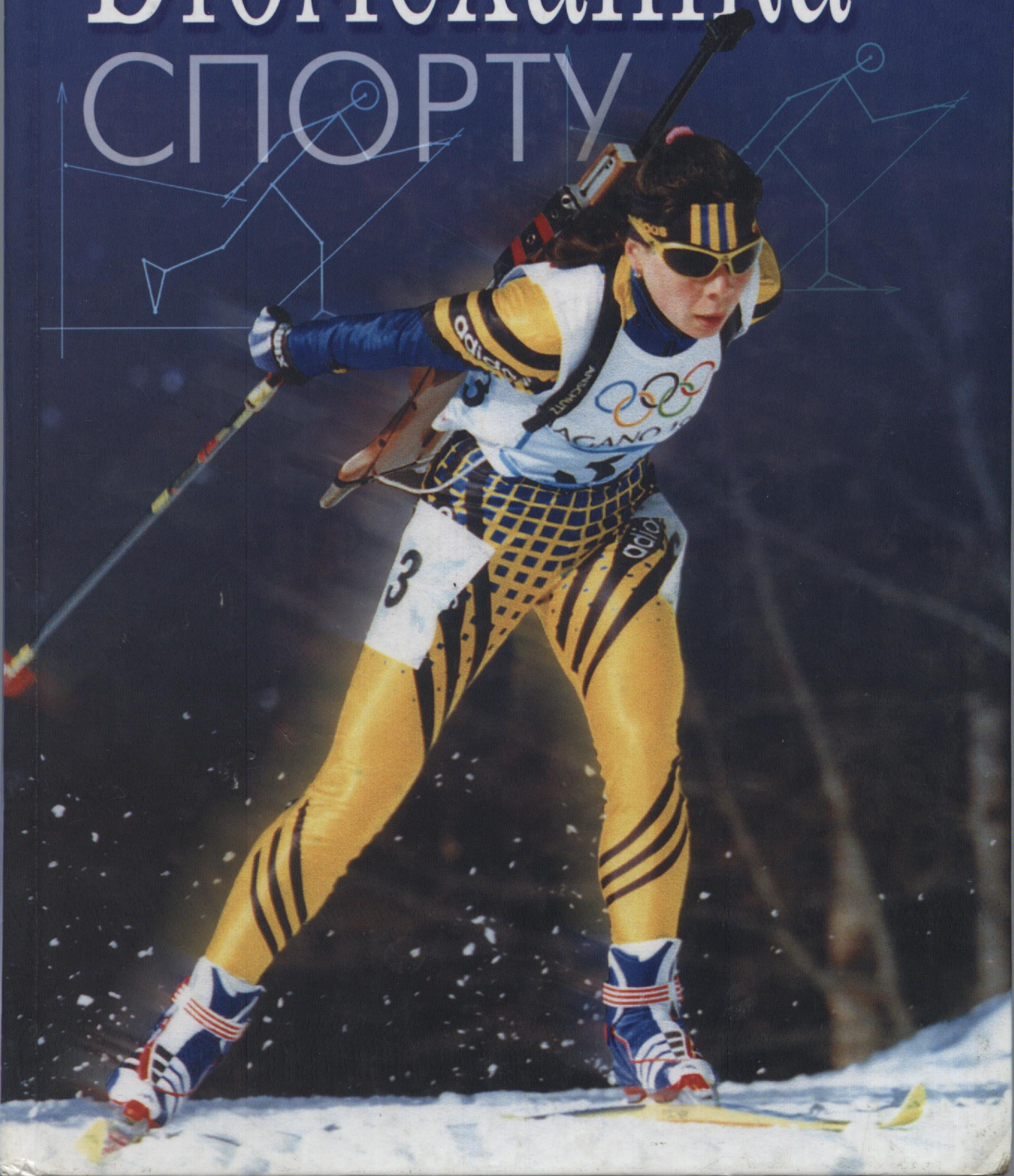


# Біомеханіка СПОРТУ



# Біомеханіка спорту

За загальною редакцією  
А.М. ЛАПУТІНА

*Рекомендовано Міністерством освіти  
і науки України як навчальний посібник  
для студентів вищих навчальних закладів  
з фізичного виховання і спорту*

КИЇВ ОЛІМПІЙСЬКА ЛІТЕРАТУРА 2001

У навчальному посібнику розглянуто наукові основи біомеханіки, біомеханічного аналізу рухової діяльності людини, з якою вона пов'язана при вирішенні різноманітних професійних завдань у повсякденній праці, фізичній культурі, спорті, а також у медицині, клінічній практиці, руховій реабілітації та кінезитерапії. Подано біомеханічну класифікацію опорно-рухового апарату людини, способи вимірювання її геометрії мас. Наведено дані з галузі практичних досліджень різноманітних проявів рухової активності людини з використанням методів біомеханічного моделювання і синтезу найбільш ефективних програм рухів. Висвітлено сучасні проблеми вдосконалення спортивно-технічної майстерності спортсменів у олімпійському та професіональному спорті.

Для студентів та викладачів вузів спортивного і медичного профілю, тренерів, спортсменів, фахівців зі спортивної медицини, реабілітації та кінезитерапії.



Автори

А.М. ЛАПУТИН, В.В. ГАМАЛІЙ, О.А. АРХИПОВ,  
В.О. КАШУБА, М.О. НОСКО, Т.О. ХАБІНЕЦЬ

Рецензенти

доктор педагогічних наук, професор  
Харківського художньо-промислового інституту  
*С.С. Єрмаков*

доктор педагогічних наук, професор Чернігівського  
державного педагогічного університету ім. Т.Г. Шевченка  
*І.В. Зайченко*

доктор педагогічних наук, професор Національного  
університету фізичного виховання і спорту України  
*В.Л. Смутьський*

Гриф надано Міністерством освіти і науки України  
№ 14/18.2-1290 від 14.09.2001 р.

© Видавництво  
ISBN 966-7133-39-7 «Олімпійська література», 2001

## ПЕРЕДМОВА

Посібник є новим, суттєво переробленим і доповненим варіантом книги А.М. Лапутіна "Биомеханика физических упражнений", виданої у 1976 р. У ньому узагальнено досвід багаторічного викладання авторами біомеханіки у Національному університеті фізичного виховання і спорту України. Автори, які підготували цей посібник, використали у роботі деякі методичні розробки своїх колег — І.В. Хмельницької та Л.П. Богачука. Зважаючи на роль і місце біомеханіки як функціональної і прикладної науки у розвитку сучасних передових технологій не тільки у фізичному вихованні, але й в інших галузях людської діяльності, автори розширили контингент тих, для кого цей посібник призначено. Це не тільки студенти вищих навчальних закладів, які вивчають біомеханіку за відомчими, професійно орієнтованими програмами, а й фахівці, які використовують знання з біомеханіки у своїй практичній роботі. Саме тому автори відійшли від традиційної форми узгодження основних тем навчальної програми вузу з темами конкретних лабораторних занять, вважаючи, що читачі можуть це зробити самі виходячи із своїх конкретних матеріальних, технічних та інших можливостей.

Оскільки біомеханіка як синтетична наука ґрунтується на знаннях біології, фізики, математики та прикладної дидактики, матеріал посібника методично представлено таким чином, що читачу легко засвоювати його при послідовному, ступеневому освоєнні даного курсу. З іншого боку, прийоми та методи біомеханічного аналізу викладено за окремими темами досить автономно, аби читач міг користуватися ними диференційовано виходячи зі своїх конкретних практичних потреб. На думку авторів, це значно розширює сферу можливого використання посібника.

За час, що проминув після першого видання посібника, у галузі практичної біомеханіки відбулися значні зміни, з'явилися нові, більш досконалі методи дослідження, нові автоматизовані, комп'ютеризовані вимірювальні апаратурні комплекси. Колективом авторів накопичено значний педагогічний та лабораторний досвід практичної роботи у різних сферах біомеханічного аналізу рухів людини починаючи від фізичного виховання і спорту, медицини, прикладної ергономіки, професійної рухової дидактики і закінчуючи підготовкою військовослужбовців та пілотованою космонавтикою. Значну частину цього досвіду, а також дані найсучасніших вітчизняних та зарубіжних досліджень узагальнено у вигляді методичних рекомендацій.

Посібник може бути корисним для студентів, які вивчають курс біомеханіки на біологічних та педагогічних факультетах університетів, а також у медичних і технічних вищих навчальних закладах. Опанувати курс біомеханіки неможливо без набуття студентами практичних навичок самостійної роботи з дослідження рухів. Для успішного використання посібника за умов лабораторного практикуму студенти повинні мати певні теоретичні та прикладні знання з біокінематики, біодинаміки та біостатики рухів людини, з різних апаратурних систем, їхніх метрологічних характеристик та одиниць вимірювання.

Велика кількість інформації, котру викладач має подавати на кожному занятті, утруднює його індивідуальну роботу зі студентами. За звичайних умов це дає змогу студентам з достатньою ефективністю використовувати час, відведений для набуття навичок самостійного дослідження. Існуючі навчальні посібники з біомеханіки, котрі містять дуже обмежені відомості з більшості тем лабораторного циклу, через свою переважно теоретичну спрямованість, на жаль, не можуть бути використані повною мірою як відповідне керівництво до проведення практичних занять.

Для активізації навчального процесу з курсу лабораторних тем із застосуванням цього посібника доцільно, мабуть, використовувати принципи програмованого навчання, надати тим, хто навчається, відносно більшої свободи у засвоєнні матеріалу. Готуючи спеціальний посібник з циклу практичних та лабораторних занять, автори включили до нього деякі елементи програмування навчального матеріалу, зокрема контрольні питання з альтернативними відповідями. Оскільки більшість тем пов'язана з графічними побудовами, при роботі над ними студентам необхідно дотримуватися стандартного оформлення усіх креслень і схем.

## ВИМІРЮВАННЯ БІОКІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

### 8.1. Організація та метрологічні особливості кіно- та відеозйомки при реєстрації кінематичних характеристик рухів людини

*Умови проведення кінозйомки*  
 Найпоширенішими методами реєстрації кінематичних характеристик рухів людини є кіно- та відеозйомка. Незважаючи на доступність цих методів, застосування їх для отримання кількісної оцінки рухів висуває певні вимоги до проведення процесу зйомки та вибору апаратури. Якщо фіксація рухів відбувається у лабораторних умовах, то ретельність підготовки досліджуваного та сцени для зйомки є одним із суттєвих завдань при організації експерименту. Досліджуваний має бути у еластичному костюмі, що добре облягає фігуру, з розміченими осями симетрії ланок та контрастними відмітками над осями суглобів. При складних обертальних рухах, котрі входять, наприклад, до акробатичних вправ, бажано, щоб на голові досліджуваного була контрастна розмітка (наприклад, двоколірна шапочка). Осі суглобів частіше маркують квадратами пластира або тушшю. Розміри сцени для дослідження вибирають з урахуванням її ширини та глибини, виходячи з переміщень об'єкта. Ззаду її закривають контрастним щодо костюма досліджуваного фоном. У площині переміщення розташовують масштабний предмет або лінійку, розмічену 10-сантиметровими кольоровими ділянками. Освітленість має бути рівномірною по усьому фронту руху, чого досягають використанням спеціальних освітлювачів, сумарна потужність котрих має забезпечувати достатню короткочасність експонування кінокадру.

Оптична вісь об'єктива апарата орієнтується перпендикулярно до лінії основного переміщення на рівні ЗЦМ тіла досліджуваного для отримання мінімальних викривлень по краях зображення об'єкта, котрий рухається.

Для зменшення похибки зображення при біомеханічних зйомках звичайно використовуються довгофокусні об'єктиви з трансфокатора-

ТАБЛИЦЯ 8.1

Визначення похибки вимірювання переміщення за результатами кінозйомки

Переміщення залежно від висоти кадру (18x22 мм),%	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	75
Похибка вимірювання, %	12	6	4	3	2,4	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	0,8

ми, що дозволяє оптимально вибирати відстань до об'єкта зйомки та варіювати масштаб зображення. *Різкість зображення*

Однією з найважливіших характеристик фотознімків, зроблених для визначення механічних параметрів рухів людини, є їхня різкість. Отримати абсолютно різке зображення об'єкта, що рухається, неможливо, оскільки воно завжди виходить "змазаним". Однак нерізкістю можна зневажити у тому випадку, якщо краї зображення об'єкта будуть "розмиті" на величину, не більшу ніж 0,1—0,2 % висоти кадру. Тоді при високій контрастності зображення мінімальна помилка реєстрації переміщення через нерізкість буде залежати від величини відстані, що вимірюється, згідно з даними табл. 8.1.

З таблиці видно, що переміщення, котрі можуть бути зареєстровані з достовірною точністю, становлять 2 мм, або 10—15 % широкоформатного кадру.

На різкість зображення об'єкта на плівці, окрім масштабу, впливає швидкість руху тіла людини або його окремих біоланок. Залежно від швидкості переміщення об'єкта вибирають частоту зйомки та час експозиції. При визначенні часу фаз руху, наприклад при складанні хронограми, необхідно, щоб число кадрів у фазі було не менше ніж 20. Тоді помилка в один кадр при визначенні меж фази дасть припустиму похибку (5 %) розрахунку. Щоб визначити частоту зйомки ( $f$ ), необхідно попередньо виявити час найкоротшої фази руху.

*Приклад.* Під час бігу час відштовхування від опори становить 0,08 с. Для достовірного визначення часової структури кроку необхідно знімати рух з частотою, розрахованою за пропорцією 0,08 с — 20 кадрів; 1 с —  $f$ , звідси

$$f = \frac{1 \cdot 20}{0,08} = 250 \text{ кадр} \cdot \text{с}^{-1}. \quad (8.1)$$

За освітленістю об'єкта та світлочутливістю кіноматеріалу вибирається значення діафрагми. При закритті діафрагми, тобто при зменшенні діючого отвору об'єктива, значною мірою збільшується так звана глибина різко зображуваного простору. Це дає змогу отримати

різке зображення об'єкта, що рухається, у будь-який момент руху навіть при переміщенні вздовж осі зйомки.

Наступним етапом підготовки до зйомки є визначення необхідної кількості кіноплівки. Вона визначається форматом кіноплівки, тривалістю руху та вибраною частотою зйомки.

*Приклад.* Визначити метраж плівки 35 мм для реєстрації трьох бігових кроків при частоті зйомки 200 кадрів за секунду. Для цього необхідно:

1) провести хронометраж трьох бігових кроків або скористатися даними літератури; припустимо, що час ( $t$ ) кроку становить 0,3 с, тоді  $t$  трьох кроків буде 0,9 с;

2) при частоті зйомки 200 кадрів за секунду та часу 0,9 с буде відзнято 180 кадрів;

3) довжина широкоформатної плівки (вікно кадру 18x22 мм)  
 $l = 180 \cdot 18 = 3240 \text{ мм} = 3,24 \text{ м}$ .

Завдання кінооператора зводиться до розумного вибору реєструючої апаратури з урахуванням:

- швидкості руху об'єкта;
- освітленості об'єкта;
- світлочутливості використовуваного матеріалу;
- частоти зйомки;
- часу експозиції.

За матеріалами фото-, кіно- та відеозйомки, проведених з дотриманням усіх технічних вимог до їх організації, можна визначити ряд механічних характеристик того чи іншого положення та рухів тіла, необхідних для аналізу, наприклад, спортивної техніки.

Звичайна фотографія або кадр кіноплівки є документом для визначення: 1) координат центра мас людини або її біоланок, наприклад руки, ноги тощо, у площині рисунка; 2) суглобних кутів, що характеризують позу; 3) моментів сил тяжіння ланок відносно осей суглобів; 4) механічних критеріїв стійкості тіла, тобто моментів та кутів стійкості; 5) моментів інерції тіла або його частин відносно осі, що перпендикулярна площині зйомки у зафіксованому положенні.

Перехід від аналізу окремої пози на поодинокому кадрі до серії послідовних положень, що змінюють одне одне, на кіно- або відеоплівці, пов'язаний із простежуванням змін тих самих характеристик у часі. Залежність координат ЗЦМ або точок тіла від часу являють собою закони руху цих точок у вибраній системі координат. За графіка-



# ЗМІСТ

Передмова . . . . .	3
<b>Розділ 1. Предмет і завдання біомеханіки як науки</b> ( <i>А.М. Лапутін</i> ) . . . . .	6
<b>Розділ 2. Історія розвитку біомеханіки в Україні</b> ( <i>В.О. Кашуба, В.В. Гамалій</i> ) . . . . .	9
<b>Розділ 3. Біомеханічний аналіз</b> ( <i>А.М. Лапутін,</i> <i>Т.О. Хабінець, М.О. Носко</i> ) . . . . .	17
<b>Розділ 4. Основи біометрії</b> ( <i>А.М. Лапутін, О.А. Архипов</i> ) . . . . .	48
<b>Розділ 5. Апаратурні комплекси та вимірювальні системи,</b> <b>що використовуються у біомеханіці</b> ( <i>А.М. Лапутін, О.А. Архипов</i> ) . . . 70	
5.1. Електротензодинамографія . . . . .	73
5.2. Стабілографія . . . . .	77
5.3. Міотонографія . . . . .	78
5.4. Електроміографія (ЕМГ) . . . . .	80
5.5. Акселерометрія . . . . .	84
5.6. Гоніометрія . . . . .	89
5.7. Безконтактні методи контролю . . . . .	94
<b>Розділ 6. Біомеханічна класифікація опорно-рухового</b> <b>апарату</b> ( <i>А.М. Лапутін</i> ) . . . . .	109
<b>Розділ 7. Вимірювання геометрії мас тіла людини</b> ( <i>А.М. Лапутін, В.О. Кашуба</i> ) . . . . .	122
<b>Розділ 8. Вимірювання біокінематичних характеристик</b> ( <i>А.М. Лапутін, В.В. Гамалій, Т.О. Хабінець, О.А. Архипов</i> ) . . . . .	141
8.1. Організація та метрологічні особливості кіно- та відеозйомки при реєстрації кінематичних характеристик рухів людини . . . . .	141
8.2. Побудова біокінематичної схеми руху, рухової дії за кінограмою (відеограмою) . . . . .	151

8.3. Визначення часових характеристик рухів та побудова хронограм рухових дій за кінограмою, відеограмою та біокінематичною схемою . . . . .	156
8.4. Визначення лінійних та кутових переміщень точок тіла людини у просторі та побудова траєкторій їх руху за кінограмою, відеограмою та біокінематичною схемою . . . . .	159
8.5. Визначення лінійних швидкостей та прискорень руху точок біоланок за біокінематичною схемою розрахунковим методом . . . . .	165
8.6. Визначення кутової швидкості та кутового прискорення руху біоланок тіла людини за біокінематичною схемою . . . . .	170
8.7. Побудова кінематичних графіків руху точок біоланок тіла людини (координат, швидкостей, прискорень) та їхній аналіз . . . . .	173
<b>Розділ 9. Біостатика тіла людини (А.М. Лапутін, В.В. Гамалій) . . . . .</b>	<b>182</b>
9.1. Визначення положення загального центра тяжіння тіла людини розрахунковим методом . . . . .	182
9.2. Визначення положення ЗЦТ тіла людини графічним методом . . . . .	186
9.3. Визначення ступеня стійкості тіла людини у досліджуваній позі за фотограмою . . . . .	188
9.4. Вимірювання кількісних показників рівноваги тіла людини методом стабілографії . . . . .	190
9.5. Вимірювання кількісних показників постави . . . . .	193
<b>Розділ 10. Вимірювання біодинамічних характеристик (А.М. Лапутін, В.В. Гамалій, В.О. Кашуба) . . . . .</b>	<b>203</b>
10.1. Визначення моментів інерції біоланок та усього тіла людини відносно осей обертання за біокінематичною схемою фізичної вправи . . . . .	203
10.2. Визначення моментів інерції верхніх та нижніх кінцівок тіла людини методом крутильних коливань (уніфіляр) . . . . .	208
10.3. Оцінка умов взаємодії тіла людини з опорою при різних локомоціях за тензодинамограмою . . . . .	210
10.4. Визначення кінематичних характеристик стрибка угору з місця за тензодинамограмою опорної реакції . . . . .	213
10.5. Оцінка пружнов'язких властивостей скелетних м'язів людини за міотонограмою . . . . .	217