F13;IF(F14<>"";F14;""))»;
 H15 – «=IF((F15<>"")*(F16<>"");(F15+F16)/2;IF(F15<>"";F15;IF(F16<>"";F16;""))»;
 O5 – «=IF((M5<>"")*(M6<>"");(M5+M6)/2;IF(M5<>"";M5;IF(M6<>"";M6;""))»;
 O7 – «=IF((M7<>"")*(M8<>"");(M7+M8)/2;IF(M7<>"";M7;IF(M8<>"";M8;""))»;
 O9 – «=IF((M9<>"")*(M10<>"");(M9+M10)/2;IF(M9<>"";M9;IF(M10<>"";M10;""))»;
 O11 – «=IF((M11<>"")*(M12<>"");(M11+M12)/2;IF(M11<>"";M11;IF(M12<>"";M12;""))»;
 O13 – «=IF((M13<>"")*(M14<>"");(M13+M14)/2;IF(M13<>"";M13;IF(M14<>"";M14;""))»;
 O15 – «=IF((M15<>"")*(M16<>"");(M15+M16)/2;IF(M15<>"";M15;IF(M16<>"";M16;""))»;
 P5 – «=IF((N5<>"")*(N6<>"");(N5+N6)/2;IF(N5<>"";N5;IF(N6<>"";N6;""))»;
 P7 – «=IF((N7<>"")*(N8<>"");(N7+N8)/2;IF(N7<>"";N7;IF(N8<>"";N8;""))»;
 P9 – «=IF((N9<>"")*(N10<>"");(N9+N10)/2;IF(N9<>"";N9;IF(N10<>"";N10;""))»;
 P11 – «=IF((N11<>"")*(N12<>"");(N11+N12)/2;IF(N11<>"";N11;IF(N12<>"";N12;""))»;
 P13 – «=IF((N13<>"")*(N14<>"");(N13+N14)/2;IF(N13<>"";N13;IF(N14<>"";N14;""))»;
 P15 – «=IF((N15<>"")*(N16<>"");(N15+N16)/2;IF(N15<>"";N15;IF(N16<>"";N16;""))»;
 Отримаємо результат, як показано на малюнку (рис. 4).

G		H	
<i>Середня точка плечевого поясу</i>			
	<i>x</i>		<i>y</i>
5	=IF((E5<>"")*(E6<>"");(E5+E6)/2;IF(E5<>"";E5;IF(E6<>"";E6;""))		=IF((F5<>"")*(F6<>"");(F5+F6)/2;IF(F5<>"";F5;IF(F6<>"";F6;""))
7	=IF((E7<>"")*(E8<>"");(E7+E8)/2;IF(E7<>"";E7;IF(E8<>"";E8;""))		=IF((F7<>"")*(F8<>"");(F7+F8)/2;IF(F7<>"";F7;IF(F8<>"";F8;""))
9	=IF((E9<>"")*(E10<>"");(E9+E10)/2;IF(E9<>"";E9;IF(E10<>"";E10;""))		=IF((F9<>"")*(F10<>"");(F9+F10)/2;IF(F9<>"";F9;IF(F10<>"";F10;""))
11	=IF((E11<>"")*(E12<>"");(E11+E12)/2;IF(E11<>"";E11;IF(E12<>"";E12;""))		=IF((F11<>"")*(F12<>"");(F11+F12)/2;IF(F11<>"";F11;IF(F12<>"";F12;""))
13	=IF((E13<>"")*(E14<>"");(E13+E14)/2;IF(E13<>"";E13;IF(E14<>"";E14;""))		=IF((F13<>"")*(F14<>"");(F13+F14)/2;IF(F13<>"";F13;IF(F14<>"";F14;""))
15	=IF((E15<>"")*(E16<>"");(E15+E16)/2;IF(E15<>"";E15;IF(E16<>"";E16;""))		=IF((F15<>"")*(F16<>"");(F15+F16)/2;IF(F15<>"";F15;IF(F16<>"";F16;""))

O		P	
<i>Середня точка тазостегнового поясу</i>			
	<i>x</i>		<i>y</i>
5	=IF((M5<>"")*(M6<>"");(M5+M6)/2;IF(M5<>"";M5;IF(M6<>"";M6;""))		=IF((N5<>"")*(N6<>"");(N5+N6)/2;IF(N5<>"";N5;IF(N6<>"";N6;""))
7	=IF((M7<>"")*(M8<>"");(M7+M8)/2;IF(M7<>"";M7;IF(M8<>"";M8;""))		=IF((N7<>"")*(N8<>"");(N7+N8)/2;IF(N7<>"";N7;IF(N8<>"";N8;""))
9	=IF((M9<>"")*(M10<>"");(M9+M10)/2;IF(M9<>"";M9;IF(M10<>"";M10;""))		=IF((N9<>"")*(N10<>"");(N9+N10)/2;IF(N9<>"";N9;IF(N10<>"";N10;""))
11	=IF((M11<>"")*(M12<>"");(M11+M12)/2;IF(M11<>"";M11;IF(M12<>"";M12;""))		=IF((N11<>"")*(N12<>"");(N11+N12)/2;IF(N11<>"";N11;IF(N12<>"";N12;""))
13	=IF((M13<>"")*(M14<>"");(M13+M14)/2;IF(M13<>"";M13;IF(M14<>"";M14;""))		=IF((N13<>"")*(N14<>"");(N13+N14)/2;IF(N13<>"";N13;IF(N14<>"";N14;""))
15	=IF((M15<>"")*(M16<>"");(M15+M16)/2;IF(M15<>"";M15;IF(M16<>"";M16;""))		=IF((N15<>"")*(N16<>"");(N15+N16)/2;IF(N15<>"";N15;IF(N16<>"";N16;""))

Рис. 4. Додаткові стовпці таблиці (у режимі відображення формул)

Пояснимо суть запропонованої формули на прикладі координати *x* стовпців «Плечовий суглоб» та «Середня точка плечевого поясу». Отже, якщо у комірках координати «*x*» правого та лівого плечевого суглобів відсутні дані, то у комірці координат «*x*» середньої точки плечевого поясу теж нічого не відображається; якщо у комірці «*x*» правого плечевого суглобу наявні, а лівого відсутні дані, то у комірці координат «*x*» середньої точки плечевого поясу відображається значення «*x*» правого плечевого суглобу; якщо у комірці «*x*» правого плечевого суглобу відсутні, а лівого наявні дані, то у комірці координат «*x*» середньої точки плечевого поясу відображається значення «*x*» лівого плечевого суглобу; якщо у комірках

координати «х» правого та лівого плечового суглобів наявні дані, то у комірці координат «х» середньої точки плечового поясу буде відображено значення координати середини відрізка, яке розраховується за формулою для визначення координат середини відрізка [1]. Тепер перейдемо до створення діаграми на якій і буде будуватись БКС при заповненні таблиці. Щоб уникнути помилок при введенні даних при побудові та мати можливість їх оперативного виправити, введемо такі позначення для біоланок:

- a – середня точка плечового поясу – ЦМ голови;
- b – середня точка плечового поясу – плечовий суглоб;
- c – ліктьовий суглоб – плечовий суглоб;
- d – суглоб кисті – ліктьовий суглоб;
- e – середня точка тазостегнового поясу – середня точка плечового поясу;
- f – середня точка тазостегнового поясу – тазостегновий суглоб;
- g – колінний суглоб – тазостегновий суглоб;
- h – суглоб стопи – колінний суглоб;
- i – ЦМ стопи – суглоб стопи.

Також введемо індекси, наприклад, b1pr – означає, що побудована права (пр) біоланка 1-ї фази (рядка таблиці) у нашому випадку їх буде 6, c3л – побудована ліва (л) біоланка 3-ї фази. При першій побудові БКС бажано заповнити таблицю, щоб візуально контролювати правильність побудови.

Переходимо в розділ **Вставлення** головної стрічки меню вікна програми, панель **Діаграми** (рис. 5.

а), значок **Точкова діаграма**  **Точкова діаграма з прямими лініями та маркерами** (рис. 5. б).

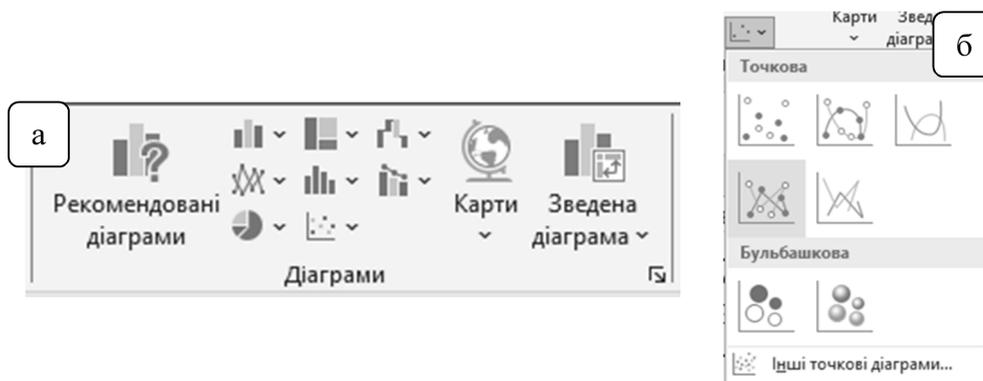


Рис. 5. Вставлення діаграми

Перетягнемо отриману діаграму вниз під таблицю (можна розташувати у будь-якому зручному для вас місці) шляхом затиснення лівої клавіші миші та змінюємо розмір для кращого представлення БКС, шляхом розтягнення за правий нижній кут. Змінюємо назву діаграми – двічі клацнувши на ній та ввівши «БКС», потім виділяємо всі елементи на діаграмі (натискаючи на їх) та видаляємо за допомогою клавіші *delete*.

Тепер почнемо додавати біоланки на діаграму. На діаграмі викликаємо контекстне меню, у ньому обираємо пункт  **Вибрати дані...** У вікні **Вибір джерела даних** (рис. 6, а) натискаємо кнопку  **Видалити**, поки не зникнуть усі дані. Далі натискаємо  **Додати** та вводим відповідні дані у кожне поле вікна **Редагування ряду** (рис. 6, б) для всіх біоланок кожної фази (рядка таблиці):

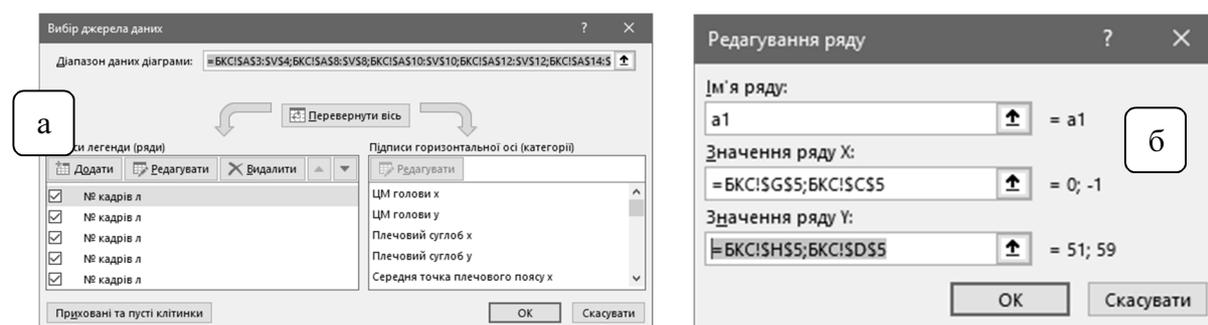


Рис. 6. Вікно а – Вибір джерела даних та б – Редагування ряду

1-й рядок таблиці

Ім'я ряду – a1; **Значення ряду X** – «=БКC!\$G\$5;БКC!\$C\$5»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$H\$5;БКC!\$D\$5» тиснемо **ОК**; знову **Додати: Ім'я ряду** – b1пр; **Значення ряду X** – «=БКC!\$G\$5;БКC!\$E\$5»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$H\$5;БКC!\$F\$5» тиснемо **ОК**; знову **Додати: Ім'я ряду** – b1л; **Значення ряду X** – «=БКC!\$G\$5;БКC!\$E\$6»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$H\$5;БКC!\$F\$6» тиснемо **ОК**; знову **Додати: Ім'я ряду** – c1пр; **Значення ряду X** – «=БКC!\$I\$5;БКC!\$E\$5»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$J\$5;БКC!\$F\$5» тиснемо **ОК**; знову **Додати: Ім'я ряду** – c1л; **Значення ряду X** – «=БКC!\$I\$6;БКC!\$E\$6»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$J\$6;БКC!\$F\$6» тиснемо **ОК**; знову **Додати: Ім'я ряду** – d1пр; **Значення ряду X** – «=БКC!\$K\$5;БКC!\$I\$5»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$L\$5;БКC!\$J\$5» тиснемо **ОК**; знову **Додати: Ім'я ряду** – d1л; **Значення ряду X** – «=БКC!\$K\$6;БКC!\$I\$6»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$L\$6;БКC!\$J\$6» тиснемо **ОК**; знову **Додати: Ім'я ряду** – e1; **Значення ряду X** – «=БКC!\$O\$5;БКC!\$G\$5»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$P\$5;БКC!\$H\$5» тиснемо **ОК**; знову **Додати: Ім'я ряду** – f1пр; **Значення ряду X** – «=БКC!\$O\$5;БКC!\$M\$5»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$P\$5;БКC!\$N\$5» тиснемо **ОК**; знову **Додати: Ім'я ряду** – f1л; **Значення ряду X** – «=БКC!\$O\$5;БКC!\$M\$6»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$P\$5;БКC!\$N\$6» тиснемо **ОК**; знову **Додати: Ім'я ряду** – g1пр; **Значення ряду X** – «=БКC!\$Q\$5;БКC!\$M\$5»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$R\$5;БКC!\$N\$5» тиснемо **ОК**; знову **Додати: Ім'я ряду** – g1л; **Значення ряду X** – «=БКC!\$Q\$6;БКC!\$M\$6»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$R\$6;БКC!\$N\$6» тиснемо **ОК**; знову **Додати: Ім'я ряду** – h1пр; **Значення ряду X** – «=БКC!\$S\$5;БКC!\$Q\$5»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$T\$5;БКC!\$R\$5» тиснемо **ОК**; знову **Додати: Ім'я ряду** – h1л; **Значення ряду X** – «=БКC!\$S\$6;БКC!\$Q\$6»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$T\$6;БКC!\$R\$6» тиснемо **ОК**; знову **Додати: Ім'я ряду** – і1пр; **Значення ряду X** – «=БКC!\$U\$5;БКC!\$S\$5»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$V\$5;БКC!\$T\$5» тиснемо **ОК**; знову **Додати: Ім'я ряду** – і1л; **Значення ряду X** – «=БКC!\$U\$6;БКC!\$S\$6»; **Значення ряду Y** – «=БКC!\$V\$6;БКC!\$T\$6» тиснемо **ОК** два рази. Тепер виділимо кожну біоланку побудови одного кадру та зафарбуємо у один колір, для кращого розпізнавання різних кадрів БКС, шляхом вибору пункту **Формат** головної стрічки меню, панель **Стилі фігур** (рис. 7, а), значків **Заливка фігури** та **Контур фігури** та обираємо потрібний колір у вікні, що з'явиться (рис. 7, б).

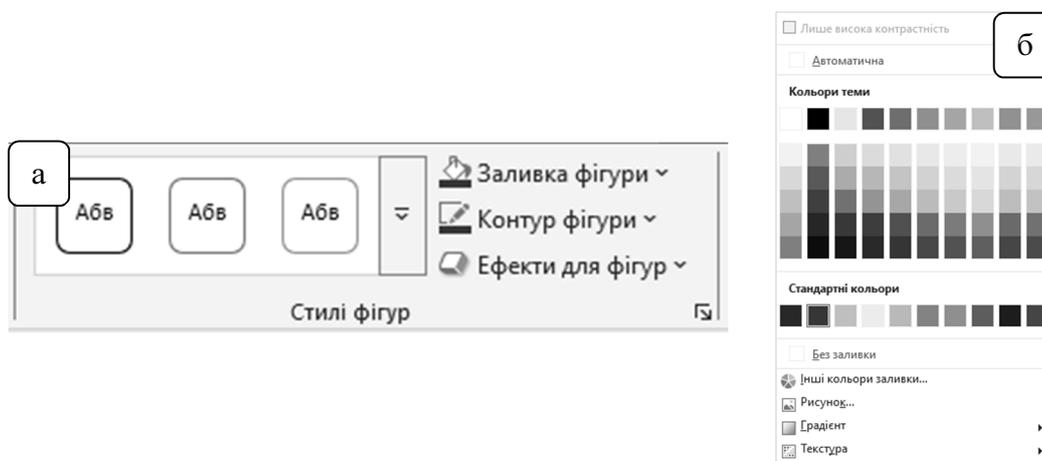


Рис. 7. Вікно а – Стилі фігур та б – Вибір кольору

Аналогічно введемо дані (таблиця 1) для **2-го рядка таблиці**, викликаємо контекстне меню діаграми у ньому обираємо пункт **Вибрати дані...** та **Додати:**

Таблиця 1

Ім'я ряду	Значення ряду X	Значення ряду Y
a2	=БКC!\$G\$7;БКC!\$C\$7	=БКC!\$H\$7;БКC!\$D\$7
b2пр	=БКC!\$G\$7;БКC!\$E\$7	=БКC!\$H\$7;БКC!\$F\$7
b2л	=БКC!\$G\$7;БКC!\$E\$8	=БКC!\$H\$7;БКC!\$F\$8
c2пр	=БКC!\$I\$7;БКC!\$E\$7	=БКC!\$J\$7;БКC!\$F\$7
c2л	=БКC!\$I\$8;БКC!\$E\$8	=БКC!\$J\$8;БКC!\$F\$8
d2пр	=БКC!\$K\$7;БКC!\$I\$7	=БКC!\$L\$7;БКC!\$J\$7
d2л	=БКC!\$K\$8;БКC!\$I\$8	=БКC!\$L\$8;БКC!\$J\$8

Ім'я ряду	Значення ряду X	Значення ряду Y
e2	=БКC!\$O\$7;БКC!\$G\$7	=БКC!\$P\$7;БКC!\$H\$7
f2пр	=БКC!\$O\$7;БКC!\$M\$7	=БКC!\$P\$7;БКC!\$N\$7
f2л	=БКC!\$O\$7;БКC!\$M\$8	=БКC!\$P\$7;БКC!\$N\$8
g2пр	=БКC!\$Q\$7;БКC!\$M\$7	=БКC!\$R\$7;БКC!\$N\$7
g2л	=БКC!\$Q\$8;БКC!\$M\$8	=БКC!\$R\$8;БКC!\$N\$8
h2пр	=БКC!\$S\$7;БКC!\$Q\$7	=БКC!\$T\$7;БКC!\$R\$7
h2л	=БКC!\$S\$8;БКC!\$Q\$8	=БКC!\$T\$8;БКC!\$R\$8
i2пр	=БКC!\$U\$7;БКC!\$S\$7	=БКC!\$V\$7;БКC!\$T\$7
i2л	=БКC!\$U\$8;БКC!\$S\$8	=БКC!\$V\$8;БКC!\$T\$8

Тиснено **OK** два рази та, як було сказано вище, зафарбовуємо кожну біоланку в один колір, але інший ніж у попереднього кадру, потім аналогічно вводимо дані (таблиця 2) для **3-го рядка таблиці**.

Таблиця 2

Ім'я ряду	Значення ряду X	Значення ряду Y
a3	=БКC!\$G\$9;БКC!\$C\$9	=БКC!\$H\$9;БКC!\$D\$9
b3пр	=БКC!\$G\$9;БКC!\$E\$9	=БКC!\$H\$9;БКC!\$F\$9
b3л	=БКC!\$G\$9;БКC!\$E\$10	=БКC!\$H\$9;БКC!\$F\$10
c3пр	=БКC!\$I\$9;БКC!\$E\$9	=БКC!\$J\$9;БКC!\$F\$9
c3л	=БКC!\$I\$10;БКC!\$E\$10	=БКC!\$J\$10;БКC!\$F\$10
d3пр	=БКC!\$K\$9;БКC!\$I\$9	=БКC!\$L\$9;БКC!\$J\$9
d3л	=БКC!\$K\$10;БКC!\$I\$10	=БКC!\$L\$10;БКC!\$J\$10
e3	=БКC!\$O\$9;БКC!\$G\$9	=БКC!\$P\$9;БКC!\$H\$9
f3пр	=БКC!\$O\$9;БКC!\$M\$9	=БКC!\$P\$9;БКC!\$N\$9
f3л	=БКC!\$O\$9;БКC!\$M\$10	=БКC!\$P\$9;БКC!\$N\$10
g3пр	=БКC!\$Q\$9;БКC!\$M\$9	=БКC!\$R\$9;БКC!\$N\$9
g3л	=БКC!\$Q\$10;БКC!\$M\$10	=БКC!\$R\$10;БКC!\$N\$10
h3пр	=БКC!\$S\$9;БКC!\$Q\$9	=БКC!\$T\$9;БКC!\$R\$9
h3л	=БКC!\$S\$10;БКC!\$Q\$10	=БКC!\$T\$10;БКC!\$R\$10
i3пр	=БКC!\$U\$9;БКC!\$S\$9	=БКC!\$V\$9;БКC!\$T\$9
i3л	=БКC!\$U\$10;БКC!\$S\$10	=БКC!\$V\$10;БКC!\$T\$10

Повторюємо попередні операції та вводимо дані (таблиця 3) для **4-го рядка**.

Таблиця 3

Ім'я ряду	Значення ряду X	Значення ряду Y
a4	=БКC!\$G\$11;БКC!\$C\$11	=БКC!\$H\$11;БКC!\$D\$11
b4пр	=БКC!\$G\$11;БКC!\$E\$11	=БКC!\$H\$11;БКC!\$F\$11
b4л	=БКC!\$G\$11;БКC!\$E\$12	=БКC!\$H\$11;БКC!\$F\$12
c4пр	=БКC!\$I\$11;БКC!\$E\$11	=БКC!\$J\$11;БКC!\$F\$11
c4л	=БКC!\$I\$12;БКC!\$E\$12	=БКC!\$J\$12;БКC!\$F\$12
d4пр	=БКC!\$K\$11;БКC!\$I\$11	=БКC!\$L\$11;БКC!\$J\$11
d4л	=БКC!\$K\$12;БКC!\$I\$12	=БКC!\$L\$12;БКC!\$J\$12

Ім'я ряду	Значення ряду X	Значення ряду Y
e4	=БКC!\$O\$11;БКC!\$G\$11	=БКC!\$P\$11;БКC!\$H\$11
f4пр	=БКC!\$O\$11;БКC!\$M\$11	=БКC!\$P\$11;БКC!\$N\$11
f4л	=БКC!\$O\$11;БКC!\$M\$12	=БКC!\$P\$11;БКC!\$N\$12
g4пр	=БКC!\$Q\$11;БКC!\$M\$11	=БКC!\$R\$11;БКC!\$N\$11
g4л	=БКC!\$Q\$12;БКC!\$M\$12	=БКC!\$R\$12;БКC!\$N\$12
h4пр	=БКC!\$S\$11;БКC!\$Q\$11	=БКC!\$T\$11;БКC!\$R\$11
h4л	=БКC!\$S\$12;БКC!\$Q\$12	=БКC!\$T\$12;БКC!\$R\$12
i4пр	=БКC!\$U\$11;БКC!\$S\$11	=БКC!\$V\$11;БКC!\$T\$11
i4л	=БКC!\$U\$12;БКC!\$S\$12	=БКC!\$V\$12;БКC!\$T\$12

Повторюємо попередні операції та вводимо дані (таблиця 4) для **5-го рядка**.

Таблиця 4

Ім'я ряду	Значення ряду X	Значення ряду Y
a5	=БКC!\$G\$13;БКC!\$C\$13	=БКC!\$H\$13;БКC!\$D\$13
b5пр	=БКC!\$G\$13;БКC!\$E\$13	=БКC!\$H\$13;БКC!\$F\$13
b5л	=БКC!\$G\$13;БКC!\$E\$14	=БКC!\$H\$13;БКC!\$F\$14
c5пр	=БКC!\$I\$13;БКC!\$E\$13	=БКC!\$J\$13;БКC!\$F\$13
c5л	=БКC!\$I\$14;БКC!\$E\$14	=БКC!\$J\$14;БКC!\$F\$14
d5пр	=БКC!\$K\$13;БКC!\$I\$13	=БКC!\$L\$13;БКC!\$J\$13
d5л	=БКC!\$K\$14;БКC!\$I\$14	=БКC!\$L\$14;БКC!\$J\$14
e5	=БКC!\$O\$13;БКC!\$G\$13	=БКC!\$P\$13;БКC!\$H\$13
f5пр	=БКC!\$O\$13;БКC!\$M\$13	=БКC!\$P\$13;БКC!\$N\$13
f5л	=БКC!\$O\$13;БКC!\$M\$14	=БКC!\$P\$13;БКC!\$N\$14
g5пр	=БКC!\$Q\$13;БКC!\$M\$13	=БКC!\$R\$13;БКC!\$N\$13
g5л	=БКC!\$Q\$14;БКC!\$M\$14	=БКC!\$R\$14;БКC!\$N\$14
h5пр	=БКC!\$S\$13;БКC!\$Q\$13	=БКC!\$T\$13;БКC!\$R\$13
h5л	=БКC!\$S\$14;БКC!\$Q\$14	=БКC!\$T\$14;БКC!\$R\$14
i5пр	=БКC!\$U\$13;БКC!\$S\$13	=БКC!\$V\$13;БКC!\$T\$13
i5л	=БКC!\$U\$14;БКC!\$S\$14	=БКC!\$V\$14;БКC!\$T\$14

Повторюємо попередні операції та вводимо дані (таблиця 5) для **6-го рядка**.

Таблиця 5

Ім'я ряду	Значення ряду X	Значення ряду Y
a6	=БКC!\$G\$15;БКC!\$C\$15	=БКC!\$H\$15;БКC!\$D\$15
b6пр	=БКC!\$G\$15;БКC!\$E\$15	=БКC!\$H\$15;БКC!\$F\$15
b6л	=БКC!\$G\$15;БКC!\$E\$16	=БКC!\$H\$15;БКC!\$F\$16
c6пр	=БКC!\$I\$15;БКC!\$E\$15	=БКC!\$J\$15;БКC!\$F\$15

Ім'я ряду	Значення ряду X	Значення ряду Y
сбл	=БКC!\$I\$16;БКC!\$E\$16	=БКC!\$J\$16;БКC!\$F\$16
дбпр	=БКC!\$K\$15;БКC!\$I\$15	=БКC!\$L\$15;БКC!\$J\$15
дбл	=БКC!\$K\$16;БКC!\$I\$16	=БКC!\$L\$16;БКC!\$J\$16
еб	=БКC!\$O\$15;БКC!\$G\$15	=БКC!\$P\$15;БКC!\$H\$15
фбпр	=БКC!\$O\$15;БКC!\$M\$15	=БКC!\$P\$15;БКC!\$N\$15
фбл	=БКC!\$O\$15;БКC!\$M\$16	=БКC!\$P\$15;БКC!\$N\$16
гбпр	=БКC!\$Q\$15;БКC!\$M\$15	=БКC!\$R\$15;БКC!\$N\$15
гбл	=БКC!\$Q\$16;БКC!\$M\$16	=БКC!\$R\$16;БКC!\$N\$16
hbпр	=БКC!\$S\$15;БКC!\$Q\$15	=БКC!\$T\$15;БКC!\$R\$15
hbл	=БКC!\$S\$16;БКC!\$Q\$16	=БКC!\$T\$16;БКC!\$R\$16
ібпр	=БКC!\$U\$15;БКC!\$S\$15	=БКC!\$V\$15;БКC!\$T\$15
ібл	=БКC!\$U\$16;БКC!\$S\$16	=БКC!\$V\$16;БКC!\$T\$16

Всі дані для побудови БКС внесені, зафарбовуємо останній кадр, видаляємо з таблиці всі дані, окрім формул, та зберігаємо документ у форматі шаблону Excel з назвою: **Побудова БКС (Шаблон).xltx**.



Матеріали у вигляді архіву з відеоінструкцією щодо використання шаблону та прикладу побудови розміщено за посиланням: <https://cutt.ly/5thXD0qZ>

Висновки. Запропонований у статті інструмент для побудови БКС фізичної вправи в Microsoft Excel забезпечує доступний і повністю автоматизований спосіб графічного відтворення рухів спортсмена. На відміну від традиційних ручних або частково автоматизованих методів, створений шаблон дає можливість будувати всі біоланки тіла без застосування додаткового програмного забезпечення.

Перевагами розробленого підходу є суттєве скорочення часу на побудову схеми, зменшення кількості помилок та можливість візуального контролю правильності введення координат. Автоматичне визначення середніх точок плечового та тазостегнового поясів усуває необхідність ручного доопрацювання та робить побудову доступною у випадках накладання контурів тіла.

Шаблон Excel дозволяє відображати послідовні фази руху, що створює підґрунтя для подальшого аналізу кінематичних характеристик. Це розширює можливості навчання та тренувальної практики, роблячи біомеханічний аналіз точнішим, об'єктивнішим та технологічно простішим.

Запропонований інструмент дає змогу здобувачам освіти значно скоротити витрати часу на виконання практичних робіт з біомеханіки, підвищити якість та точність аналізу рухових дій, а також, формувати навички роботи з сучасними комп'ютерними технологіями. Використання Microsoft Excel у побудові БКС відкриває широкі можливості для застосування цього підходу в умовах дистанційного навчання, у наукових дослідженнях та у практичній діяльності тренерів і фахівців з фізичної культури та спорту.

References

1. Дубовик В. П., Юрик І. І. Вища математика: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. 4-те вид. Київ : Ігнатекс-Україна, 2013. 648 с. + іл.
Dubovyk V. P., Yuryk I. I. (2013) Vyshcha matematyka [Higher mathematics] : navch. posib. dlia stud. vyshch. navch. zak. 4-te vyd. Kyiv, Ukraine. Ihnateks-Ukraine. 648.
2. Кашуба В., Попадюха Ю. Біомеханіка просторової організації тіла людини: сучасні методи та засоби діагностики і відновлення порушень. Київ : Центр учбової літератури, 2018. 768 с.
Kashuba V., Popadiukha Yu. (2018) Biomekhanika prostorovoi orhanizatsii tila liudyny: suchasni metody ta zasoby diahnostryky i vidnovlennia porushen. [Biomechanics of the spatial organisation of the human body: modern methods and means of diagnosis and restoration of disorders] Kyiv, Ukraine. Tsentr uchbovoi literatury. 768.
3. Лапутин А. Н., Гамалій В. В., Архипов О. А., Кашуба В. О., Носко О. М., Хабінець Т. О. Біомеханіка спорту. Київ : Олімп. л-ра, 2001. 318 с.

- Laputyn A. N., Hamalii V. V., Arkhyrov O. A., Kashuba V. O., Nosko O. M., Khabinets T. O. (2001) Biomechanika sportu [Biomechanics of sport]. Kyiv, Ukraine. Olimp. 1-ra. 318.
4. Носко М. О., Бріжатиї О. В., Гаркуша С. В., Бріжата І. А. Біомеханіка фізичного виховання і спорту : навчальний посібник для студентів спеціальності «Фізичне виховання». Київ : «МП Леся», 2012. 287 с.
Nosko M. O., Brizhatyi O. V., Harkusha S. V., Brizhata I. A. (2012) Biomekhanika fizychnoho vykhovannia i sportu : navchalnyi posibnyk dlia studentiv spetsialnosti «Fizychnе vykhovannia». [Biomechanics of physical education and sports: A textbook for students majoring in «Physical Education»] Kyiv, Ukraine. «MP Lesia». 287.
5. Носко М. О., Гаркуша С. В. Біомеханіка рухової діяльності : навчально-методичні матеріали до практичних занять. Чернігів. 2019. 64 с.
Nosko M. O., Harkusha S. V. (2019) Biomekhanika rukhovoi diialnosti. Navchalno-metodychni materialy do praktychnykh zaniat. [Biomechanics of motor activity. Educational and methodical materials for practical classes] Chernihiv, Ukraine. 64.
6. Рыбак О.Ю., Рыбак Л. І., Виноградський Б.А. Біомеханіка спорту : підручник. Львів : ЛДУФК ім. Івана Боберського, 2021. 268 с.
Rybak O.Iu., Rybak L. I., Vynohrads'kyi B.A. (2021) Biomekhanika sportu : pidruchnyk. [Biomechanics of Sport: Textbook] Lviv, Ukraine. LDUFK im. Ivana Boberskohо. 268.

Tolochnyi Viktor

<http://orcid.org/0000-0002-0463-4073>
Researcher ID AAC-6825-2020

Senior Lecturer,
T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
(Chernihiv, Ukraine) E-mail: tolvikne@gmail.com

CONSTRUCTION OF A BIOKINEMATIC SCHEME OF PHYSICAL EXERCISE USING MICROSOFT EXCEL

A biokinetic scheme of physical exercise is a basic tool of biomechanics that allows you to visually display the spatial-temporal organisation of human movements, determine the position of the body, the trajectories of its segments, the angles in the joints, and the sequence of phases of the exercise. Traditional methods of constructing such schemes are based on the use of specialised software or manual graphic constructions, which provide high accuracy but require significant time and special training [2-6]. This limits their widespread use in the educational process and practical activities of trainers and researchers. There is a pressing need to find universal and accessible computer tools that allow the process of constructing biokinematic schemes to be automated, ensure their clarity and accuracy, and make them suitable for use in distance learning and rapid movement analysis.

The purpose of the article is to propose an algorithm for creating a template for constructing a biokinematic scheme of a physical exercise for students studying the discipline of biomechanics of motor activity, researchers and trainers, using the capabilities of Microsoft Excel 2019 software.

The methodology is based on the analysis of educational and methodological sources and software capabilities, the integration of biomechanical methods with mathematical approaches, and the use of computer technologies and modelling.

Scientific novelty. Based on the functionality of Microsoft Excel 2019, a template has been developed that allows you to fully automate the construction of a biokinetic scheme without using additional graphic editors. The advantage of the proposed tool is the ability to continuously reproduce all the biolines of the athlete's body, automatically determine the midpoints of the shoulder and hip girdles, check the correctness of the entered data and quickly correct it. This increases the accuracy and reduces the time required to build the scheme, as well as makes the process accessible to students and researchers.

Conclusions. The template for constructing a biokinematic scheme of a physical exercise presented in the article makes it possible to quickly and objectively analyse the athlete's movements. It allows students to reduce the time spent on practical work, improve the quality and accuracy of technique analysis, and develop skills in working with modern computer technologies. The widespread use of Microsoft Excel in this process opens up prospects for applying the method in distance learning, scientific research, and the practical activities of coaches and specialists in physical culture and sports.

Key words: biokinetic scheme of physical exercise, computer technologies, Microsoft Excel, students, biomechanics.

Стаття надійшла до редакції 12.12.2025

Рецензент: доктор педагогічних наук, професор **Архипов О.А.**