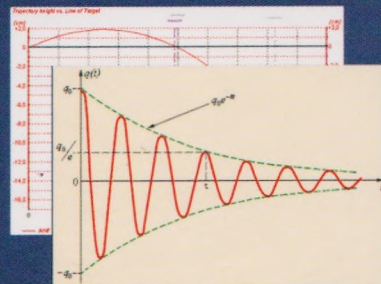


Б.А. ВІНОГРАДСЬКИЙ

# МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ І ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЯ В СПОРТІ

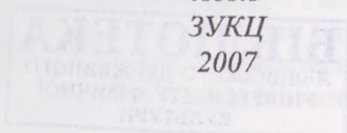


Б.А. ВІНОГРАДСЬКИЙ

АБОНЕМЕНТ  
ЛДУФК

**МОДЕЛЮВАННЯ  
СКЛАДНИХ  
БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ  
І ЙОГО  
РЕАЛІЗАЦІЯ В СПОРТІ**

Львів  
ЗУКЦ  
2007



БЕЗІНВЕНТАРНИЙ  
ОБЛІК

ББК 75.0

В 49

УДК 612.76:796

**Виноградський Б.А.**

В 49 Моделювання складних біомеханічних систем і його реалізація в спорті. – Львів: ЗУКЦ, 2007. – 284с.

ISBN 978-966-8445-71-2

У монографії розглянуто проблеми моделювання складних біомеханічних систем у спорті, зокрема, у системі підготовки стрільців високої кваліфікації. Процес моделювання розглянуто у поєднанні з адекватними засобами контролю складних біомеханічних процесів та інформаційного забезпечення. Запропоновано нові засоби технічного контролю та обробки цифрових масивів значущих параметрів формування спортивного результату в лучному спорті та інноваційні технології обробки складних сигналів біотехнічної системи. Особливу увагу автор приділяє шляхам використання математичних та імітаційних моделей в спеціалізованій підготовці та змагальній діяльності лучників.

Для науковців, викладачів ВНЗ фізичного виховання і спорту, тренерів і спортсменів високої кваліфікації.

ББК 75.0

*Рекомендовано до друку Вченою радою  
Львівського державного університету фізичної культури  
(протокол №10 від 5.07.2007)*

Рецензенти:

**С.С.Єрмаков** - доктор педагогічних наук, професор, Харківська державна академія дизайну і мистецтв

**І.П.Заневський** - доктор технічних наук, професор, Львівський державний інститут фізичної культури

**Г.А.Лисенчук** - доктор наук з фізичного виховання і спорту, професор, Національний університет фізичного виховання і спорту України

*Підписано до друку 29.06.07. Формат 60x84/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Times. Друк на різнографі. Ум. др. арк. 16,5. Ум. фарбовідб. 16,9.  
Наклад 500 прим. Замовлення №15537.*

Видання ТзОВ „ЗУКЦ”, вул. М. Драгоманова, 18, м. Львів, 79005

Тел./факс: (032) 298-32-86

ISBN 978-966-8445-71-2



© Б.А.Виноградський, 2007  
© ЗУКЦ, 2007

## ВСТУП

Діалектика пізнання і вдосконалення спортивної майстерності засвідчує, що не існує абсолютно повного, усебічного, і водночас, об'єктивного варіанту опису складних біомеханічних систем в спорті. Насамперед це пояснюється різною природою основних складових системи, динамічністю перебігу процесів у ній, багатомірністю та багатопараметричністю. Проте не було б правильним вважати, що існують, якісні обмеження в пізнанні окреслених об'єктів, що принципово не вирішуються. Таке переконання ґрунтується на поглибленні та розширенні методологій і методів пізнання, використанні новітніх інформаційних технологій, підвищенні точності вимірювань в спорті.

На нашу думку, одним із найбільш перспективних методів пізнання сутності функціонування складних біомеханічних систем в спорті є моделювання. Незважаючи на те, що в спеціальній літературі доволі часто трапляється термін «модель», проблема моделювання в спорті залишається у числі найменш вивчених, з огляду на неоднозначність трактувань понять, способів та варіантів застосування, практичної реалізації та їх перевірки. За суттю — це комплексна проблема, що вимагає активного використання досягнень науки та техніки, насамперед, кібернетики. Моделювання все ширше застосовується для пізнання спорту, бо саме під час вивчення процесів, котрі відбуваються в системі спеціальної підготовки, метод моделювання набуває важливого значення (Лапутін, 1990-2002; Носко, 2000-2001; Архіпов, 1996-2001; Енока, 1998).

Разом з тим, надзвичайно складною, але цікавою і малодослідженою складовою є процес взаємодій всередині складних різноякісних біомеханічних систем. Ці системи у спорті є комплексами зі складовими різної природи, узгоджене функціонування котрих спрямоване на досягнення певного рухового завдання, що характеризуються параметрами їх поточного стану та поведінки. Однією із основних форм складної біомеханіч-

ної системи є антропотехнічна система, котра складається із відносно незалежних одна від одної біологічної (людина-спортсмен) та технічної (спортивне обладнання) підсистем, об'єднаних єдиним алгоритмом управління для досягнення певного спортивного результату. Характерними прикладами складних різноякісних систем є процеси виконання змагальної вправи у вітрильному спорті, веслуванні, велосипедному спорті (Стромов, 1996; Артемьєва, Капустін, 1997; Мінченко, 1998), стрілецьких видах спорту (Пятков, 2002; Klopsteg, 1993; Ethridge, 1999). Слід відзначити, що на даний час, гостро стоїть питання взаємоузгодження функціонування підсистем «стрілець – зброя» у стрілецькому спорті. Наукові дослідження вітчизняних авторів за останні роки спрямовані на розробку «інтерактивних методів процесу підготовки стрільців-спортсменів», (Пятков, 2000-2003), моделей польоту кулі та шроту (Лопатєв, Чапля, 2000), застосування нових приладів контролю (Десятникова, 1990; Калініченко, 1996; Ковальчук, 2003), окремих модельних характеристик спеціальної підготовленості (Жилина, 1995; Полякова, 1984-1993), математичне моделювання параметрів зброї та процесу пострілу (Заневський, 1995-2003). Проте згадані роботи лише частково розв'язують питання вдосконалення системи управління підготовкою спортсменів на основі використання моделей системи «спортсмен — технічне обладнання — спортивний результат» та контролю параметрів стану даних підсистем. У них не повною мірою застосовується системний підхід, що полягає у розгляді динамічних, детермінаційно-стохастичних взаємозв'язків під час підготовки спортсменів високої кваліфікації. Розв'язання окремого завдання без урахування рівня розвитку інших сторін підготовленості, кінцевого спортивного результату, «налаштування спортивного обладнання», динамічності характеристик, котрі розглядаються, не може мати універсальної теоретичної та практичної користі.

Разом з моделюванням автор намагається підняти у монографії питання щодо удосконалення комплексного контролю, як одного з найважливіших елементів системи управління підготовкою спортсменів. Зростаюча роль методології комплексного контролю підготовленості спортсменів і управління тренувальним процесом зумовлене багатьма характерними для сучасного спорту причинами, серед яких: суттєве ускладнення системи підготовки спортсменів; відставання якості контролю від вимог щодо організації спортивного тренування як керованого процесу; збільшення числа показників, що вимірюються та реєструються в процесі тренуван-

ня і змагань; підвищення вимог до метрологічного забезпечення збору та аналізу інформації щодо підготовленості спортсменів. (Іванов, 1987; Запорожанов, 1988; Федоров, 1997). Велика кількість питань з розробки і використання контролю в спорті вимагають більш чіткого наукового обґрунтування та експериментальної перевірки. Передусім, це пояснюється складністю і суперечністю специфічних завдань спорту (суб'єкт дослідження — живий організм), що не завжди дозволяє формалізувати процес обробки інформації (Хутієв, 1991; Кучкін 1997).

Беручи за основу сучасні теоретико-методичні положення з управління підготовкою спортсменів, враховуючи досягнення сучасної науки і техніки, слід відмітити, що існує виразна суперечність між ступенем напрацювань науково-методичних положень теорії, методики спортивного тренування та рівнем контролю і моделювання в спорті (Платонов, 1984-2004, Булатова, 1997-2001). Особливо гострою окреслена проблема є в тих видах спорту, де технічна компонента (спортивне обладнання) має суттєвий вплив на формування спортивного результату, і котру доцільно розглядати як окрему систему зі складними взаємозв'язками зі спортсменом.

Отже метою даного дослідження є вдосконалення управління процесом підготовки спортсменів високої кваліфікації, підвищення їхнього спортивного результату на основі вивчення, розробки і застосування закономірностей, принципів та методів моделювання складних різноякісних біомеханічних систем у спорті (на прикладі стрільби з лука). Об'єктом дослідження обрано процес управління складними біомеханічними системами у спорті, а предметом дослідження — моделі стану складних біомеханічних систем (на прикладі спортивної стрільби з лука).

Методологічною основою роботи є системний підхід, відповідно до якого структура підготовки, стан підготовленості спортсменів розглядаються як цілісний комплекс взаємопов'язаних елементів, що впливають один на одного з різною силою детермінованості. В матеріалах дослідження автор намагався застосовувати загальні принципи і підходи теорії штучного управляючого середовища (Рагов, 1971-1991), розмірності і схожості (Сєдов, 1987; Венніков, 1984), термінової зворотної інформації (Фарфель, 1962-1975), побудови рухів (Бернштейн, 1996). Дослідження ґрунтуються на основах кібернетики, теорії систем, теорії прийняття рішень, досліджень операцій та штучного інтелекту.

# СУЧАСНІ КОНЦЕПЦІЇ УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ БІОМЕХАНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ В СПОРТІ

### Визначення поняття складної біомеханічної системи в спорті

В наших дослідженнях біомеханічна система трактується ширше від традиційно визначених окремими спеціалістами понятті, де під ним розуміють рухомо сполучені кістки скелета, які під дією м'язів забезпечують рухову функцію. На наш погляд, складні біомеханічні системи у спорті це — комплекси зі складовими різної природи, сумісне функціонування яких направлені на досягнення певного рухового завдання, і які характеризуються мірою їх механічного стану та поведінки. Тому складовими блоками складної біомеханічної системи є підсистема рухових дій спортсмена; поведінка об'єктів в умовах їх механічної взаємодії зі спортсменом; результати виконання рухового завдання; умови здійснення рухових дій; розвиток рухової функції спортсменів в результаті цілеспрямованих педагогічних дій управління (рис.1.1).

Складні біомеханічні системи характеризуються численними і різноманітними за типами зв'язками між окремо функціонуючими блоками системи і наявністю в такій системі функції призначення, якої немає у складових її частинах.

Отже складна біомеханічна система представляє собою цілісний об'єкт, який не може бути виражений сумою своїх компонентів. Опис комплексу завжди залежить від категорії мети, яка природно включається в системну методологію. Таким чином, складна біомеханічна система може мати багато різних описів залежно від конкретної мети розгляду цього об'єкта.

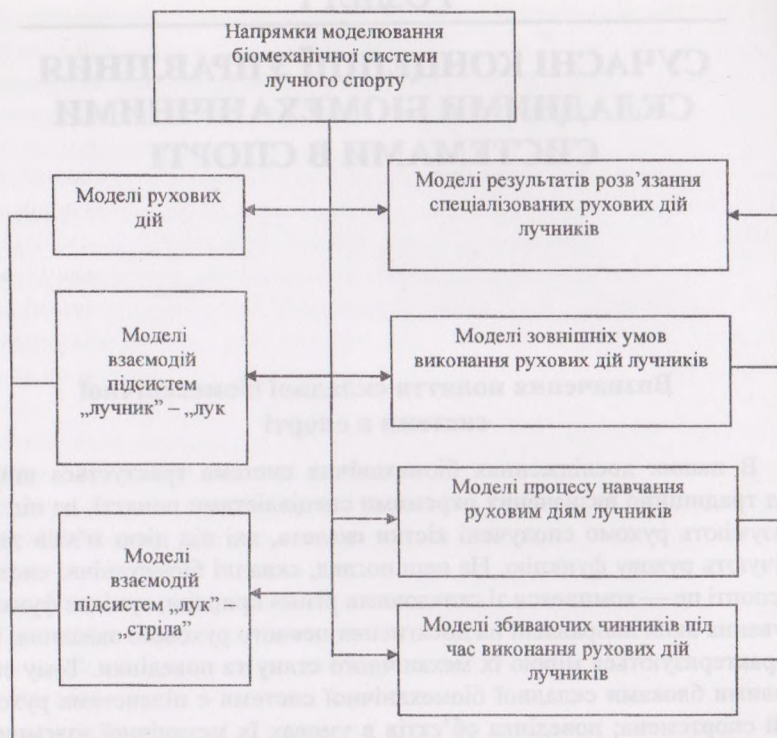


Рис. 1.1. Напрямки моделювання біомеханічної системи лучного спорту

Також доцільно скористатися поняттям узагальненого опису складної біомеханічної системи в спорті, як сукупності компонентів, що є підсистемами, тобто мають певний рівень цілісності. Отримаємо ієрархічно побудовану модель, в якій взаємодія підсистем породжує властиві цілісній системі. Якщо розглядати будь-яку підсистему, тоді її специфіку визначають такі її властивості, які важливі саме з точки зору функціонування організації вищого рівня. Вони мають по відношенню до неї загальний, інтегральний характер і є, таким чином, системоутворюючими, такими, що визначають специфіку даної системи як цілісного об'єкта. Системоутворюючим чинником функціонування біомеханічної системи в спорті логічно обрати спортивний результат. Тому при вивченні певних підсистем біомеханічної системи доцільно виділити її інтегральні харак-



теристики як цілісної форми, важливої з точки зору її специфіки як компоненту досягнення визначеного спортивного результату. Далі визначати внутрішні складові, їхні узагальнені взаємозв'язки і структура взаємодії. Такий підхід є найбільш зрозумілим, простим та ефективним.

Окреслена вище біомеханічна система за своїм складом є гетерогенною, бо вона утворена з принципово різних компонентів. Складна біомеханічна система «стрілець — зброя — мішень» складається з блоків взаємодія між якими відбувається на рівні контакту простіших елементів, що входять до їхнього складу. Основні особливості таких організацій: межі в просторі чіткі, визначаються специфічними закономірностями розвитку системи; мають логічну структуру взаємодії підсистем, виражену в наявності каналів обміну інформації; реакція на педагогічні дії та зовнішні впливи є вірогідністю-детерміністичною.

Поведінка складних біомеханічних систем має ряд характерних особливостей. Збереження цілісності такої системи під час зовнішніх дій забезпечується при умові досягнення певної рівноваги. В загальному випадку стійкість виражається законом пристосовування, оскільки складна біомеханічна система прагне змінитися так, щоб мінімізувати ефект зовнішньої дії.

Значне місце в наших дослідженнях надається моделюванню стану складної біомеханічної системи, що визначає режим її функціонування, коли інтегральні показники системи знаходяться в динамічній рівновазі із зовнішніми діями, а її узагальнена структура залишається незмінною в часі і просторі. Дослідження показують, що станів системи не може бути нескінченно багато і вони не можуть бути довільними. Характер зміни стану біомеханічної системи визначається її внутрішньою структурою. Тому система не може приймати довільних невласливих їй станів.

Підсумовуючи відзначимо, що в теорії суперскладних утворень біомеханічна система виступає як ієрархічна сукупність різних гіперкомплексних утворень, що не зводяться до суми своїх елементів. Причиною об'єднання елементів в єдину біомеханічну схему є прагнення відшукати нових обґрунтованих механізмів підвищення спортивного результату.

На наш погляд, одним із найефективніших шляхів вивчення складних біомеханічних систем є моделювання. Оскільки складна біомеханічна система характеризується значною складністю, що передусім виявляється у великій кількості інформації і у взаємному впливі різних параметрів, побудова моделі слід починати з формалізованого опису її блоків. У на-

ших дослідженнях доцільно чітко виділити три, відносно самостійних, блоки, а саме: стрілець, зброя, мішень (спортивний результат). Повна модель складної біомеханічної системи «стрілець — зброя-мішень» є комбінацією варіантів моделей окремих підсистем. На наш погляд такий підхід є ефективним, але утруднений тим, що вказані підсистеми мають різну природу (біологічну та технічну) і недоступні для повного контролю параметрів їх функціонування. Тому біомеханічну систему «стрілець — зброя — мішень» необхідно моделювати за типом неповно структурованої змішаної задачі, що містять як кількісні так і якісні елементи.

З іншого боку біомеханічні системи в спорті характеризуються наступними особливостями: педагогічні управлінські кроки відносяться до майбутнього, до передбачення тенденцій розгортання адаптаційних процесів; існує широкий діапазон дидактичних альтернатив; розв'язання залежать від спеціалізованих знань тренерів-фахівців, яких в загальному випадку, є недостатньо; управлінські рішення містять елементи ризику; управління здійснюється в умовах неповноти та завуальованості інформації; для вирішення педагогічного завдання необхідне комбінування різних ресурсів (науково-методичних, матеріальних, інформаційних).

Виходячи із сказаного, у частині випадків нашого дослідження, складна біомеханічна система «стрілець — зброя-мішень» подається у вигляді «чорної або сірої скриньки» з багатьма входами та виходами. Одним із варіантів моделювання біомеханічної системи є аналіз вхідних параметрів залежно від характеру і частки їхньої участі в процесі управління нею. В ході дослідження вхідні параметри розділяються на три типи: константні, управлінські, збиваючі та нейтральні. До константних вхідних параметрів належать такі, значення які можуть бути виміряні, але можливість педагогічних впливів дії на них відсутня. До константних вхідних параметрів моделі складної біомеханічної системи належать певні морфологічні характеристики тіла спортсмена (довжина ланок біокінематичних ланцюгів), такі фізичні показники навколишнього середовища, як опір повітря, сила вітру, просторові показники мішеней тощо. Управлінськими вхідними параметрами моделей біомеханічної системи виступають характеристики педагогічних дій (обсяг, інтенсивність та спрямованість фізичного навантаження, розподілення засобів тренування), певні динамічні та механічні величини підсистеми «зброя», що є також експериментальними чинниками дослідження. Під час побудови різнопланових моделей певною мірою враховуються або виводяться

за рамки параметрів моделей збиваючі та нейтральні величини, значення яких випадковим чином змінюються з часом і які не доступні для точного вимірювання. Обмеження параметрів моделі є необхідним під час побудови детермінаційних математичних моделей. Характерним прикладом детермінаційних моделей розроблених під час виконання роботи є модель руху рух матеріальних тіл під дією сил тяжіння, опору повітря і сили вітру, вільні коливання матеріальної точки, вимушені коливання визначеної матеріальної точки складної біомеханічної системи «стрілець — зброя — мішень». Вихідними параметрами біомеханічних моделей є показники спортивної діяльності, а також динаміка характеристик стану підготовленості як результат сумарної дії константних, управлінських та збиваючих чинників.

В ході дослідження кожна біомеханічна модель в спорті виявляється певною комбінацією компонентів (блоків, підсистем, елементів), параметрів, залежностей, обмежень, цільових функцій. Важливого значення в кожному конкретному дослідженні надається підборі параметрів біомеханічної моделі, який полягав у визначенні: поняття чи текстового опису (у разі необхідності), одиниці вимірювання; діапазону зміни параметру; можливості регулювання параметру, місця застосування в моделі.

В наших дослідженнях використовуються як моделі побудовані на функціональних залежностях так і на стохастичних співвідношеннях. У разі можливості застосовуються описи поведінки біомеханічної системи, що ґрунтуються на детермінованих співвідношень, які встановлюють залежність між параметрами в тих випадках, коли процес на виході системи однозначно визначається заданою інформацією на вході. Проте є логічним та підтвердженим у дослідженнях те, що у більшості випадків моделі біомеханічних систем у спорті будуються на основі стохастичних співвідношень, які при заданій вхідній інформації дають на виході неоднозначний результат.

Певне і важливе місце в науковому дослідженні надається визначенні обмежень значень параметрів, які встановлювалися під час побудови моделі тренувального процесу стрільців, біокінематичних схем, спортивної результативності. І нарешті, основою процесу моделювання складних біомеханічних систем, підсистем є наявність цільової функції, що полягає у точному відображенні мети функціонування системи, тобто у рості спортивної майстерності та результативності.

Побудову біомеханічних моделей доцільно організовувати за модульним принципом, що дозволяє отримувати низку переваг, а саме:

- знизити поріг складності біомеханічної системи;
- розпаралелити роботу з розробки та верифікації окремих модулів (блоків, підсистем);
- використовувати еволюційність та поетапність розробки моделей на основі заміни окремих модулів;
- застосовувати варіативність способів та засобів моделювання, що розширює та спрощує дослідження складних біомеханічних систем;
- послуговуватися високою гнучкістю і адаптивністю процесу моделювання біомеханічної системи за рахунок комплектації такими наборами моделей, які максимально відповідають вимогам теорії та практиці спортивної підготовки;
- розширити можливості інтеграції моделей з комп'ютерними програмними продуктами.

### **Управління складними біомеханічними об'єктами та процесами спортивної діяльності**

У сучасній літературі управління трактується як будь-яка зміна стану будь-якого об'єкта, чи системи процесу, що веде до досягнення мети. Основу науки управління складає узагальнення практичного досвіду, виявлення загальних принципів і закономірностей, уміння домагатися необхідних результатів. Наука управління вважається характерною дисципліною періоду інтеграції наук, що пов'язані зі спортом. Вона передбачає раціональну організацію, тому у певному сенсі, науку управління називають логікою адміністрування. Тобто роль науки управління полягає в напрацюванні шляхів полегшення розумової діяльності під час прийняття оптимальних рішень.

Дослідження складних процесів нерозривно пов'язані з формуванням системи управління і вирізненням її структурних елементів. Згідно з сучасними уявленнями, система управління загалом включає об'єкт управління і керуючу систему, що взаємодіють по каналах прямого і зворотного зв'язку. Крім того, відомо, що в ході управління, керований об'єкт піддається впливові як корисного сигналу різної природи так і впливу збурюючих сигналів, а результат цих впливів оцінюється за «вихідними» параметрами. При цьому керуючі впливи відносять до «вхідного» параметру (рис 1.2).

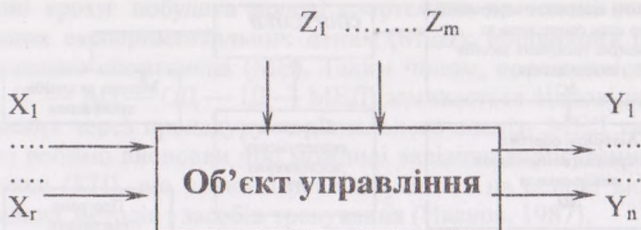


Рис. 1. 2. Функціонування керованого об'єкта, де  $X_p, \dots, X_r$  — керуючі впливи,  $Z_p, \dots, Z_m$  — впливи, що збурюють;  $Y_p, \dots, Y_n$  — «вихідні» параметри.

З появою комп'ютерної техніки, складних новітніх пристроїв з терміновим і надтерміновим зворотнім зв'язком, локальних і глобальних інформаційних мереж з'явилася об'єктивна можливість автоматизації педагогічних впливів у спортивній діяльності спортсменів, у тому числі, і у лучному спорті. За наявності таких умов системи управління педагогічними впливами можуть працювати в автоматичному режимі чи у режимі, що є сукупністю керованого об'єкта й автоматичних керуючих пристроїв, де частину функції управління виконує тренер. В такій автоматизованій системі автоматичні пристрої здійснюють збір інформації з об'єкта управління, її передачу, перетворення й обробку, формування керуючих команд. Тренер визначає мету і критерії управління, коректує їх під час зміни умов, тобто виконує функції спостереження за роботою автоматичних пристроїв, а у разі необхідності змінює програму їхньої роботи і приймає загальні рішення з управління у неоднозначних складних ситуаціях.

При розв'язанні проблем управління разом з поняттями керованого об'єкта, керуючих пристроїв, різноспрямованих впливів, «вихідних» параметрів, завдань і критеріїв управління необхідні знання загальних принципів та основ управління. Згідно з сучасною уявою, загальні принципи управління підготовленістю спортсменів включають: наявність даних про оцінку вихідного, проміжного і кінцевого станів; розробку загального алгоритму управління, здійснення контролю і корекції програм тренування. Для об'єктивізації та інтенсифікації прийняття рішень і управління рекомендується використовувати бази даних із застосуванням математичного апарату та електронно-обчислювальні машини (ЕОМ).

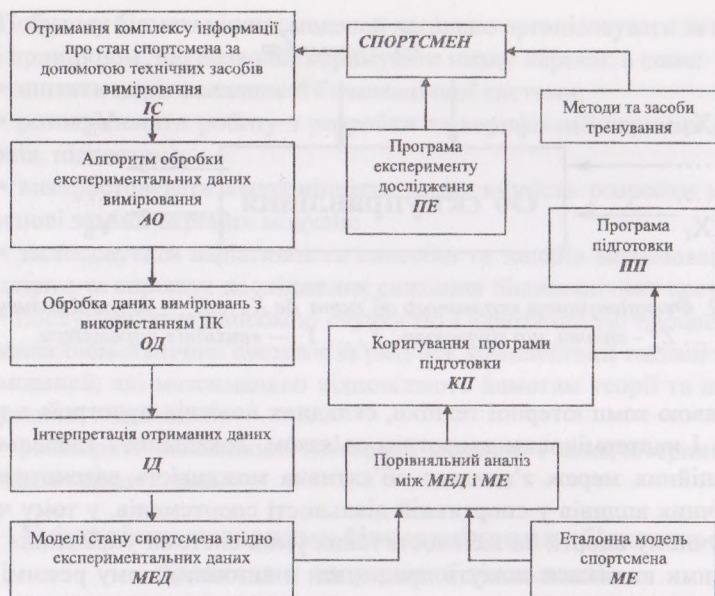


Рис. 1.3. Структура і послідовність операцій управління підготовкою спортсменів (Іванов, 1987)

Звідси підтверджується думка про тісний взаємозв'язок між управлінням, контролем і моделюванням специфічних процесів і явищ, що протікають у системі спортивної підготовки, змагальної діяльності. В. В. Іванов (1987) подає схему таких взаємозв'язків на основі розробленого варіанту структури і послідовності операцій управління підготовкою спортсменів високої кваліфікації з використанням моделі спортсмена із заданими (модельними) характеристиками фізичної, техніко-тактичної, психологічної і функціональної підготовленості (рис. 1.3).

Він пропонує розуміти цю схему так. У визначений момент спортсменові пропонується пройти комплексне обстеження, де показники слід реєструвати як за умов тренувальних навантажень, так і за реальних умов змагань. Ця операція відповідає блоку ІС. Отримані дані обробляються і формуються з використанням певного алгоритму і персональних комп'ютерів, як це відображено у блоках АО і ОД. Дані інтерпретуються у поняттях моделей еталонів спортсмена, зокрема техніко-тактичних, психофізіологічних, фізичних та інших, котрі можуть бути представлені у формалізованих варіантах, у вигляді рівнянь, таблиць тощо (блок ІД).

Наступні кроки: побудова моделі спортсмена на основі використання отриманих експериментальних даних (МЕД); порівняння її з еталонною моделлю спортсмена (МЕ). Таким чином, послідовність операцій (ПЕ — ІС — АО — ОД — ІД — МЕД) замикається відповідно до етапів обстеження через процедуру порівняльного аналізу МЕД та МЕ. В результаті робимо висновки про можливі варіанти коригування програми підготовки (КП), що повинні реалізовуватися на основі використання відповідних методів і засобів тренування (Іванов, 1987).

Отже, згідно з описаною схемою (рис.1.3.) для ефективного управління підготовкою спортсмена високого класу необхідні такі основні елементи у системі управління тренувальним процесом:

- комплекс технічних засобів вимірювання і реєстрації показників підготовленості спортсмена як у процесі тренування, так і в умовах змагань;
- програма експерименту — обстеження;
- алгоритм і програми обробки експериментальних даних обстеження;
- методика і алгоритм побудови моделі стану спортсмена за комплексом експериментальних даних;
- адекватна еталонна модель спортсмена;
- науково обгрунтована програма підготовки спортсмена;
- відповідні науково обгрунтовані методи і засоби підготовки, у тому числі тренажерні пристрої і пристосування.

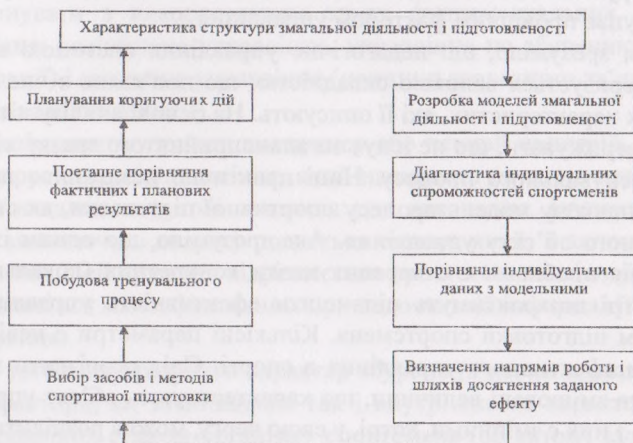


Рис.1.4. Цикл етапного управління у підготовці спортсменів високої кваліфікації (Платонов, 1997)

Дещо іншої схеми, яка більше стосується етапного управління, до- тримується В. М. Платонов (1997), який провідним блоком для початку відліку координат вважає структуру змагальної діяльності і підготовленості (рис.1.4).

Цілком логічним є порівняння ефективності управлінських дій системою підготовки зі змінами, що відбуватимуться в результативності, а отже і параметрах структури змагальної діяльності.

В. А. Запорожанов (1988) акцентує увагу на доцільності розрізнення видів управління залежно від специфіки етапів спортивної підготовки. Таким чином: етапне управління, що скероване на формування гармонійно розвиненої особистості на основі вдосконалення її поведінки на різних етапах багаторічної підготовки; поточне управління, метою якого є оптимізація поведінки спортсмена в умовах повсякденних тренувальних занять в короткотривалих і середніх циклах тренування, на етапах безпосередньої передзмагальної підготовки; оперативне управління, що спрямоване на оптимізацію тренувальних навантажень на окремих заняттях, поведінку на змаганнях (рис.1.5).

Наведені загальні алгоритми управління мають замкнутий завершений тип, хоча акценти розставлені на різних елементах схем. Але в кожному з них є поняття контролю і моделювання. Також неважко помітити, що необхідна специфікація запропонованих схем залежно від виду спортивної чи рухової діяльності, її націленості, мети та завдань. При цьому, мета виступає провідним фактором управління.

Цілком зрозуміло, що педагогічне управління системою підготовки характеризується великою складністю, що пов'язано з численністю кількісних характеристик, які її описують. На основі аналізу літератури, можна стверджувати, що не існує загальноприйнятого зразку кількісної моделі тренувального процесу. Нині практично неможливо побудувати всеохоплюючу модель процесу спортивної підготовки, як складного багатомірного об'єкту управління. Але зрозуміло, що одним із шляхів розв'язання проблеми є створення низки конкретних (локальних) моделей, котрі дозволятимуть підвищити ефективність управління певним видом підготовки спортсмена. Кількісні параметри є невід'ємним атрибутом ефективного управління в спорті. Слід розрізняти відносно постійні та змінювані величини, що характеризують об'єкт управління. Більшість з них є змінними, котрі, у свою чергу, можна розділити на такі, які можна контролювати, але не управляти ними, і на такі, які доступні для контролю і управління.



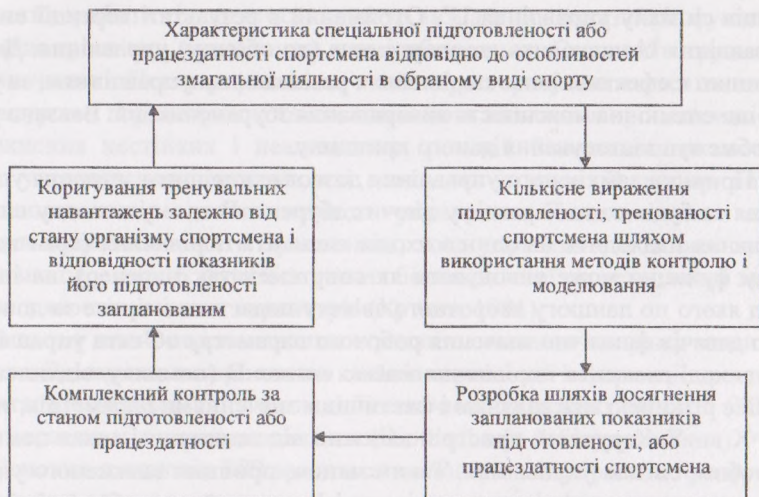


Рис. 1.5. Технологія управління тренувальним процесом (Запорожанов, 1988)

Сучасний розвиток науки і техніки дозволяє все ширше використовувати автоматизовані системи управління процесом підготовки спортсменів високої кваліфікації. Автоматизовані системи управління можуть функціонувати з використанням трьох фундаментальних принципів управління: розімкнене управління, управління по збуренню (принцип компенсації) і замкнене управління (принцип зворотного зв'язку або управління за відхиленням).

За розімкненим принципом тренер або певний пристрій, що управляє, генерує сигнал управління, який надходить до спортсмена. Спортсменові надаються рухові завдання для виконання. Іншими словами, на вхід виконавчого апарату подається сигнал, який, в даному випадку, є завданням. Цей принцип відрізняється простотою технічної реалізації, але виявляється малоефективним при недостатній інформації про характер збурення.

Для того щоб врахувати характер збурень (а це, як правило, не враховані фактори, як зовнішнього так і внутрішнього характеру) у процесі управління станом організму спортсмена (об'єктом) застосовують управління по збуренню. Тут корегуючий пристрій (тренер) виробляє сигнал управління  $U'$  відповідно до завдання  $X$ . Одночасно проводиться

вимірювання збурень, діючих на спортсмена (об'єкт), і проводиться корекція сигналу управління  $U'$ . Отриманий в результаті корекції сигнал управління  $U$  надходить до спортсмена (до об'єкту) управління. Даний принцип є ефективнішим порівняно з розімкненим управлінням, за умови, що є технічна можливість вимірювання збурюючих дій. Вказана умова обмежує застосування даного принципу.

Принцип замкненого управління дозволяє вирішити завдання управління за будь-якого характеру діючих збурень. В цьому випадку сигнал завдання надходить на один з входів елемента порівняння (крім цього, дану функцію може виконувати як спортсмен так і тренер), на інший вхід якого по ланцюгу зворотного зв'язку подається зміряне за допомогою давачів фактичне значення робочого параметру об'єкта управління. На виході елемента порівняння маємо сигнал  $D$  (помилку, відхилення), який є різницею між заданим і фактичним значеннями параметрів, тобто  $D = X - Y$ . Керуючий пристрій залежно від величини і знака помилки виробляє сигнал управління. Таким чином, принцип замкненого управління урахує не тільки завдання, але і фактичний стан об'єкту і діючих збурень. Тому даний принцип є найбільш універсальним і дозволяє успішно розв'язувати завдання управління, не зважаючи на невизначеність об'єкта управління (стан організму спортсмена) і характер збурень. Клас автоматичних систем, побудованих на основі принципу замкненого управління, отримав назву систем автоматичного регулювання (САР) (Лапунтин, 1986).

Залежно від основної мети завдання управління САР класифікуються так: системи стабілізації, система програмного управління, системи стеження.

В системах стабілізації робочі параметри об'єкту (регульовані величини) підтримуються постійними в часі при постійному завданні.

В системах програмного управління робочі параметри об'єкту змінюються в часі згідно, наперед відомому закономі, відповідно до якого змінюється завдання

В системах стеження робочі параметри об'єкту змінюються в часі згідно наперед невідомому закону, що визначається якимсь зовнішнім незалежним процесом.

Складні біомеханічні системи мають свою специфіку автоматизованого управління. Вона полягає у тому, що в організмі спортсмена дуже складно визначити автоматизовану систему управління. Зазначимо, що

це можна зробити тільки стосовно чітко визначених показників функціонування організму, накладаючи певні обмеження. Становить труднощі і визначення об'єкта управління, який характеризуватиметься певною структурою і параметрами. Також виникають запитання про можливість виникнення нестійких і неадекватних реакцій біомеханічних систем щодо управлінських сигналів, які надходять із зовні. В цілому, використання методів автоматизованого управління біомеханічними системами видається досить ефективним, хоча управління можливе лише стосовно перемінних функціонування біомеханічної системи, котрі задаються в якості вихідних параметрів (Хутиев, 1991).

В цьому плані перспективним є розвиток певного напрямку в психофізіології, зокрема використання каналів термінової інформації про стан об'єкта, що вивчається, у вигляді біологічних зворотних зв'язків (БЗЗ), який отримав міжнародне визнання (Biofeedback — біоуправління).

Основна концепція БЗЗ зводиться до того, що інформація про функціональний стан дозволяє спортсменові, тренерові навчитися саморегуляції визначеної фізіологічної функції організму. Отже БЗЗ набуває великої цінності як метод активізації стану функціональних систем організму спортсмена. При цьому, якщо здійснюється моніторинг (безперервний контроль) показника певної функції, слід говорити про БЗЗ, а якщо цю інформацію застосовувати для зміни стану організму людини, більш доцільно застосовувати термін «біоуправління з БЗЗ» або, як частіше зустрічається у російських авторів «адаптивне біоуправління з БЗЗ» (Кучкин, 1997). Одним з найважливіших моментів у тренуванні спортсменів (а це найбільше стосується складно — координаційних видів спорту, зокрема, стрільби з лука) є підвищення точності відчуттів спортсменом як загальносоматичних, рухових, так і вегетативних функцій, тобто оперантне навчання. Прикладом управління з використанням методу БЗЗ є контроль серцевих скорочень в оцінці величини навантаження, його енергетичного режиму, меж ЧСС, за яких відбуваються фізичні навантаження (як правило, у циклічних видах спорту). Загальновідомо, що саме тренування, побудоване на численних зворотних зв'язках у вигляді повідомлень результатів діяльності, зауважень, корекції помилок тощо, сприяє підвищенню точності відчуттів спортсменів. Найбільш точно спортсмени оцінюють кінцеві результати діяльності.

Як автоматизовані системи управління спортивною діяльністю спортсмена, так і біоуправління ґрунтуються на фізіологічних механіз-

мах управління довільними рухами людини. Знаючи їх, можна коректно будувати „штучні» механізми управління станом організму спортсмена чи складною біомеханічною системою. До найпоширеніших і визнаних сучасних концепцій управління точнісними рухами є теорія Л. В. Чхайдзе (1970). Головним в даній теорії є наявність кільця управління, котре складається з прямих (центр-ефектор) і зворотних зв'язків (ефектор-центр). Для здійснення процесу управління необхідний постійний терміновий зв'язок. Л. В. Чхайдзе висуває принциповий підхід до розподілу замкнутого циклу на два кільця (зовнішнє і внутрішнє), оскільки вони відіграють дещо різні ролі. Зовнішнє кільце виконує змістовий контроль рухів, а внутрішнє здійснює контроль за синергетичними автоматизмами. Загальна схема управління довільними рухами, згідно з уявленнями Л. В. Чхайдзе, виглядає так: команда — сигнал надходить від вищих відділів головного мозку до відділу, який визначає послідовність включення груп чи окремих м'язів. Програмуючий відділ диференціює імпульси за конкретними синергіями відповідно до обставинної інформації. У заданому вигляді сигнали управління надходять еферентними шляхами до сервомеханізмів: спинного мозку, синапсів, м'язів і приводять у рух необхідні ланки тіла. Зворотний зв'язок від м'язів надходить двома каналами: внутрішнім — через пропріорецептори на апарат, який звіряє інформацію внутрішнього зворотного зв'язку, та зовнішнім — через рецептори зорової, слухової, тактильної сенсорних систем. Після аферентного синтезу інформація надходить до відділу, який звіряє її з обох кілець управління і на цій основі вносяться відповідні корекції. Таким чином, зовнішня і внутрішня інформація інтегрується у єдине кільце управління, що дозволяє точніше аналізувати, звіряти інформацію і ефективно управляти рухами спортсмена.

Анохін П. К. (1975, 1980) акцентує увагу своєї наукової концепції на тому, що провідним моментом управління довільними рухами людини є отримання необхідного корисного результату дії. На його думку одним із основних механізмів управління руховою діяльністю є аферентний синтез (рис.1.6). Без нього не може бути сформульований повноцінний рух, до поки не закінчиться синтез „пускової» обставинної аферентації, на основі котрої визначається моторна відповідь. Співставлення результатів аферентного синтезу з реальними результатами рухів здійснюється акцептором дії. Збігом цих параметрів закінчується весь циклічний процес управління рухами.

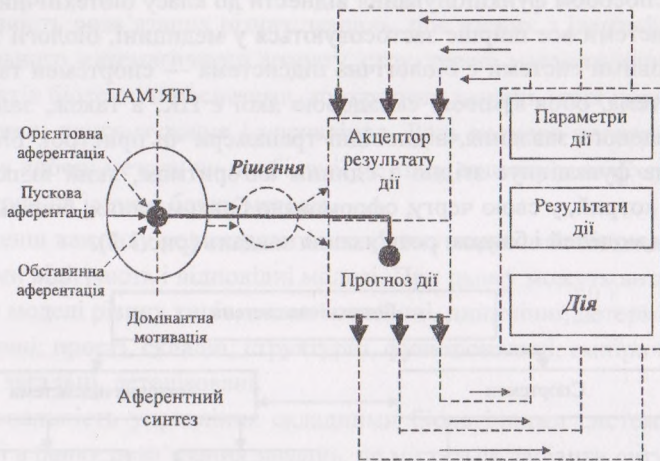


Рис. 1.6. Модель управління (поведінкового акту), який забезпечує раціональну рухову дію спортсмена (Анохин, 1975)

Наведені фізіологічні схеми управління рухами спортсменів чи біомеханічними системами розширюють та уточнюють, в свою чергу, вчення М.О. Бернштейна (1991) про ієрархічність побудови та управління рухами. Воно полягає в тому, що в нижчі (спинальні) рівні ЦНС від вище розташованих рівнів надходять уже узагальнені команди. Ці команди адресуються не прямо виконавчим органам, а низовим управляючим системам, котрі відносно самостійно розв'язують рухові завдання. Таким чином аналіз біомеханічних систем від простих форм до більш складних, від низького до більш високого рівня розвитку дозволяє повно і об'єктивно оцінити діяльність системи у цілому в процесі управління рухами.

Синтез і врахування принципів та особливостей роботи і функціонування організму спортсмена, технічних систем, математичних моделей дозволили фахівцям запропонувати ряд комплексних систем управління. Вирізняють розімкнену комплексну систему управління; комплексну систему управління зі зворотним зв'язком, що замкнена через математичну модель; дискретно-замкнену комплексну систему управління; систему управління з використанням математичних моделей, що здатні до адаптації (Хутиев, 1991). Перелічені системи управління можна за структу-

рою і способом функціонування віднести до класу біотехнічних систем. Такі системи все ширше застосовуються у медицині, біології та спорті. Складовими системи є біологічна підсистема — спортсмен та технічна підсистема, обов'язковою складовою якої є ПК, а також, залежно від поставленого завдання, відповідні тренажери чи пристрої. Біотехнічна система функціонує згідно з єдиним алгоритмом, який включає банк знань, котрий, у свою чергу, сформовано банком даних, банком методів, банком моделей і банком розв'язання завдань (рис. 1.7).

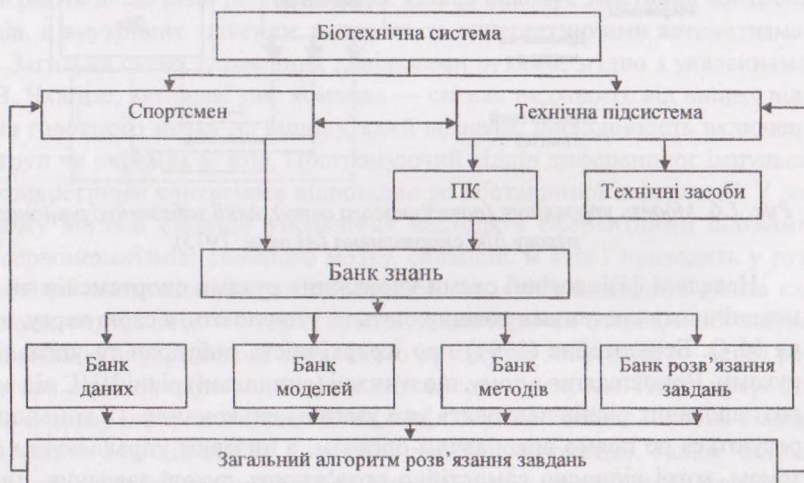


Рис. 1.7. Структурно-функціональна організація управління біотехнічними системами (Хутієв, 1991)

Банк даних (наприклад у формі реляційних таблиць) може бути утворено на основі систематизації інформації довідкового характеру про структуру та зміст об'єкту управління – стан організму спортсмена (рівень спеціальної підготовленості), елементи об'єкту та взаємозв'язки між ними, граничні умови, динаміку розвитку тощо. Тренер також повинен виступати у ролі управлінської підсистеми на основі наявності емпіричних даних про об'єкт управління, його елементи та зміну їхніх кількісних та якісних параметрів в умовах взаємодії із навколишнім середовищем, реакції на фізичні навантаження. До банку методів вклю-

чено сукупність математичних методів і прийомів, що забезпечують оперативність розв'язання різних завдань, пов'язаних з ідентифікацією раціонального математичного апарату, структурою математичних моделей об'єктів біотехнічної системи, конкретних значень їхніх параметрів, діагностики, прогнозування і управління. Роль тренера полягає у правильному виборі методу чи комбінації методів, акцентування їх у ситуаціях, котрих не існує у банку методів.

Не менш важливу роль єдиного алгоритму керування біотехнічними системами відіграють і відповідні моделі. При цьому можуть використовуватися моделі різних типів, а саме: статичні, динамічні; детерміновані, стохастичні; прості, складні; структурні, функціональні; емпіричні, теоретичні; загальні, деталізовані.

Раціональність управління складними біологічними системами закладена і в банку розв'язання завдань, де містяться варіанти ситуацій та станів організму спортсмена, що зустрічалися раніше. Цей банк включає поєднання даних, методів, моделей для досягнення мети. Сучасні ПК дозволяють робити запити варіантів досягнення такої мети. Звідси логічний висновок про характер розподілу при прийнятті рішень у процесі управління біотехнічною системою. Строго або частково детермінована частина пропонується ПК, а пошукова, альтернативна, критеріальна частина лягає на плечі тренера. На наш погляд така схема є перспективною з точки зору її широкого використання у практиці спорту як на сучасному етапі, так і у перспективі.

Провідне значення в процесі управління під час навчання і вдосконалення змагальних і тренувальних вправ спортсменів має структура інформаційних потоків, які поступають до нього. Професор А.М. Лапутін (1979, 1986) в своїх роботах виділяє шість інформаційних потоків під час організації інформаційного обміну між об'єктами навчання спортивним рухам. Перший потік (І-1) формується тренером-педагогом і адресований спортсменові у вигляді біомеханічних параметрів рухів – певного еталону. Другий інформаційний потік (І-2) виникає в процесі виконання спортсменом рухового завдання, за відповідними характеристиками, оскільки має визначену біомеханічну структуру (рис.1.8).

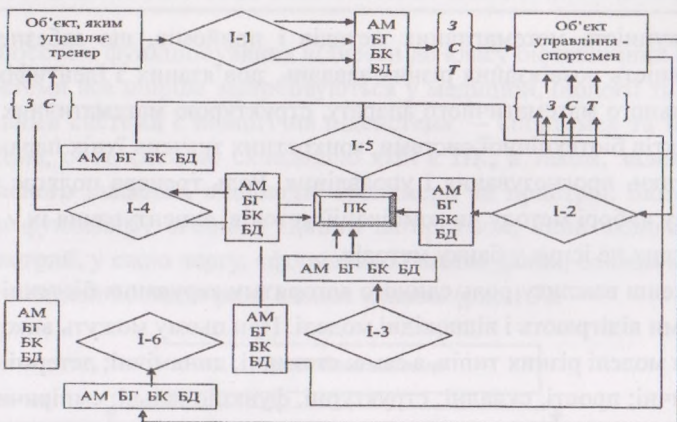


Рис. 1.8. Блок-схема моделі організації інформаційного обміну між об'єктами управління (удосконалення) спортивних рухів (Лапунтин, 1986)

Інформація поділена по каналах відповідно до її специфіки. Виділяють антропометричні (I-2-АМ), біогеометричні (I-2-БГ), біокінематичні (I-2-БК), біодинамічні (I-2-БД) характеристики рухів, фіксація, кодування, передача, кількісна обробка та відображення котрих доцільно здійснювати з використанням технічних пристроїв та комп'ютерної техніки. Третім інформаційним потоком (I-3) по суті є еталонні моделі названих показників. Шляхом порівняння потоків I-2 і I-3 формується потік I-4, що за суттю, є даними відхилень параметрів рухів, котрі виконані за еталоном. Потік I-4 адресований тренеру-педагогу, спортсмену та ПК. Автор концепції зазначає, що не вся інформація потоку I-4 може бути сприйнята тренером та спортсменом, більш повніші дані синтезуються комп'ютером, результатом роботи котрого є комплексна інформація обміну (I-5) та результуюча інформація керування діями спортсмена (I-6).

Підсумовуючи викладене, звернімо увагу на те, що проблема управління складними біомеханічними об'єктами (станом організму спортсменів) була і є у центрі уваги провідних та зарубіжних вчених галузі. Проблема управління – це проблема цілеспрямованості функціонування системи підготовки спортсменів. У більшості наукових робіт управління безпосередньо пов'язують з контролем та моделюванням. Це невід'ємні частини системи управління складними об'єктами у спорті. Саме якість запропонованих процедур контролю та моделювання зумовлює ефек-



тивність управління. Сучасний розвиток вимірювальної апаратури, комп'ютерної техніки надають можливість створення автоматизованих систем управління складними біомеханічними об'єктами. Але з іншого боку, враховуючи специфічність спортивної діяльності, динамічність та неоднозначність ситуаційних обставин, неповноту характеристик автоматизовані системи ще не знайшли широкого застосування в практиці підготовки спортсменів навіть найвищої кваліфікації.

### **Контроль складних біомеханічних систем в спорті**

Як уже зазначалося, контроль є однією із найважливіших ланок системи управління підготовкою спортсменів високої кваліфікації. Це зумовлено тим, що жодна система управління не може оптимально функціонувати без комплексу достовірної інформації про стан об'єкту. Іншими словами, ланка, що замикає канал зворотного зв'язку і забезпечує зняття достовірної інформації з об'єкту управління, є однією із найважливіших ланок, без котрої система управління стає розімкненою, і відповідно, неможлива її ефективна робота.

Проте, є цілком зрозумілим те, що проведення контролю вимагає дотримання певних умов. Не вся інформація, отримана в ході дослідження тренувальної чи змагальної діяльності, може бути корисною для тренера чи спортсмена. Вона має зайняти певну нішу в науково-методичному забезпечення. Інколи така інформація може мати збиваючий характер, або бути за своєю суттю нейтральною. Звідси логічність появи наукового поняття – „комплексного контролю”.

Комплексний контроль включає всю сукупність організаційних заходів щодо оцінки різних сторін підготовленості спортсменів, реакцій організму на тренувальні і змагальні навантаження, ефективності тренувального процесу. Комплексний контроль в спорті передбачає практичну реалізацію різних видів контролю (етапного, поточного, оперативного), що застосовуються у структурних ланках тренувального процесу (річний цикл, мезоцикл, мікроцикл, окремі заняття) для отримання об'єктивної різносторонньої інформації про динаміку стану спортсмена з метою управління процесом спортивної підготовки.

Дотепер спортивні науковці значну увагу приділяли контролю тренувальних і змагань навантажень (Годик, 1980), інтенсивно розробляли теорію і методику педагогічного, біологічного контролю в спорті (Запорожанов, Платонов, 1985). Водночас бурхливий прогрес в спорті, що ха-

рактизується виключно високою напруженістю змагальної боротьби, підвищенням щільності спортивних результатів, досягненням обсягів тренувальних навантажень граничних величин, свідчить про зростання складності у забезпеченні рухової діяльності спортсменів. Усе це ставить підвищені вимоги до організації заходів щодо забезпечення комплексного контролю і управління тренувальним процесом, визначає необхідність розробки нових засобів, методів і технологій, що дозволяють тренеру отримати і обробити великий обсяг різноманітної інформації, оперативно ухвалити певне рішення (Булкин, 1993).

Тому зрозумілий той факт, що значна частина спеціальних публікацій, дисертаційних робіт і наукових тем присвячена розв'язанню різних актуальних питань комплексного контролю в процесі підготовки спортсменів до відповідальних змагань. На загальну думку провідних вчених і практиків, які вивчають цю проблему система комплексного контролю має включати всі основні підсистеми контролю, у тому числі педагогічного, біомеханічного, медико-біологічного, біохімічного і психологічного. Ці підсистеми забезпечують контроль всіх основних компонентів тренувального процесу – інтегральні характеристики змагальної діяльності, стану здоров'я, рівня функціональної, спеціальної фізичної, техніко-тактичної і психологічної підготовленості, а також ефективності відновних заходів. За допомогою системи комплексного контролю перевіряється, аналізується виконання програм підготовки спортсменів на різних її етапах, визначаються невідповідності між запланованим (моделним, еталонним) рівнем підготовленості і на основі даних невідповідностей вносяться необхідні корективи щодо програм, методів і засобів підготовки.

Для класифікації типів комплексного контролю за змістом будемо вважати, що він включає такі підсистеми (рис.1.9) (Иванов, 1987).

Підсистема педагогічного контролю (ППК) є основою для отримання комплексу інформації про діяльність і підготовленість спортсмена. Під ППК розуміють сукупність параметрів, засобів, методів, алгоритмів і організаційно-методичних заходів щодо оцінки ефективності використання засобів і методів підготовки, тренувальних навантажень, техніко-тактичних дій, а також спортивних результатів і поведінки спортсменів. Основними методами педагогічного контролю є педагогічні спостереження і контрольні вправи (тести). Крім того, педагог повинен уміти узагальнювати в єдину (інтегральну) оцінку дані обстежень, отриманих у ході здійснення інших видів контролю

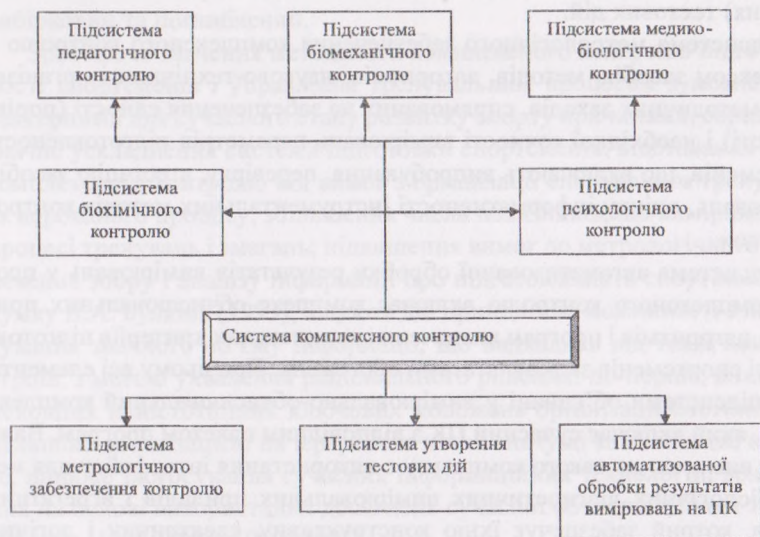


Рис. 1.9. Структура системи комплексного контролю (Іванов, 1987)

Підсистема медико-біологічного контролю (ПМБК) є сукупністю параметрів, засобів, методів, алгоритмів і заходів, спрямованих на оцінку здоров'я, функціональних можливостей і стану організму спортсмена з урахуванням реакції його функціональних систем на різні, у тому числі екстремальні тренувальні і змагальні дії (навантаження).

Підсистема біомеханічного контролю (ПБМК) включає сукупність параметрів, засобів, методів, алгоритмів і заходів щодо оцінки техніки виконання спортивних вправ.

Підсистема психологічного контролю (ППК) включає сукупність параметрів, засобів, методів, алгоритмів і заходів щодо оцінки індивідуально-типологічних особливостей особистості спортсмена, його загальних і спеціальних психомоторних здібностей, психічних станів за екстремальних (стресових) умов змагань, соціальнопсихологічних характеристик спортивних колективів.

В.В. Іванов (1987) до систему комплексного контролю вводить ще три додаткові підсистеми: метрологічного забезпечення комплексного контролю, автоматизованої обробки результатів вимірювань в процесі

комплексного контролю на основі використання ЕОМ, створення (моделювання) тестових дій.

Підсистема метрологічного забезпечення комплексного контролю є комплексом засобів, методів, алгоритмів, науково-технічних і організаційно-методичних заходів, спрямованих на забезпечення єдності (порівнянності) і необхідної точності вимірювань параметрів підготовленості спортсменів, що включають випробування, перевірку, атестацію засобів вимірювань, оцінку інформативності інструментальних методів контролю тощо.

Підсистема автоматизованої обробки результатів вимірювань у процесі комплексного контролю включає комплекс обчислювальних пристроїв, алгоритмів і програм визначення комплексних критеріїв підготовленості спортсменів за результатами обстежень. При цьому всі елементи даної підсистеми об'єднані у вимірювально-обчислювальний комплекс (ВОК), який включає сучасний ПК з відповідним пакетом програм. Важливою вимогою до такого комплексу є використання інтерфейсу для медико-біологічних діагностичних вимірювальних приладів і агрегатних засобів, котрий забезпечує їхню конструктивну, електричну і логічну сумісність.

В.В. Іванов (1987) вирізняє ще підсистему створення (моделювання) тестових дій, яка повинна включати комплекс технічних тренажерно-модельюючих засобів, призначених для створення тестуючих навантажень різної фізичної природи (психологічних, фізичних, координативних та ін.).

Вище підкреслювалося, що інтегруючу роль має відігравати педагогічний контроль, який забезпечує управління та корекцію норм фізичних навантажень, раціональний напрям побудови тренувального процесу, а отже і підвищення ефективності всієї системи підготовки. На сьогодні зусиллями багатьох вітчизняних і зарубіжних фахівців розроблено важливі теоретичні і методологічні положення педагогічного контролю у фізичному вихованні і спорті (Булкин, 1987, 1990, 1996; Верхошанский, 1998; Годик, 1980, 1988; Запорожанов, 1985, 1988; Кривенцов, 1987; Лапутін, 1986, 1995, 2002; Матвеев, 1998, 1999; Платонов, 1994, 1997; Энока, 2000; Vube, 1986; Carl, 1989; Lazslo, 1992; Neumann, 1985, 1993 та ін.). Зокрема, вкоренилося положення про доцільність поділу контролю відповідно до типів стану рухової функції спортсменів (рис.1.10). На цій основі розрізняють етапний, поточний і оперативний контроль. За широ-

тою охоплення сторін підготовленості контроль поділяють на локальний, вибірковий та поглиблений.

Зростаюче значення методології комплексного контролю підготовленості спортсменів і управління тренувальним процесом зумовлене характерними для сучасного етапу розвитку спорту причинами, серед яких: значне ускладнення системи підготовки спортсменів; відставання якості комплексного контролю від вимог з організації спортивного тренування як керованого процесу; збільшення числа показників, що вимірюються в процесі тренувань і змагань; підвищення вимог до метрологічного забезпечення збору і аналізу інформації про підготовленість спортсменів. На думку В.А. Булкина (1993), існують дві принципові можливості з впорядкування значного об'єму інформації, що надходить від технічних пристроїв, з метою ухвалення раціонального рішення: по-перше, виявлення основних найістотніших ключових положень організації системи з подальшою деталізацією на ієрархічно менш значущі компоненти; по-друге, широке застосування сучасних інформаційних технологій, розроблених на основі використання досягнень сучасної обчислювальної техніки (Булкин, 1987, 1990, 1993, 1996).

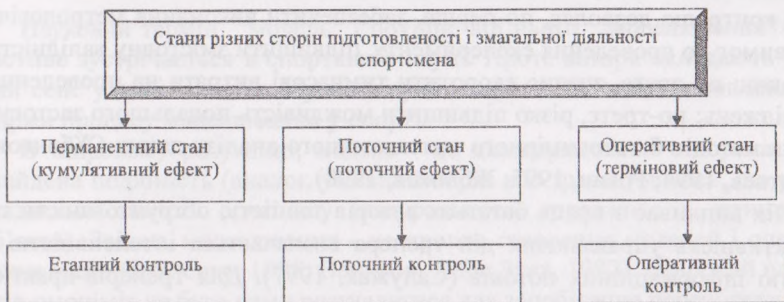


Рис. 1.10. Організація контролю з урахуванням ефекту навантаження (Запорожанов, 1988)

Крім теоретико-методическом аспекту застосування комплексного контролю сьогодні надзвичайно важливі технічний та інформаційний аспекти (Самсонова и др., 1999; Хасин и др., 1996; Федоров и др., 1997). Технічні аспекти контролю полягає у необхідності широкого запровадження сучасних інформаційних технологій. Інформаційні технології (ІТ) є сукупністю засобів і методів, розроблених на основі використання

сучасних досягнень обчислювальної і телекомунікаційної техніки. Основою сучасних ІТ складають обчислювальна техніка, програмно-методичне забезпечення і розвинені комунікаційні засоби. У спортивній науці розвиток сучасних інформаційних технологій представлений у вигляді розробки різноманітних психодіагностичних методик; автоматизації методів функціональної діагностики, біомеханічного аналізу техніки рухів, оцінки технічної підготовленості спортсменів; використання систем імітаційного моделювання; розробки експертних систем. Не зважаючи на те що, багато аспектів щодо застосування інформаційних технологій в спорті вимагають більш чіткого наукового обґрунтування і експериментальної апробації, розробка нових засобів, методів і технологій, котрі базуються на сучасних досягненнях обчислювальної техніки, є одним з найважливіших і найперспективніших напрямів удосконалення системи спортивної підготовки (Миненков, 1987; Виноградов, Савин, 1997; Сапужак, Сапужак., 2001; Шестаков и др., 1996).

Інформаційні аспекти комплексного контролю знайшли своє віддзеркалення в автоматизації методів наукових досліджень: з'явився новий методологічний напрям - комп'ютерна діагностика. Різко зросла інформаційна складова наукової роботи. Використання ІТ в системі комплексного контролю дозволяє, по-перше, забезпечити виконання метрологічних вимог до проведення експерименту, підвищити змістовну валідність методик; по-друге, значно скоротити тимчасові витрати на проведення досліджень; по-третє, різко підвищити можливість подальшого застосування методів багатовимірною математичного аналізу даних (Жбанков, Лебятєв, 1994; Розин, 1995; Жбанков, 1998).

Як впливає з праць багатьох авторів точність, обґрунтованість та об'єктивність управлюючих дій тренера визначається інтенсивністю і якістю інформаційних потоків (Сапужак, 1997). Для тренерів-практиків насамперед необхідна стандартизована система контролю за станом спортсменів і наявність критеріїв оцінки. Нині у багатьох видах спорту така інформація має лише фрагментарний, вибірковий характер. Але сучасний рівень розвитку комп'ютерної техніки створює передумови для розв'язання всього комплексу завдань в сфері наукового управління підготовкою спортсменів. Повна стандартизація процедури вводу і аналізу інформації можлива лише за умови використання ПК та розробки алгоритмічного апарату. Автоматизовані інформаційні системи педагогічного контролю допомагають:

- упорядкувати інформаційні потоки;
- раціонально побудувати процедури їх первинної обробки;
- забезпечити необхідний аналіз даних у поєднанні з наочною формою подання;

та дозволяють:

- забезпечувати відбір інформації та створювати архіви;
- обчислювати похідні показники та проводити статистичну обробку даних;
- розробляти індивідуальні моделі підготовленості спортсменів та порівнювати їх з модельними характеристиками;
- відображати динаміку основних параметрів тренувальних і змагальних навантажень тощо.

Отже, перспективність розробки даного напрямку для об'єктивізації та індивідуалізації процесу управління підготовкою спортсменів повинна не викликати сумнівів (Агашин, Кахидзе, 2003; Годик, 1988; Лапутин, Уткин, 1990).

### **Проблеми моделювання складних біомеханічних систем спорту на сучасному етапі**

Науковий термін “модель” і похідне від нього “моделювання” все частіше зустрічається в спортивній науці. Проте автори вкладають різний сенс у дані поняття. Проаналізуємо глибше змістове наповнення і форми процесу моделювання у спорті.

В широкому розумінні, модель - це цілеспрямовано створена або знайдена подібність (аналог, умовний образ або зразок) чогось, що розглядається замість оригіналу (натурального, справжнього, істинного об'єкта). Звідси, моделювання - це процес створення моделей і оперування ними (Бусленко, 1988; Веніков, 1986; Зуев, 1992). Широкий набір слів-омонімів не буде нами розглядатися для запобігання переобтяження тексту. Проте навіть, в нашому розумінні, маємо широку різноманітність наукових понять.

До процесу створення моделей долучалися цілий ряд вітчизняних і зарубіжних вчених, які працюють у сфері спорту. Спеціалізовані наукові роботи з проблем моделювання в спорті мають як теоретичний так і практичний характер. Слід підкреслити, що у спортивній науці і практиці зустрічаються різні типи і різновиди моделей і моделювання (Кривенцов, 1990; Малиновский, 1981; Селуянов, 1992). Розглянемо різні підходи і варіанти класифікації моделей, і відповідно, процесу моделювання.

Згідно тверджень науковців, які працюють у різних галузях наук, в загальному, моделі поділяють на ідеальні і матеріальні. Інші автори, ще використовують означення теоретичні і практичні. Цей поділ є суто умовним, тому доцільніше використовувати розгорнені класифікації моделей. Ряд авторів виділяють: натуральні, фізичні, наочно-образні, знакові, математичні, кібернетичні, комп'ютерні і інші різновиди моделей (рис.1.11) (Петров, 1999; Сичивица, 1993). Матвеев Л.П. (2000) диференціює особливості функцій і процедур моделювання в спорті, вирізняючи при цьому дослідницьке моделювання (як один з дослідницьких підходів), проєкційне моделювання (як спосіб проєктування об'єктів, процесів) і практико-технологічне моделювання (як спосіб системного упорядкування творчої діяльності в її практичному втіленні).

Аналіз показує, що велика кількість досліджень з проблем моделювання як у спорті, так в інших галузях торкалися гносеологічного і методологічного аспектів цієї проблеми (Новиков, 1963; Шестаков, 1998). У теорію і практику спорту моделювання увійшло у розмитих формах (Дмитриев, 1985; Донской, Дмитриев, 1996).

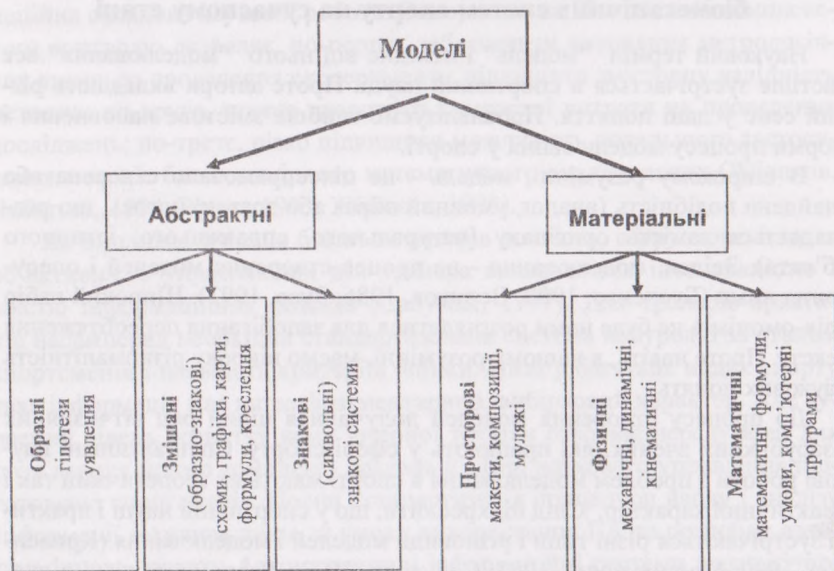


Рис. 1.11. Загальна класифікація моделей (Штоф, 1961)



Одним з перших застосував моделювання для вивчення процесів, що відбуваються під час рухової активності був М.О.Бернштейн (1963). В його наукових працях розкриваються питання управління складними рухами на основі багаторівневих моделей управління, з використанням зворотних зв'язків. Психологічні процеси людини при виконанні рухових завдань з використанням прийомів моделювання застосовували М.М.Амосов (1968), П.К.Анохін (1975, 1980).

Спеціалісти розробляли, так звані, моделі історичної і багаторічної динаміки спортивних результатів та змагальної діяльності (Игнатьев, 1996; Селуянов, 1998), "моделі чемпіонів" (під якими розумілися модельні характеристик найсильніших спортсменів) і рівнів підготовленості спортсменів різної кваліфікації (Жинкин, 1986; Никоноров, Фомин, 1997; Русанов, 1985; Фомичева, 1996), моделі фрагментів тренувального процесу (Бондарчук, 1989; Верхошанский, 1985; Войцеховский, 1985) і інших об'єктів спортивної реальності (Энгвар, Савицкий, Гибадуллин, 1986; Ермаков, 1997; Попов, 1998; Оноприенко, 1979).

Такий напрям моделювання "прогресує" завдяки накопиченню спеціальної інформації. Проте останні дослідження з проблем створення моделей у спорті базуються не тільки на цьому, але й на вдосконаленні конкретної спеціалізованої методології і варіантів моделювання, використанні сучасних комп'ютерних технологій, розробці нових спеціалізованих і комплексних вимірювальних комплексів, перевірки і корекції моделей.

Зазначені відгалуження у варіантах моделювання ще не мають стійкої теоретичної бази, і автори дуже по різному розуміють процес моделювання. На нашу думку, прогресивним є використання модельно-цільового підходу до управління складними об'єктами спортивної підготовки. Окремі автори вирізняють у модельно-цільовому підході два складники: ієрархія цільових завдань і модельні характеристики цільових завдань (Лапутин, 1988).

За Ю.В. Верхошанським, ієрархія цільових завдань - це комплекс найістотніших, логічно підпорядкованих конкретних цільових орієнтирів, що ранжовані відповідно до об'єктивно зумовленого порядку їх розв'язання у тренуванні. Зрозуміло, що задаючи величину приросту спортивного результату (головне цільове завдання), тренер повинен конкретно визначити відповідні вимоги до вдосконалення змагальної і техніко-тактичної майстерності, зрушення в рівні його спеціальної фізичної

підготовленості (Верхошанский, 1988). Під час контролю за ходом тренувального процесу тренер керується зворотною послідовністю. Якщо він не забезпечить належного підвищення рівня спеціальної підготовленості, то не може бути розв'язаною задача вдосконалення техніко-тактичної майстерності. Водночас без реалізації цієї умови неможливо забезпечити необхідну надійність спортивної майстерності. Таким чином, якщо одне з цільових завдань не розв'язане або розв'язане недостатньо, то істотно знижується ймовірність і реалізація головного цільового завдання (приріст спортивного результату) (Верхошанский, 1993).

В сучасній науковій літературі гостро стоїть питання і про кількісне визначення модельних характеристик. Модельні характеристики цільових завдань – це конкретні найбільш істотні показники спеціальної підготовленості спортсмена, що мають бути досягнуті в ході тренування і разом з тим виступають як критерії оцінки її ефективності. За сучасних знань і досвіду моделі цільових завдань можуть і повинні бути виражені кількісно, що переводить тренувальний процес на рейки об'єктивного кількісного контролю і управління його ходом (Верхошанский, 1998). Проте такого підходу дотримуватися неможливо без впровадження сучасних вимірювальних комплексів, використання складного математичного апарату, особливо, під час створення моделей складних антропотехнічних систем типу “стрілець – зброя – мішень” (Заневський, 1994; Пятков, Чапля, 2000).

Значний внесок у висвітлення проблеми моделювання в спорті зробили і вітчизняні вчені (Дрюков, 2002; Дулібський, 2001; Пуцов, 2002; Пятков, 2002). А.М. Лапутін (1995) наголошує на використанні дидактичного моделювання. Він разом з співавторами вважає, що єдиним способом представлення тих або інших варіантів спортивної техніки є її біомеханічне моделювання (Лапутін, 1996; Лапутін, Архипов, Лайуни і др., 1999; Laputin, 1994). Вважається, що практично неможливо відразу запропонувати спортсменові остаточний варіант техніки, виходячи з цілком об'єктивних причин. Для опису остаточного варіанту спортивної техніки необхідна об'єктивна кількісна реєстрація значного масиву аналогової і цифрової інформації, її переробка і оцінка. Тому тренер або спортсмен вимушені підходити до цієї інформації вибірково. Автори підкреслюють, важливість збереження об'єктивності і строгості у підходах до моделювання техніки. Необхідно, щоб у ході моделювання, за

умов спрощення техніки, у ній не було б загублено найважливіших системоутворюючих компонентів, без чого спортсменам неможливо досягнути необхідного ефекту. У дослідженнях мають зберігатися гомоморфні і ізоморфні відносини між оригіналом техніки і його моделями з урахуванням окремих, об'єктивно встановлених критеріїв їх подібності.

Управляти цим процесом можна тільки знаючи відповідні закони і правила моделювання. З огляду на це зрозуміло, що методичні прийоми і способи моделювання всіх технічних дій мають узгоджуватися з певними дидактичними закономірностями їх подальшого освоєння в спортивному тренуванні (Лапутін, Гамалій, Архіпов та ін., 2001).

Ми дотримуємося думки про те, що моделювання техніки кожної фізичної вправи повинно починатися з її опису, встановлення принципів, критеріїв, виокремлення елементів системи, визначення взаємодії між ними. Оскільки деякі параметри спортивної техніки недоступні для прямого вимірювання, то їх дослідження проводиться на експериментальних моделях (Дмитриев, Донской, 2002; Лапутин, 1996).

За словами науковців, які дотримуються думки про першочерговість використання дидактичного моделювання, моделі спортивної техніки використовуються в тренувальному процесі як правило для розв'язання двох основних завдань - дослідження рухів і навчання цих рухів (рис. 1.2). Моделювання в такому випадку являє собою відображення або відтворення рухів для вивчення об'єктивних закономірностей їх побудови або виконання. Модель спортивної техніки - це об'єкт будь-якої природи, що дозволяє замінити рухи, яких навчають так, щоб при їх дослідженні можна було отримати нові знання про спортивну техніку. Причому об'єкт, що замінює техніку спортивних рухів, обов'язково повинен знаходитися з нею у взаємно однозначній відповідності. Модель техніки будується за допомогою абстракції і певної її ідеалізації, внаслідок чого всі випадкові і неістотні характеристики структури рухів відкидаються. Модель техніки стає простішою за оригінал, однак, вони пов'язані між собою співвідношенням подібності. Під поняттям "подібність" власне і мається на увазі та взаємно однозначна відповідність двох об'єктів - моделі і оригіналу. Модель є подібною до оригіналу (спортивній техніці) лише в тому випадку, якщо їх співвідношення задовольняє критеріям подібності, що являють собою певні математичні співвідношення, кількісно фіксуючі умови подібності.



Рис. 1.12. Блок-схема загальної моделі дидактичного процесу навчання та вдосконалення рухових дій (Лапутін, 1996)

Моделі спортивної техніки різняться великою складністю, котра вимагає використання різноманітних критеріїв подібності. Проте, у практиці, на жаль, в багатьох випадках моделі будуються без урахування критеріїв подібності. Таке положення припустиме, але тільки на перших етапах моделювання. Такий спосіб моделювання слід назвати некритеріальним, на відміну від критеріального, яким має бути всяке об'єктивне моделювання рухів (Лапутін, 1986; Носко, Власенко, Синиговец, 2001).

Під час біомеханічного моделювання елементів спортивної техніки як основний критерій подібності механічного руху можна використати, зокрема, так званий критерій гомохронності. Цей критерій показує, яким чином в русі моделі і русі оригіналу пов'язані швидкість, довжина і масштаб часу відносно об'єктів руху. У тренуванні часто використовуються моделі техніки, що зберігають кінематичну подібність з оригіналом: спільність форми руху, швидкості, прискорення тощо. Динамічна подібність базується на обліку подібності сил, що викликають подібні рухи. Антропоморфологічна подібність передбачає аналогічність у співвідношенні лінійних розмірів, маси біологів тіла різних груп спортсменів, для яких рекомендується той або інший варіант, техника рухів. Елементи спортивної техніки подібні з їхніми моделями за кінематичними і динамічними параметрами, що рекомендуються спортсменам з

подібними антропоморфологічними характеристиками, можна вважати в цілому біомеханічно подібними. Ці положення мають велике значення в практиці тренувального процесу, оскільки від їх дотримання залежить об'єктивність досліджень або ефективність і якість навчання (Лапутін, Носко, 2002).

Моделювання може мати уявний або матеріальний характер. Всі види моделювання у спортивно-педагогічній практиці можуть бути поділені на три основні групи: уявне ідеально-теоретичне, матеріальне реально-практичне і речовинно-агрегатне.

Наочний спосіб моделювання базується на різноманітних уявленнях, гіпотезах. Уявні і ідеальні моделі можуть бути згодом втілені у фізичні об'єкти, що відчуттєво сприймаються і функціонують. Такі моделі в практиці можуть використовуватися у вигляді кінограм рухів, макетів тіла спортсменів, окремих його елементів, наприклад, суглобів тощо (Єрмаков, 2001).

Символічний (знаковий) спосіб моделювання вирізняється тим, що його застосування передбачає використання впорядкованого умовного знакового запису рухів. Такий спосіб може використовуватися під час моделювання процесів, певних операцій або дій спортивного тренування тощо. До таких моделей відносяться структурні схеми, блок-схеми, графи і графічно зображені плани, графіки. До їх числа можна також віднести умовні позначення елементів рухів і опорно-рухового апарату спортсменів на біокінематичних схемах.

Математичне уявне моделювання у тренувальному процесі застосовується для побудови і подальшої перевірки теоретичних обґрунтувань закономірностей функціонування різноманітних об'єктів спортивного тренування, для перевірки сформульованої теорії, для її узгодження з реальною практикою. Цільові педагогічні програми, алгоритми, програми для ЕОМ так само можна віднести до класу математичних моделей управління тренувальним процесом.

Натурне моделювання використовується переважно для перевірки гіпотез або теоретичних положень безпосередньо у тренувальному занятті або на змаганнях, та в умовах, максимально наближених до природних.

Фізичне моделювання застосовується в умовах максимально можливої фізичної подібності процесів. Характеристики оригіналу рухів можна в такому випадку отримати шляхом перерахунку характеристик моделі через певні масштабні коефіцієнти.

Аналогово-цифрове моделювання спортивної техніки засновується на ізоморфізмі математичних рівнянь, що дозволяють описувати процеси в ній, котрі мають різну фізичну природу. Аналогове моделювання застосовується в тих випадках, коли є пряма аналогія між величинами, що відображають різні явища. Наприклад, розрахунок опору середовища під час плавання або бігу і аналогічна зміна електричного опору провідників. У першому випадку опір води або повітря багато в чому залежить від швидкості руху спортсмена, у другому - аналогічна залежність спостерігається між силою струму, напругою і електричним опором певного кола ланцюга (закон Ома). Таким чином, моделювання першого процесу може бути виконане на аналогових обчислювальних машинах шляхом заміщення його іншим - аналогічним процесом, але таким що має іншу фізичну природу. З цією самою метою можуть використовуватися і цифрові обчислювальні машини, всі операції в яких проводяться дискретно. При поєднанні двох останніх способів - аналогового і цифрового, моделювання вважається гібридним, або аналогово-цифровим.

Моделювання в тренувальному процесі необхідне, передусім, для того, щоб спортсмен успішно оволодів інформацією, необхідною йому для опанування певної навички. Метод моделювання дозволяє упорядкувати інформацію для того, щоб в тренуванні відобразити цілісний образ кожного спортивного руху.

Принципи моделювання під час вивчення техніки в своєму практичному втіленні заснуються на методичних постулатах доповнюваності дії і невизначеності. При вимірюванні характеристик техніки фізичних вправ реєструюча апаратура, як правило, одночасно не може фіксувати всі властивості системи, вправи. Це стосується так званих альтернативних або несумісних характеристик, які не можуть фіксуватися одночасно. Їх доводиться реєструвати окремо і у різний час. Такі ситуації виникають, наприклад, завдяки багатоструктурності системи рухів, наявності в ній одночасно біокінематичної і сенсорної, інформаційної і ритмічної, психологічної і біодинамічної та багатьох інших структур. Фізична ж вправа у всіх її структурах на практиці реалізується одночасно, однак об'єктивне і синхронне відображення кожної з них, на жаль, не завжди доступне для дослідників або доступне тільки нарізно. Таким чином, під час моделювання реалізується дидактичний принцип доповнюваності, який полягає в тому, що фізична вправа як складна система у взаємодії

з іншими системами може виявляти різні властивості, несумісні один за однакових спостережень.

Принципи моделювання спортивної техніки засновуються також на дидактичному постулаті дії, значення якого пояснюється тим, що їх характеристики мають пороговий характер, зумовлений обмеженістю фізичних можливостей організму людини, взаємодіючого в цей момент з навколишнім середовищем. Обмеження в мірі відповідної реакції організму на впливи середовища під час виконання фізичних вправ визначається функцією трьох змінних: кількістю речовини, що витрачається людиною, кількістю акумульованої енергії, що витрачається, кількістю інформації обміну між організмом і середовищем.

У практиці спортивного тренування можуть використовуватися статистичні, індивідуальні та ідеальні моделі техніки. Статистичні моделі будуються на основі статистичної обробки великого кількісного матеріалу, що об'єктивно характеризує техніку багатьох спортсменів, які належать до певної групи і мають якісно близький один до одного рівень майстерності.

Індивідуальні моделі звичайно характеризують техніку окремих, видатних спортсменів, які мають особливо виражені індивідуальні особливості вияву рухової функції і високими результатами.

Ідеальні моделі, як правило, розробляються з урахуванням і вибором переважно тільки високоефективних елементів техніки, запозичених з біомеханічної структури техніки багатьох найсильніших спортсменів. Ці моделі найчастіше використовуються у прогностичному плані для аналізу і оцінки перспектив розвитку техніки даного виду спорту і можливого проектування стратегії майбутньої змагальної діяльності.

Безпосереднє використання будь-яких, навіть найкоректніших біофізичних або математичних моделей техніки в тренувальному процесі методично надзвичайно утруднено, а в деяких випадках і зовсім неможливе. Тому наступним етапом їх реалізації в спортивному тренуванні є їхня дидактична адаптація до процесу опанування у тому вигляді, в якому це доцільно з огляду на ефективне розв'язання рухових завдань і подальшого досягнення високих результатів змагань.

На думку авторів, які торкалися проблеми дидактичного моделювання, в ході тренувальної роботи мають розглядатися такі, моделі спортивної техніки, що об'єктивно, обґрунтовано, кількісно і якісно висувають дидактичні вимоги, на досягнення яких спрямована робота тренера і

діяльність спортсмена. Освоївши ці моделі в процесі тренування, спортсмени засвоюють техніку фізичних вправ. Залежно від якості та повноти засвоєння дидактичних моделей спортивної техніки, спортсмени набувають певного рівня технічної майстерності. Для того, щоб цей рівень став таким, який дозволяв би гарантовано показувати високі результати, спортсменові спочатку необхідно запропонувати в тренуванні високоякісні моделі техніки, а уже потім домагатися того, щоб він повною мірою їх опанував. Якщо рівень володіння моделями техніки в тренуванні спортсменів буде досить високим, тоді і їх реалізація на змаганнях також буде успішною.

Рівень технічної майстерності спортсменів може бути повністю об'єктивно оцінений тільки за результатами реалізації певних моделей техніки на змаганнях. В умовах змагань, структура техніки, що реалізовується спортсменами біомеханічно звичайно відображає в собі численні, так звані збиваючі впливи того середовища, в якому знаходиться атлет. До їх числа відносять різноманітні психологічні впливи, а також численні такі фізико-хімічні зовнішні чинники, передбачити вплив яких, на певну структуру рухів заздалегідь, навіть теоретично, просто неможливо (Лапутин, 1986, 1999). Окрім того, слід пам'ятати, що на цьому фоні в організмі спортсмена, який змагається, неминуче розвивається стомлення, що також спочатку мимовільно, а потім, можливо, і довільно викликає адаптаційну перебудову індивідуальної моделі техніки.

Чекати однак дійсних успіхів в досягненні високого рівня технічної майстерності спортсменів у змагальній діяльності можна тільки в тому випадку, якщо методологія опанування конкретних моделей техніки в тренувальному процесі базується на сучасних технологіях дидактичної біомеханіки, що враховує закономірності побудови багатопільових, багаторівневих структур спортивних рухів, механізми багаторівневої їх психомоторної регуляції, а також на можливостях комп'ютерних ресурсів управління. При цьому численними дослідженнями доведено, що з всіх біомеханічних структур техніки змагальної діяльності майже завжди вирішальний внесок в досягнення високих спортивних результатів належить силовій, біодинамічній структурі рухів. Саме вона є основою всіх причинних механізмів успішної або неуспішної реалізації кожної змагальної рухової дії. Сила як векторна фізична величина має, як відомо, не тільки своє числове значення (модуль), а й точку прикладення і век-



тор (напрямок) дії. Якщо вона адекватна руховому завданню, то завжди забезпечує необхідну геометрію і кінематику рухів, а отже і успішний результат (Лапутін, Гамалій, Архипов та ін., 2001).

Під час опанування складних моделей техніки в спортивному тренуванні доцільно використати спеціалізовані тренажерні системи, які дозволяють досить суворо моделювати фізичні умови того середовища, в якому спортсмен буде реалізовувати свій силовий потенціал в умовах змагань. Ці тренажери дають можливість значно інтенсифікувати процес удосконалення технічної майстерності. Конструюються вони з урахуванням рухової (біомеханічної) специфіки індивідуальних особливостей спортсменів (Пятков, 2001).

Для того, щоб успішно вирішувати названі проблеми вдосконалення технічної майстерності спортсменів високої кваліфікації слід підходити до них комплексно, системно, розглядаючи їх в єдності з всіма іншими актуальними питаннями розвитку олімпійського і професійного спорту (Носко, Власенко, Синиговец, 2001; Платонов, 1997).

Певна частина провідних спеціалістів (Максимей, 1988; Селуянов, 1992; Шеннон, 1978), у в тому числі в сфері фізичної культури і спорту, використовує термін "імітаційне моделювання", хоча ми вважаємо таке словосполучення, певною мірою, тавтологією, якої бажано уникати. Основною метою імітаційного моделювання є отримання показників якості на базі параметрів, що характеризують організаційну структуру за допомогою сукупності числових методів, що описують реальні функціональні взаємозв'язки. Імітація передбачає проведення ряду експериментів протягом певного періоду часу. Управління цими експериментами полягає в направлених змінах відповідних даних за результатами розрахунків імітаційної моделі.

Для оцінки результатів імітаційного моделювання застосовуються також відповідні числові методи. Результатами імітаційного експерименту є вихідні параметри моделі, які перебувають у математичній залежності від вхідних. Вхідні параметри можуть задаватися умовами зовнішнього середовища експериментатором, чи визначатися іншими міркуваннями.

Усі вхідні дані заносяться до бази даних, з якої потрібні дані надходять до інструменту реалізації імітаційної моделі. Визначені у процесі імітації дані надходять до особи, яка приймає рішення, і, оцінивши результати, при потребі змінює необхідні вхідні параметри, після чого цикл повторюється.

Основними етапами імітаційного моделювання є:

- формулювання проблеми;
- формалізація моделі;
- розробка програми;
- оцінка адекватності.

На етапі формулювання проблеми визначають, які саме результати необхідно отримати від імітаційної моделі і як їх використовувати. Під результатами імітаційного моделювання розуміють кількісні оцінки взаємодій елементів системи після моделювання реальних ситуацій.

Етап формалізації моделі починається з вибору вхідних та вихідних змінних моделі. Вихідні змінні визначаються відповідно до мети моделювання. Значення вихідних змінних є результатом роботи певних математичних методів та алгоритмів. Вхідні змінні дозволяють експериментатору впливати на імітаційне моделювання як одноразово, при кожній імітації, так і багаторазово, в ході безпосередніх циклів імітації. Етап створення імітаційної програми включає розробку таких її елементів:

- концептуальної моделі даних;
- фізичної моделі даних;
- алгоритмів перетворення даних;
- інтерфейсу з користувачем;
- форм звітності.

Етап оцінки адекватності імітаційної моделі передбачає відображення (перенесення) результатів, що отримані під час прогностного моделювання, на реальні об'єкти. При цьому з'ясовується міра адекватності, котра у багатьох випадках є експертною оцінкою.

Для узагальнення викладеного вище звернімося до таблиці 1.1., де наведено характеристики ознак, що визначають рівень і призначення моделей спортивної діяльності різної природи (Кривенцов, 1988; 1990). Зупинимося детальніше на окремих з них.

До першої ознаки, яка визначає рівень моделі, відносять складність системи. Вона характеризується різноманітністю параметрів стану, яких набувають компоненти системи за умов взаємодії. Мірою складності є кількість системоутворюючих компонентів, що утворюють систему. До них слід віднести ті, від яких залежить стан досліджуваної системи.

Таблиця 1.1.

## Основні ознаки, що характеризують рівень і призначення моделей

№ п/п	Ознака	Характерні риси ознаки
1.	Складність системи	<p>Побудова, описання і використання моделей залежить від кількості (обсягу) досліджуваних системоутворюючих компонентів (факторів).</p> <p>Складність створюється зростанням кількості елементів системи, різноманітністю структури, зв'язків і відношень у процесі їх функціонування</p>
2.	Рівень організації системи	<p>Рівень моделей визначається у масштабі часу, простору і динаміки розвитку системи та її складових:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ у часі - у процесі взаємодії структурних елементів можливо з достатньою точністю передбачити і описати поведінку такої системи на етапах багаторічної підготовки спортсмена;</li> <li>➤ у просторі - можливість передбачити склад і структуру елементів систем, а також число їхніх станів;</li> <li>➤ у динаміці - можливість опису великого числа взаємодіючих елементів системи у процесі функціонування та зміни їх станів з урахуванням часу і простору</li> </ul>
3.	Характерні властивості системи	<p>Визначення рівня моделі виходячи з характеру зв'язку, відношень складових елементів, блоків, підсистем, об'єктів системи, можливість описання: за зовнішніми (педагогічними) і внутрішніми (фізіологічними) ознаками</p>

4.	Підхід до вивчення системи	Модель визначається: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ в структурному аспекті – створення конструкції, впорядкованості властивостей і зв'язку між елементами системи, також і між системами різного рівня.</li> <li>➤ в динамічному аспекті – створення моделей поведінки і розвитку системи, елементів, описання функцій складових системи</li> </ul>
5.	Призначення моделі	Моделі, які характеризують процес спортивного тренування на основі дослідження великої групи спортсменів у певному виді спорту: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ такі, що базуються на основі виявлення специфічних особливостей у групі спортсменів;</li> <li>➤ такі, що розробляються для окремого спортсмена у тривалих дослідженнях</li> </ul>

Наступною ознакою моделі є міра її організації ( $R$ ), що характеризує величину складності системи, а її значення лежать в межах  $0 \leq R \leq 1$ . Системі спортивної підготовки притаманні такі риси як гнучкість, багатозначність, детерміністичність. Рівень організації визначають скориставшись формулою К.Шеннона (1978)  $R = 1 - N/N_m$ , де  $N$  – число варіантів стану структурних елементів, які включені до моделі, а  $N_m$  – загальне можливе число варіантів стану структурних елементів.

Складність і організація достовірно характеризують стан системи і можуть бути використані як основні ознаки для створення моделей різних рівнів. За цими ознаками моделювання в спорті деякі автори поділяють на 4 рівні (Кривенцов, 1990):

- 1) моделювання простих систем, до складу котрих включено від одного до трьох ( $1 \leq N \leq 3$ ) системоутворюючих компонентів;
- 2) моделювання складних систем, що містять від трьох до шести ( $4 \leq N \leq 6$ ) компонентів;
- 3) моделювання дуже складних систем, де  $N \leq 6$ . Як приклад, об'єктом моделювання, в цьому разі, може бути - спортивне тренування. Таке моделювання пов'язане із розробкою, вивченням та використанням

модельних характеристик тренувальних впливів, підготовленості і змагальної діяльності спортсмена у їхньому взаємозв'язку;

4) моделювання надскладних систем (опис стану цілісної системи підготовки спортсменів, що включає багатокомпонентний склад різноманітних підсистем різного рівня).

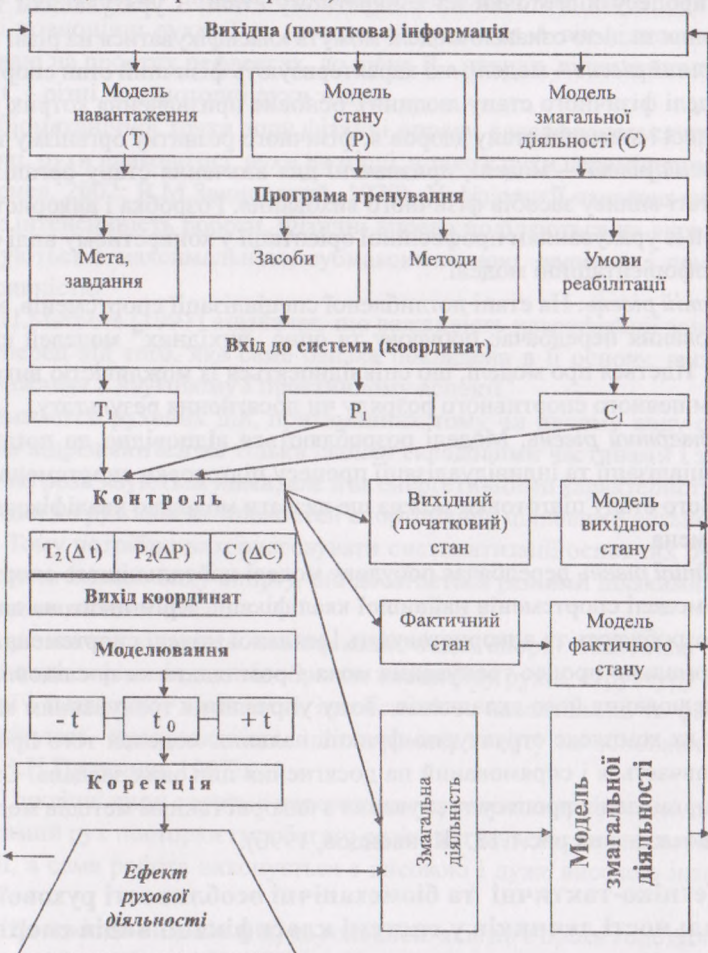


Рис. 1.13. Схема моделювання підготовленості спортсменів (Кривенцов, 1990)

Виходячи зі специфіки спортивної діяльності А.Л.Кривенцов (1990) пропонує використовувати методи моделювання виходячи із мети і завдань етапів багаторічної підготовки спортсменів. Тому розробка моделей спрямована насамперед на подальше вивчення проблем удосконалення процесу підготовки на конкретному етапі. З урахуванням цього положення за цією ознакою моделі можуть класифікуватися на різні рівні.

*Перший рівень* – моделі, які характеризують фізичний стан спортсмена (моделі фізичного стану людини), основне призначення котрих полягає в описі і вивченні стану здоров'я, фізичного розвитку організму тощо.

*Другий рівень* – моделі, призначені для вивчення стану організму в результаті впливу засобів фізичного виховання. Розробка і використання моделей із урахуванням професійної орієнтації у конкретному виді спорту - профорієнтаційні моделі.

*Третій рівень*. На етапі поглибленої спеціалізації спортсменів, метод моделювання передбачає побудову та опис „вихідних” моделей спортсменів. Йдеться про моделі, що співвідносяться із можливістю виконання норм певного спортивного розряду чи досягнення результату.

*Четвертий рівень*. Моделі розробляються відповідно до поглибленої спеціалізації та індивідуалізації процесу підготовки спортсмена. Модель цього етапу підготовки можна ще назвати моделлю кваліфікованого спортсмена.

*П'ятий рівень* передбачає побудову моделі найсильнішого спортсмена або моделі спортсменів найвищої кваліфікації. Крім цього на даному рівні розробляють та використовують ідеальної моделі спортсмена.

Формально процес тренування можна розглядати як послідовні етапи моделювання його складників. Тому управління тренуванням можна уявити як комплекс структурно-функціональних моделей того процесу, який вивчається і спрямований на досягнення цільових завдань. Схематично організація процесу тренування з використанням методів моделювання показана на рис.1.13. (Кривенцов, 1990).

### **Техніко-тактичні та біомеханічні особливості рухової діяльності лучників у системі класифікації видів спорту**

Класифікація є фундаментальним процесом наукової практики, оскільки системи класифікації містять поняття, необхідні для розробки теорій в науці (М.О.Олдендерфер, Р.К.Блешфілд, 1989).

Класифікувати фізичні вправи – означає логічно представити їх як деяку впорядковану сукупність відповідно до конкретних ознак (Л.П.Матвеев, 1991).

Н.А.Бернштейн класифікував вправи на основі сенсорних синтезів, які необхідні для їх виконання. Він вказував, що кожний новий морфологічний рівень мозку приносить з собою не тільки нові якості рухів, але й нові повноцінні рухи. Так, наприклад, до рівня А він відносив рухи, засновані на простих рефлексах, до рівня В - нахили, відкидання тіла, до рівня С - різні локомоторні рухи тощо.

З біомеханічної точки зору фізичні вправи класифікуються як локомоторні, рухи навколо осі, рухи на місці, а також рухи переміщення (С.В. Дмитриев, 2002; В.М.Зациорский, 1979). У фізіології ознакою класифікації є інтенсивність роботи. Фізичні вправи поділяються на вправи, що виконуються з максимальною, субмаксимальною, великою і помірною інтенсивністю.

Л.П.Матвеев (1991) відзначає, що важливість класифікації залежить, насамперед від того, яка саме ознака покладена в її основу, наскільки вона важлива в науковому і практичному аспекті.

Комплекси рухових дій, притаманних тому чи іншому виду спорту, суттєво відрізняються не тільки своїми складовими частинами і завданнями, які розв'язуються ними, але й за енергетичними характеристиками, вимогами до рухових можливостей спортсменів, цільовими установками тощо. Тому потрібно використовувати систематизації основних рухових дій того чи іншого виду спорту, що досягається різними шляхами на основі різноманітних ознак.

Існує значна кількість класифікацій видів спорту. Найбільш поширеною є класифікація, що відображає специфіку рухів, структуру тренувальної і змагальної діяльності, інтенсивність навантажень та фактори, які лімітують працездатність, і ділить види спорту на основних шість груп (В.Н.Платонов, 1997):

1. Циклічні види спорту з переважним проявом витривалості, де один і той самий рух повторюється багато разів, витрачається велика кількість енергії, а сама робота виконується з високою і дуже високою інтенсивністю.

2. Швидкісно-силові види, де головною якістю є прояв короткої за часом і дуже інтенсивної фізичної роботи. В більшості випадків ці фізичні властивості спортсмена залежать від генетичних детермінант, а джерела

енергії для забезпечення такої діяльності принципово відрізняються від видів спорту з проявами витривалості. Розрізняють циклічну послідовність моторних дій і ациклічну. Швидкість є вельми демонстративним показником, який зазнає найбільш раннього і вираженого спаду у порівнянні з силою і витривалістю.

3. Єдиноборства є досить численними видами спортивної діяльності. Характерною рисою витрати енергії у єдиноборствах є змінний рівень фізичних навантажень, що залежить від конкретних умов боротьби, і який може досягати надзвичайно високої інтенсивності.

4. Ігрові види характеризуються постійним чергуванням інтенсивної м'язової діяльності і відпочинку. Велике значення посідає координація рухів і психічна стійкість.

5. Складнокоординаційні види засновані на найтонших елементах руху, де необхідний високий рівень витримки та уваги. Фізичні навантаження варіюються в широких межах.

6. Відрізняють також і так звані технічні види спорту, рухові дії в яких зв'язані із застосуванням технічних засобів. Рівень фізичних навантажень може не досягати дуже високих значень, але психологічне навантаження досягає максимальних величин.

Але цілком логічно, що існують і інші критерії класифікації видів спорту. Наприклад, за характером дій на зв'язково-м'язовий і кістково-суглобовий апарати спортсмена, за ступенем участі тих або інших груп м'язів в роботі і особливостям спортивної робочої пози при виконанні специфічних фізичних вправ, види спорту доцільно поділити на три групи: симетричні, асиметричні і змішані види спорту.

1. Симетричні види спорту у яких права і ліва частини тіла (м'язи) спортсмена виконують одночасно або поперемінно одні і ті ж рухи або дії. При цьому хребет спортсмена займає строго серединне положення, тіло спортсмена знаходиться в стійкій рівновазі у фронтній площині. М'язи тулуба, червонного пресу і кінцівок одержують рівномірне фізичне навантаження.

2. Асиметричні види спорту у яких обидві частини тіла спортсмена виконують різні дії. При цьому спортсмен, як правило, знаходиться у вимушеній асиметричній позі. Крім того, у зв'язку з особливостями техніки того або іншого виду спорту, хребет часто виконує одноманітні рухи в одну й ту саму сторону або ж відбувається скручування його уздовж вертикальної осі. У зв'язку з цим одна половина тіла підпадає під дію фізичного навантаження значно більшою мірою, ніж інша. Рівномірність розвитку м'язів порушується.



3. Змішані види спорту, у яких відбувається часта зміна спортивної робочої пози, на обидві частини тіла спортсмена припадають постійні і часто змінні симетричні і асиметричні навантаження. Положення хребта також постійно змінюється, відсутня вимушена спортивна поза, а якщо вона виникає, то буває короткочасною. М'язи тулуба, черевного пресу і кінцівок розвиваються рівномірно.

Американські спеціалісти класифікують види спорту враховуючи величину максимального статичного і динамічного навантажень (табл.1.2).

Таблиця 1.2

Варіант класифікації видів спорту з врахуванням величини максимального статичного і динамічного навантаження

С Т А Т И Ч Н И Й	Високий рівень ( $>50\%$ MVC)	Бобслей, санный спорт, гімнастика, водні лижі, військові єдиноборства, вітрильний спорт, спортивні сходження, важка атлетика, серфінг, польові змагання	Бодібілдинг, швидкісний спуск на лижах, сноуборд, боротьба	<u>Бокс, велоспорт, ковзанярський спорт, гребля, тріатлон</u>
К О М П О Н Е Н Т	Середній рівень ( $20-50\%$ MVC)	Стрільба з лука, автогонки, кінний спорт, мотоспорт, дайвінг	Біг (спринт), регбі, фігурне катання, американський футбол, синхронне плавання, серфінг, родео	Баскетбол, біг на лижах по пересічній місцевості, біг на середні дистанції, хокей на траві, гандбол, плавання
Т	Низький рівень ( $<20\%$ MVC)	Більярд, боулінг, гольф, крикет, керлінг, стрільба	Бейсбол, волейбол, настільний теніс, фехтування	Бадмінтон, хокей на траві, орієнтування, спортивна ходьба, біг по пересічній місцевості, футбол, теніс, біг на довгі дистанції
	Низький рівень ( $<40\%$ $\dot{V}O_2$ max)	Низький рівень ( $<40\%$ $\dot{V}O_2$ max)	Середній рівень ( $40-70\%$ $\dot{V}O_2$ max)	Високий рівень ( $>70\%$ $\dot{V}O_2$ max)
ДИНАМІЧНИЙ КОМПОНЕНТ				

Зростання величини динамічного компонента визначається збільшенням величини відсотку відносно рівня максимально споживання кисню ( $O_2 \max$ ) і супроводжується наростання серцевого викиду. Зростання величини статичного компонента пов'язане зі збільшенням величини максимально досягнутого довільного м'язового скорочення (maximal voluntary contraction – MVC), що призводить до підвищення артеріального тиску. Види спорту, до яких висуваються найнижчі вимоги до діяльності серцево-судинної системи спортсменів (серцевий викид і кров'яний тиск), виділено курсором, а найвищі – підкреслено (табл. 1.2). Інші види спорту належать до проміжного типу.

Порівняльний аналіз часових і просторових параметрів діяльності спортсменів різних видів спорту, аналіз структури чинника даних властивостей всередині кожної спеціалізації і узагальнений кластерний аналіз дозволили запропонувати класифікацію видів спорту за значущістю часових і просторових властивостей. Згідно даної класифікації всі види спорту діляться на 3 групи:

1. Спортсмени суттєво обмежені в часі і просторі. Діяльність спортсменів обмежена невеликими розмірами майданчика і періодом часу.

2. Спортсмени відносно не обмежені в часі, але обмежені в просторі. Діяльність спортсменів відносно не обмежена в часі, оскільки сигнал дається тільки до старту, але обмежена розмірами спортивного майданчика.

3. Спортсмени відносно не обмежені в часі і просторі.

Враховуючи зазначене вище, стрільбу з лука можна віднести до тих видів спорту, де: 1) використовується спеціальна спортивна зброя; 2) необхідний високий рівень розвитку спеціальних координаційних здібностей. 3) рухові дії мають циклічний характер, але не є симетричними.

Окрім цього характерним для стрільби з лука є поєднання:

- статичної і динамічної роботи м'язів;
- малоамплітудних рухів (мікрорухів) з рухами, які потребують високого рівня гнучкості в плечовому поясі;
- довготривалості виконанням цілісної змагальної вправи змагання з мікроінтервалами виконання рухів в деяких системоутворюючих елементах пострілу з лука;
- постійністю параметрів зовнішнього середовища при стрільбі з лука в приміщенні з варіативністю їх під час стрільби під відкритим небом;

- високотехнічного виконання рухів у поєднанні з якістю підбору і підгонки матеріальної частини (лука, стріл, тятиви і т.д.);
- необхідністю високого рівня розвитку силових характеристик і витривалості з диференціальними здібностями стрільців.

На основі сказаного запропоновано схему, що відображає діалектичні поєднання техніко-тактичних особливостей рухової діяльності лучників, що є основними маркерами під час організації спеціалізованих процесів навчання і вдосконалення в стрільбі з лука (рис. 1.14).

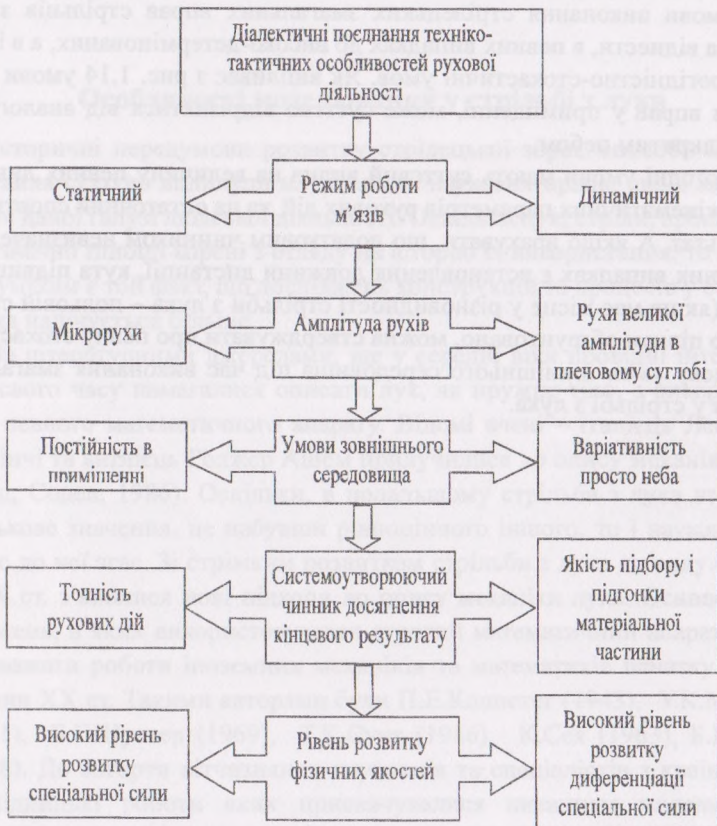


Рис. 1.14. Діалектичні поєднання техніко-тактичних особливостей рухової діяльності стрільців з лука

Важливим також є те, в яких зовнішніх умовах виконуються змагальні вправи. Вони обумовлюють детермінованість або ймовірність реагування, що виражається у зміні кінематичних і динамічних характеристик рухових дій. У спорті розрізняють як мінімум три різні за ступенем детермінованості вірогіднісні ситуації в умовах яких виконуються точнісні рухи:

- високо-детерміновані умови;
- детерміновано-вірогіднісні умови;
- вірогіднісно-стохастичні умови.

Умови виконання стрілецьких змагальних вправ стрільців з лука можна віднести, в певних випадках до високо-детермінованих, а в інших до вірогіднісно-стохастичних умов. Як впливає з рис. 1.14 умови виконання вправ у приміщенні, може суттєво відрізнятись від аналогічних під відкритим небом.

Погодні умови мають суттєвий вплив на величину певних динамічних і кінематичних параметрів рухових дій та на остаточний спортивний результат. А якщо врахувати, що додатковим чинником невизначеності, у певних випадках є встановлення довжини дистанції, кута підвищення лука (як це має місце у різновидності стрільби з лука – польовій стрільбі), то цілком обґрунтовано, можна стверджувати про певну стохастичну складову умов зовнішнього середовища під час виконання змагальних вправ у стрільбі з лука.

## РОЗДІЛ 2

---

# ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ У ЛУЧНОМУ СПОРТІ

### Особливості моделювання у стрільбі з лука

Історичні передумови розвитку стрілецької зброї, способи її використання суттєво вплинули на кількість наукових праць, щодо моделювання даної галузі людської діяльності. Оскільки лук, стріли, арбалет мають значно глибші корені з огляду на історію їх використання, то цілком зрозумілим є той факт, що досліджень конструкцій та процесів у стрільбі з лука налічується більше.

За літературними джерелами, ще у середні віки провідні інтелектуали свого часу намагалися описати лук, як пружне тіло, з використанням певного математичного апарату. Відомі вчені – італієць Леонардо да Вінчі та англієць Роджер Ашем прилучилися до опису механіки лука (Фаш, Содел, 1986). Оскільки, в подальшому стрільба з лука втратила військове значення, не набувши рівноцінного іншого, то і науковий інтерес до неї згас. Зі стрімким розвитком стрільби з лука як виду спорту у ХХ ст. з'явилися нові підходи до опису механіки лука. Основою досліджень, в яких використовувався строгий математичний апарат, можна вважати роботи іноземних механіків та математиків початку та середини ХХ ст. Такими авторами були П.Е.Клопстег (1943), У.К.Марлоу (1981), Б.Г.Шустер (1969), Т.К.Сунг (1986), К.Сея (1963), Б.Г.Функ (1968). До когорти вітчизняних науковців та спеціалістів з країн СНД, дослідницькі роботи яких присвячувалися питанням моделювання слід віднести наступних: А.Ш.Балова (1975), Т.В.Байдиченко (1989), О.Д.Бударіну (1986), В.П.Горобця (1983), І.П.Заневського (1988, 1990, 1996, 1998), О.М.Калініченка (1986), В.А.Коробіцина (1985), Г.А.Мелію

(1982), Г.Петросяна (1977, 1978), В.Резнікова (1978), Б.І.Струка (1978), Т.І.Терунашвілі (1982), Г.Г.Цулая (1982) та інших.

На сучасному етапі найгрунтовнішими роботами з моделювання складних механічних систем дедуктивного характеру з використанням методів аналітичної механіки є дослідження І.П.Заневського (1996). Ним розроблено механіко-математичні моделі пострілу з лука, під якими автор розуміє сукупність рівнянь, умов та обмежень, що описують механічні процеси, котрі відбуваються в системі «стрілець-лук». Нині розвивається також індуктивний підхід до опису процесів у стрільбі з лука, який ґрунтується на аналізі складних акселерометричних коливальних сигналів під час та після виконання пострілу з лука.

Скористаємося підходом до аналізу використання моделювання в спортивній стрільбі з лука, який запропонував І.П. Заневський. Подамо за хронологією та природою об'єктів моделювання внесок науковців, які розробляли моделі структури та процесів, що спостерігаються у стрільбі з лука. Оскільки лук та стріли мають складну конструкцію, то цілком зрозумілий інтерес до цієї зброї з боку спеціалістів, як практиків так і теоретиків. Так в роботі Р.Е.Клопстег (1943) розглянуто декілька різних проблем механіки спортивного і мисливського луків. Ще в середині 30-их років ХХ ст. ним було проведено класифікація луків, за основу котрої прийнята форма повздожньої осі плечей у недеформованому стані. В одному із спеціалізованих наукових фізичних журналів цим автором описані прямолінійні плечі, плечі з внутрішньою та зовнішньою кривизною, а також плечі із загнутими кінцями; проведено порівняльний аналіз форм поперечного перетину плечей: закругленого, прямокутного і трапецієподібного; доведено, що найефективнішою з точки зору міцності та питомого запасу енергії є прямокутна форма; отримано залежності швидкості стріли від сили лука, маси стріли та тятиви; введено поняття віртуальної (приєднаної) маси тятиви, що акумулює разом з масою стріли частину маси тятиви; за допомогою швидкісної кінозйомки зафіксовано явище повздожнього динамічного згину стріли під час виходу її з лука, назване парадоксом лучника; причинами, що викликають його, визначені осьова повздожжня сила, несиметричність лука та боковий імпульс, що передається від пальців лучника через тятіву до хвостовика стріли; показано, що стріла повинна здійснити один цикл згинних коливань за час виходу з лука для того, щоб не зачепити руківку лука. В основному ця робота має описовий характер, аналітичні залеж-

ності обмежені елементарними математичними виразами. Однак в плані постановки завдань механіки лука ця робота до певної міри продуктивна (Заневський, 1996, 1998, 2001).

Інший американський математик (Marlow, 1981) розробив дискретну нелінійну модель довгого (англійського) лука, яка враховує пружні властивості тятиви. Він записав відповідні рівняння Лагранжа другого роду та числовим методом отримав залежності для переміщення, швидкості та прискорення стріли, енергетичні співвідношення. Показав, що врахування пружних властивостей тятиви дозволяє пояснити суттєві розбіжності розрахункових даних з експериментальними. Встановив, що вихід стріли з гнізда тятиви відбувається, коли тятива і плечі ще зберігають суттєву частину кінетичної енергії, котра вже не може бути передана стрілі. Він оцінив вплив опору повітря, що становить тільки 2% загальної енергії лука та визначив власні частоти систем “лук – стріла” і “плечі – тятива” після виходу стріли.

Робота Marlow (1981) є визначальною тим, що авторові вдалося показати близьке співпадіння отриманих розрахункових результатів з експериментальними даними. Разом з тим моделювання гнучких елементів (плечей) недеформівними стержнями не обґрунтовано числовими результатами.

Б.Г.Шустер (Schuster, 1969) запропонував динамічну модель лука, що враховує прилягання тятиви до зігнутих кінців плечей. У його дослідженнях вказується, що при аналізі енергетичних характеристик пострілу з лука до маси стріли слід додавати (приєднувати) одну третину маси тятиви; з використанням методу Лагранжа складено рівняння руху, в результаті розв’язання яких отримано кількісні залежності; розглянуто два етапи руху стріли: разом з тятивою (внутрішня балістика) і вільний політ (зовнішня балістика).

Роботи Т.-К.Сунга (Soong, 1986) присвячені оптимізації розмірів та форми плечей спортивного лука за критерієм максимальної швидкості вильоту стріли. Науковець за вихідні параметри для цього завдання приймає максимальну силу м’язів лучника і величину сили пружності лука за натягнутої тятиви. Плече лука змодельовано плоским криволінійним стрижнем, а тятива - пружною ниткою. На основі використання методів Ньютона–Рафсона та Рунге–Кутта складено процедуру знаходження оптимальних значень початкової кривизни плечей, розподілу їх жорсткості у повздовжньому напрямку та розмірів рукоятки; проведено

розв'язання задачі пошуку максимального рівня накопиченої в плечах і в тязиві потенціальної енергії. Аналізуючи роботу Т.-К.Сунга, І.П. Заневський (1993) відзначає те, що принциповим недоліком цієї моделі є припущення про невагомість лука, тобто нехтування у розрахунках силами інерції.

Результати експериментальних досліджень статичної стійкості стріли під дією осьової сили аналізуються в роботі К.Сея (Seay, 1963), показує, що для стріл середньої довжини втрата стійкості настає за величини сили у 2,5 рази нижчої за силу відповідного лука. У роботі Б.Г.Функа (Funk, 1968) наводяться експериментальні результати динамометрії лука в статичному положенні і показано, що у підв'язаній тязиві сила натягу більша, ніж у розтягнутому положенні лука.

Використання підходів, характерних для теорії артилерійської стрільби, до стрільби з лука надало можливість А.Ш.Балову (1975) викласти основи балістики стріли. В роботі стріла моделюється абсолютно жорстким стрижнем, у рівняннях руху враховано опір повітря, однак у дослідженнях внутрішньої балістики не враховано інерційні властивості плечей та тязиви лука (Заневський, 1996).

Значний обсяг експериментальних досліджень із серійним луком був виконаний грузинськими вченими Г.Г.Цулая і Г.А.Мелія (1982). Результатом наукових пошуків є отримання характеристик жорсткості плечей, проведення порівнянь переміщень верхнього і нижнього плечей, що спричиняють несиметричність статичних навантажень в луці, введено поняття центру рівних переміщень лука, визначення резонансних частоти плечей окремо та лука у цілому на вібраційному стенді, проведено реєстрацію прискорення лука під час пострілу, визначення часу спільного руху стріли з тязивою.

В.А.Коробіцин (1985) заклав основи конструювання багатошарових плечей розбірного лука і запропонував рекомендації щодо форми та напрямку армованих шарів, складу епоксидних композицій, особливостей технології склеювання. Інші дослідники Г.Петросян, В.Резников., В.Мироненко (1978) вивчали: жорсткість руківок спортивних луків; скручування руківки відносно повздовжньої осі разом зі згином; крутильні деформації тощо. На базі лісотехнічного університету в Санкт-Петербурзі проводилися експериментальні дослідження частот власних коливань плеча, були проведені статичні випробування плечей, визначені фізико-механічні властивості зразків склопластиків, ролінгових



ниток та шарових композицій плечей. Визначалися щільність, модуль пружності, логарифмічний декремент затухання і напруження у напрямку найбільшої жорсткості матеріалу, границі міцності при згині і зсуві. Для пошуку дефектів склеювання плечей був розроблений і впроваджений метод тіньової дефектоскопії. Тобто в даному випадку побудова моделей фізичних властивостей пружних елементів лука мала чисто прагматичний виробничий напрямок. На думку І.П. Заневського (1990, 1996) принциповим недоліком цієї роботи була некоректна розрахункова схема плеча, побудована на лінійній теорії згину призматичних стрижнів.

Т.В.Байдиченко досліджувала (1989) механічні властивості спортивних луків і стріл, що впливають на відладку зброї, а також вивчала фактори, що зумовлюють точність стрільби. Вона провела дослідження механічних властивостей луків і стріл, що визначають початкову швидкість стріли. Технічна підготовленість лучників оцінювалася за допомогою систематичної і випадкової похибок результатів серії стрільби. З використанням відстрілочного пристрою була досліджена купчастість стрільби без участі спортсмена. За спеціальною методикою проводилась оцінка внеску зброї у точність стрільби спортсменів різного класу і кваліфікації. Встановлено, що мають місце згинальні коливання стріли, деформації плечей лука є нелінійними. Купчастість бою луків по вертикалі не залежить від довжини дистанції, але може бути суттєво збільшена з допомогою амортизаторів. Вони зменшують величину розсіювання стріл, що випущені з лука фабрики "Динамо", але практично не впливають на результати пострілу з лука фірми "Хойт". Внесок зброї в точність стрільби спортсменів змінюється в межах 5-90%, і ця величина залежить від дистанції стрільби та кваліфікації і статі спортсмена. Емпірично визначені фактори, що найбільш ймовірно пов'язані з помилками в стрільбі.

Окрім теоретичних і практичних робіт присвячених опису конструкцій лука, стріл, їх поведінці в динамічному та статичному режимах зустрічаються роботи з проблем моделювання техніки змагальної вправи. Так, Г.Петросян (1978) сформулював дві умови правильного пострілу, а саме: 1) під час прицілювання необхідно забезпечити наведення площини пострілу у ціль за постійного натягу тятиви і створити необхідний кут нахилу стріли до горизонту; 2) сукупність дій стрільця під час випуску тятиви не повинна порушувати вихідного положення прицілювання протягом певного часу, достатнього для повного відділення стріли від

тятиви. З іншого боку, цей же автор визнає недосконалість теоретичного підґрунтя моделі спортивної техніки. Ним також відмічено, що тонкощі техніки стрільби не мають достатнього обґрунтування, трактуються по-різному, з протилежних позицій.

Питання техніки виконання пострілу та біомеханіки стрільби з лука також досліджували А.Богданов (1971), С.Д. Волжанін (1991, 1993), Р.Воронков (1980), Г.Гордієнко (1980), М.А.Джафаров (1983, 1989, 1990), М.О.Калініченко (1986), О.М. Калініченко (1992, 1993, 1994), В.В. Сидорук (1980), М.К.Хускivadзе (1983).

Аналіз і систематизацію літературних даних з питань біомеханіки стрільби з лука провів М.А.Джафаров (1991). Він назвав першочергові завдання досліджень у цій галузі: визначення біомеханічних (кінематичних і динамічних) характеристик тіла лучника; дослідження біомеханічного апарату (біокінематичних ланцюгів, важелів, кісток і механізмів з'єднання, біодинаміки м'язів, м'язової синергії, роботи, потужності функціональних груп м'язів); аналіз біодинаміки рухових дій (геометрії мас тіла, центрів мас, складних рухів в біокінематичних ланцюгах, сил м'язів, що зумовлюють позу і рухи стрільця у взаємодії з силами пружної деформації, маси тіла, реакції опори, тертя); вивчення біомеханіки дихальних рухів; дослідження біомеханіки збереження положення тіла і зміни пози (рівновага, стійкість); визначення індивідуальних і групових (вік, стать) біомеханічних особливостей стрільців.

В низці праць вітчизняних та зарубіжних авторів піднімаються питання побудови математичних моделей „внутрішніх” процесів виконання пострілу з лука на основі дослідження електроміографічних та біомеханічних параметрів роботи м'язів (Lerooyer, van Hoescke, Helal, 1993; Gollhofer, Edelmann, Rapp et al, 1996; Терунашвили, Мелія, Панцхава, 1982). У їхніх працях, як правило аналізується, осцилограми нервових імпульсів, що іннервують м'язи, котрі беруть найбільшу участь в процесі виконання пострілу. Розглядається, одна з найбільш відповідальних і складних фаз – випуск тятиви і випуск стріли. У праці грузинських вчених Т.І. Терунашвілі, Г.А. Мелія та А.М. Панцхава (1982) закладено уявлення про швидке розвантаження м'язів, яке характерне для пострілу з лука. Модель використовує математичний апарат для аналізу складних механічних систем, а також елементи сучасної теорії в'язко-пружного середовища і адекватно описує рухи центра інерції стрільця і особливості м'язової активності під час пострілу.

В праці Б.І.Струка (1978) розглянуто проблеми спеціальної силової підготовки лучників. На основі об'єктивних методів дослідження з використанням кореляційного і факторного аналізу ним виявлені найбільш значущі показники, що впливають на спортивний результат. Це - управління м'язовими зусиллями, максимальна сила, силова витривалість і відношення сили лука до максимальної сили спортсмена. Встановлено пріоритетність цих показників, їх порівняльну значущість для стрільців різної спортивної кваліфікації і стажу. Автором розроблені ефективні тренувальні пристрої для розвитку силових якостей лучників. Обґрунтовані методи математичного прогнозування силової готовності спортсмена до змагань. Встановлено, що цілеспрямований розвиток спеціальної сили м'язів, силової витривалості і управління силою дає можливість суттєво підвищити результат спортсменів високої спортивної кваліфікації і зменшити термін навчання.

Проте, як вже зазначалося, найвагоміший внесок у побудову повноцінних математичних моделей складних біомеханічних систем в стрільбі з лука зробив І.П. Заневський (1996). На його думку, в структурі моделі тіла стрільця повинні враховуватися положення голови, верхнього і нижнього відділів тулуба, кистей, передпліч, плечей, лопаток, ключиць, стегон, гомілок і стоп. Модель тіла стрільця ним розглядається як 19-ланковий розгалужений просторовий кінематичний ланцюг, що складається з абсолютно твердих елементів (ланок тіла), сполучених сферичними голономними, склерономними шарнірами (суглобами). Міжланкові сили діють по лініях, що проходять через центри шарнірів, а рухи здійснюються за рахунок керуючих (суглобних) моментів. Автором визначено два види збереження рівноваги стрільця з лука: без зовнішніх збуджуючих факторів (прицілювання) і при наявності зовнішнього збуджуючого фактора (випуск тятиви). Розроблено алгоритм і подано розв'язання завдання силового аналізу статички і динаміки змагальної вправи лучників. Отримано залежності для суглобних сил і керуючих моментів, координат точок прикладення, величин і напрямків опорних реакцій. З використанням кутів Ейлера розроблено математичну модель для розрахунку кінематичних характеристик рухів ланок тіла стрільця у формі 15 алгебраїчних рівнянь для кожної ланки. Змодельовано процес випуску тятиви. В результаті співставлення закономірностей м'язової діяльності людини з часовими характеристиками пострілу з лука обґрунтовано припущення про незмінність величин суглобних

моментів моделі тіла стрільця на відрізку часу спільного руху стріли з тягивою, отримані залежності для прискорень ланок, суглобних сил і опорних реакцій. Методику аналізу системи “стрілець–лук” побудовано з використанням методів механіко-математичного моделювання, зокрема теорії коливань та удару, теорії гнучких стрижнів, числових методів аналізу і комп’ютерного експерименту. Система “стрілець–лук” описується моделлю рухів у вертикальній площині і моделлю малих рухів відносно цієї площини. У завданні статики (прицілювання) математична модель системи подається у формі системи звичайних нелінійних диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами. У завданні динаміки (випуск тятиви) – у формі системи інтегро-диференціальних рівнянь з частковими похідними (за повздовжньою координатою і по часу) за граничних і початкових умовах. Для розв’язання рівнянь використовується метод кінцевих різниць і метод простих ітерацій для системи алгебраїчних рівнянь.

Результати аналітичного дослідження пострілу з лука, подано у графічному вигляді, що дозволяють вважати розроблену механіко-математичну модель парадоксу лучника прийнятною, такою, що відбиває основні властивості досліджень системи “стріла–лук–спортсмен”. Реалізація числового методу дослідження математичної моделі на апаратно-програмному комплексі дає практичну можливість отримання траєкторій руху стріли і лука у початковій фазі пострілу (внутрішня балістика).

Поперечні рухи стріли, крім відомих згинних деформацій, включають також її переміщення як твердого тіла разом із гніздом тятиви і плунжером. Згинні коливання накладаються на монотонно зростаючі відхилення і згин стріли. Фаза спільного руху стріли з луком характеризується подвійними бігармонічними коливаннями, фаза вільного польоту (зовнішня балістика) бігармонічними коливаннями. Причиною поперечних рухів рукоятки лука є, очевидно, в першу чергу парадокс лучника, а не асиметричність лука, як вважалося до цього часу.

Розроблена модель дозволяє врахувати особливості техніки випуску тятиви і знаходити оптимальні для конкретного спортсмена і зброї, положення плунжера. Відповідна розрахункова методика враховує силу лука, жорсткісні та мас-інерційні характеристики стріли, форму її осі, початкове положення плунжера, його жорсткість і масу. Техніка випуску тятиви врахована боковим імпульсом сили, що передається гнізду тятиви при сковзуванні її з пальців правої руки стрільця.

Розрахунок плеча на гнучкість і міцність проведено з використанням наближеного енергетичного методу, що дозволяє отримати розв'язки завдання у замкненому аналітичному вигляді. Прийняті гіпотетичні форми зміни кута повороту поперечного перетину плеча призводять до похибок за переміщенням і силами у межах одного відсотку. За рахунок деякого ускладнення обчислювальних процедур із залученням числового методу і апроксимацією функцій кутів поліномами можна розв'язати завдання з будь-якою наперед заданою точністю. Виведені рекурентні залежності дають можливість отримати цілком задовільні за точністю результати при порівняно невеликому обсязі обчислень. Реалізація даного алгоритму у програмі для ПК демонструє практичну доцільність використання числових методів для аналізу роботи плеча спортивного лука.

Механіко-математична модель вільних коливань стріли (зовнішня балістика) досліджена методом Релея. В результаті обчислювального експерименту на ПК за спеціально розробленою програмою отримано залежності для частоти основного тону згинних коливань стріли.

Для розв'язання завдання оптимізації параметрів спортивного лука використана механіко-математична модель, що враховує інерційні і жорсткісні властивості плечей і тятиви.

Отже підсумовуючи викладене у цьому розділі можна констатувати, що окремі дослідження складних біомеханічних систем в лучному спорті мають фрагментарний характер. Основна частина робіт, присвячених техніці стрільби є методичними, в них майже повністю відсутні кількісні характеристики, не використовуються аналітичні методи дослідження. Практичні рекомендації, методики, засоби вдосконалення спортивної майстерності стрільців розробляються, виходячи з інтуїтивних уявлень спортсменів і тренерів, без достатнього наукового обґрунтування. Часто вони протирічать одне одному.

Теоретичні моделі в дослідженнях використовуються вкрай рідко і, в більшості наукових праць, обмежені елементарними статистичними методами.

Водночас існують обґрунтовані і теоретично коректні механіко-математичні моделі лука, стріли, плечей, кінематичних ланок стрільця та процесів внутрішньої і зовнішньої балістики, налаштування лука у вертикальній та горизонтальній площинах (Заневський, 1996). Проте виникають значні труднощі із впровадженням запропонованих моделей у практику стрільби з лука з огляду на їх складність. З іншого боку не

вказуються дидактичні моменти застосування механіко-математичних моделей.

За результатами аналізу спеціальної літератури з проблем моделювання складних біомеханічних систем в стрільбі з лука вважаємо за доцільне проведення подальших досліджень у напрямку створення системної моделі процесу підготовки стрільців з лука; моделі спортивної результативності (змагальної діяльності), біомеханічних моделей спортивної техніки; моделей різних сторін підготовленості, поєднання результатів акселерометричних, тензометричних та відеографічних досліджень з педагогічними оцінками техніки виконання пострілу.

### **Загальна модель формування спортивного результату у стрілецькому спорті**

У побудові складного педагогічного процесу підготовки спортсменів високої кваліфікації існує доцільність використання аналітичного підходу, який окрім всього іншого передбачає розподіл системи підготовки на складові з подальшим їх синтезом. Параметричні кількісні дані, подані у відповідній формі, а в даному випадку йдеться про моделі, які відіграють важливу роль в цьому процесі. Але методика узгодження моделей, що описує певну предметну область процесу формування високого спортивного результату практично не існує як в практиці так і в теорії. Тому нами запропоновано системну (загальну) пірамідоподібну модель формування спортивного результату лучників високої кваліфікації (рис.2.1). „Піраміда” складається з блоків, котрі є системами різних рівнів та узагальнень. Кожна з систем характеризується станом параметрів елементів, які її формують. Відповідні моделі описують параметри стану систем. При цьому основою піраміди є стан здоров'я спортсмена, який характеризується відповідними показниками.

На „фундамент піраміди” спираються інші системи формування спортивного результату. При цьому верхні блоки „піраміди” базуються на нижніх. Кожен з блоків піраміди характеризується надійністю та ступенем розвитку. Під надійністю, у загальному вигляді, будемо розуміти - здатність системи безвідмовно функціонувати протягом певного відрізка часу в заданих умовах. Поняття надійності асоціюється в нашій свідомості з ефективністю, безвідмовністю, досконалістю, стабільніс-

тю. Всі ці стани, властивості і якості не існують в “чистому” вигляді. Впливи зовнішнього і внутрішнього середовища тієї або іншої системи, впливаючи на елементи цієї системи, у результаті порушують її оптимальний стан. Виникають різного роду пошкодження, відмови, травми, помилки, дефекти, хвороби, флуктуації, збої, мутації. У Ешбі пов’язував властивість надійності зі стійкістю і відзначав, що ця властивість належить усій системі і не може бути приписаною до якоїсь її частини. Спортсмен володіє рядом біологічних (тобто притаманних людині як живому організму) властивостей, велика частина з яких є вродженими, а частина набутими: анатомічні, фізіологічні, психічні. Залежно від вимог, що висуваються в тих або інших видах спорту, усі ці властивості можна розбити на дві групи: основні властивості, які обов’язково необхідні для спортсменів даної спеціалізації, та другорядні. Розподіл на ці групи відносний і залежить від виду спортивної дисципліни.

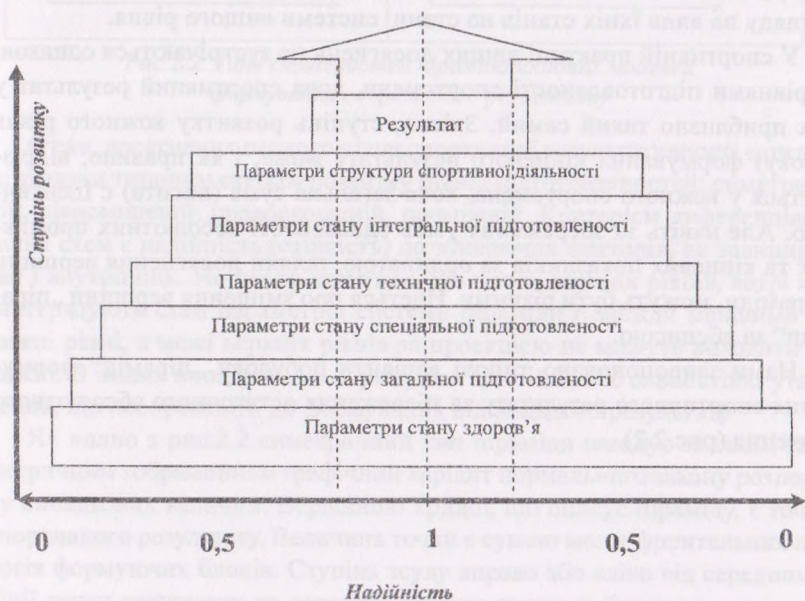


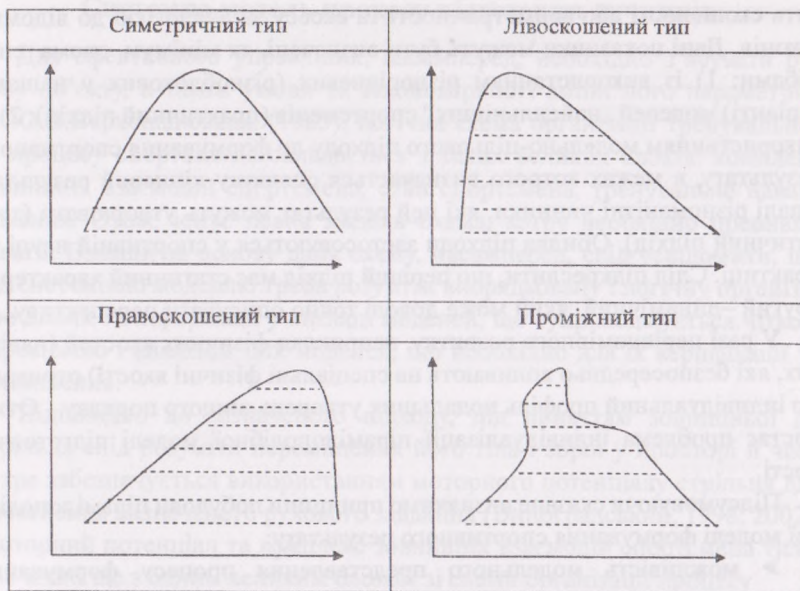
Рис. 2.1. Пірамідоподібна модель формування спортивного результату

Аналізуючи вплив та взаємозв'язок стану розвитку параметрів першого блоку „піраміди” на кінцевий спортивний результат, треба навести слова Г.Л.Опанасенка, який наголошує на тому що, в якості кількісної характеристики здоров'я спортсмена необхідно використовувати показники успішного виконання ним соціальної функції, тобто спортивного результату, оскільки спортивний результат – це не тільки абсолютні показники часу, маси, довжини, але й інтегральний показник стану всіх функцій, всіх рівнів організації фізіологічних систем і особистості спортсмена. З іншого боку, не можна не враховувати, що спортсмени, які досягають видатних спортивних результатів, зазнають навантаження, котрі для пересічної людини, як правило, є непосильними. Звідси, ступінь розвитку системи здоров'я (першого блоку), а також і інших блоків піраміди, з точки зору його впливу на кінцевий спортивний результат, повинен розглядатися як основа нарощування енергопотенціалу вищого блоку (Опанасенко, 2000). А отже виникає питання вибору параметрів, які б характеризували системи різних рівнів, тільки з огляду на вплив їхніх станів на стани системи вищого рівня.

У спортивній практиці вищих досягнень не зустрічаються однакові за рівнями підготовленості спортсмени, хоча спортивний результат у них приблизно такий самий. Звісно, ступінь розвитку кожного рівня (блоку) формування кінцевого результату може, і як правило, відрізняється у кожного спортсмена, хоча загальна сума (висота) є ідентичною. Але навіть за збереження умов однаковості абсолютних проміжних та кінцевих показників за ординатою, шляхи досягнення вершини „піраміди, можуть бути різними. Йдеться про зміщення вершини „піраміди” за абсцисою.

Нами запропоновано типові варіанти побудови „пірамід” формування спортивного результату за збереження остаточного абсолютного значення (рис.2.2).





*Рис. 2.2. Типи скошеностей пірамідоподібних моделей формування спортивного результату*

Отже, досягнення певного рівня спортивної результативності можливе завдяки типовим схемам розвитку рівнів підготовленостей: симетричній, лівоскошеній, правоскошеній, проміжній. Критерієм диференціації таких схем є надійність (стійкість) до збиваючих факторів, як зовнішніх так і внутрішніх. Не важко помітити, що площі верхніх рівнів, котрі характеризують стан параметрів системи піраміди є завжди меншими за нижні рівні, а межі верхніх рівнів за проекцією не можуть виходити за нижні. В інших випадках, ми отримуємо не стійкі, або слабостійкі утворення, що неспроможні до формування відповідного результату.

Як видно з рис.2.2 симетричний тип піраміди нагадує за своїм геометричним зображенням графічний варіант нормального закону розподілу випадкових величин. Вершиною кривої, що описує піраміду, є точка спортивного результату. Величина точки є сумою висот фронтальних порогів формуючих блоків. Ступінь зсуву вправо або вліво від серединної лінії точки результату та середніх значень кожного блоку характеризує надійність чи стійкість результату. Масмо можливість застосування по-

нять скошеності або асиметричності та ексесу за аналогією до відомих законів. Дані показники можуть бути визначені, як мінімум, двома способами: 1) із використанням різнорівневих (різноблокових у нашому варіанті) моделей „найсильніших” спортсменів (практичний підхід); 2) із використанням модельно-цільового підходу до формування спортивного результату, в межах котрого визначається спочатку кінцевий результат, а далі різноманітні чинники, які цей результат можуть утворювати (теоретичний підхід). Обидва підходи застосовуються у спортивній науці та практиці. Слід підкреслити, що перший підхід має статичний характер, а другий – динамічний, який може доволі точно описувати перспективу.

У разі нерівномірного розвитку, наприклад фізичних якостей (навіть тих, які безпосередньо впливають на спеціальні фізичні якості) отримуємо індивідуальний профіль подальших утворень вищого порядку. Отже постає проблема індивідуалізації пірамідоподібної моделі підготовленості.

Підсумовуючи сказане визначимо принципи побудови пірамідоподібної моделі формування спортивного результату:

- можливість модельного представлення процесу формування спортивного результату на основі побудови моделей підготовленості різної природи;
- використання показників надійності та ступеня розвитку для загальної ідентифікації пірамід;
- емерджентність процесів функціонування піраміди;
- поетапність трансформації біологічних блоків пірамідоподібної моделі у соціальні блоки за своїм наповненням;
- можливість прогнозування росту спортивного результату на основі змін стану підготовленості у кожному блоці піраміди;
- наявність детермінаційного зв'язку між блоками пірамідоподібної моделі;
- проєкційність укладення блоків піраміди, за якого межі блоку вищого рівня не можуть виходити за межі нижнього;
- індивідуальність та типовість профілів піраміди формування спортивного результату;
- динамічність процесів функціонування піраміди та гетерохронність змін між блоками;
- можливість математичного моделювання процесів функціонування блоків та піраміди.

### Системна модель процесу підготовки лучників

Для ефективного управління, насамперед, необхідно з'ясувати будову об'єкту, а також умови та закономірності зміни його параметрів. За Ю.В.Верхошанським (1985), логічна схема організації тренувально-го процесу спортсменів складається з таких великих блоків: комплекс зовнішніх взаємодій спортсмена, стан спортсмена, тренувальне навантаження. Отож, існує певна модель-схема, котру необхідно проаналізувати. Взнявши за основу дану схему, насамперед, слід усвідомити, що під системною моделлю треба розуміти впорядковану і логічну організацію даних та інформації у вигляді моделей, що супроводжується чіткою перевіркою і аналізом цих моделей, що необхідно для їх верифікації та поліпшення.

Відповідно до зазначеного підходу, під поняттям зовнішньої дії стрільця слід розуміти переміщення його тіла і зброї у просторі й часі, котре забезпечується використанням моторного потенціалу стрільця для досягнення визначеного рухового завдання (Виноградський, 1998, 2002). Моторний потенціал та комплекс зовнішніх взаємодій спортсмена тісно пов'язані ще з одним великим блоком зі схеми організації процесу

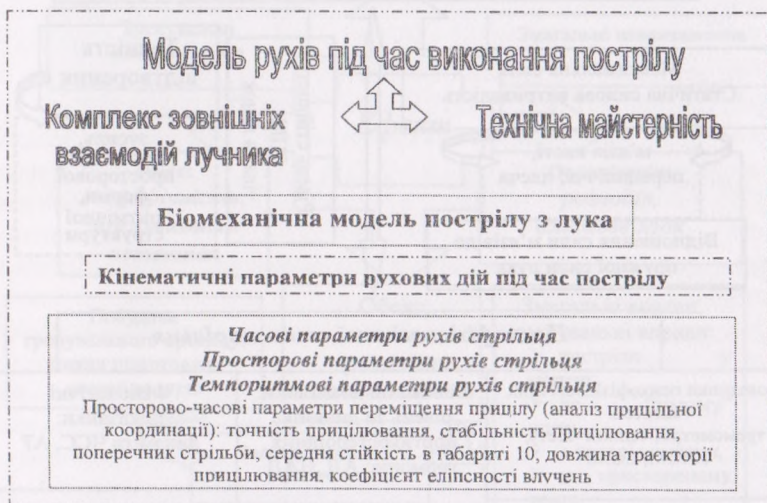


Рис. 2.3 Структура моделі спортивної результативності лучників

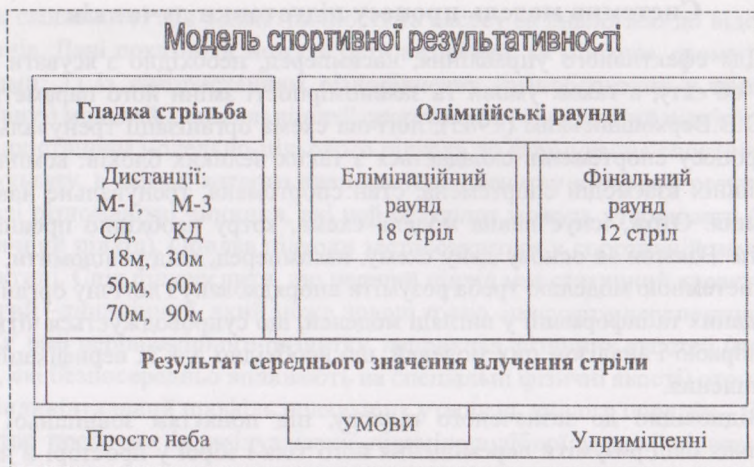


Рис. 2.4. Структура моделі рухів виконання змагальної вправи

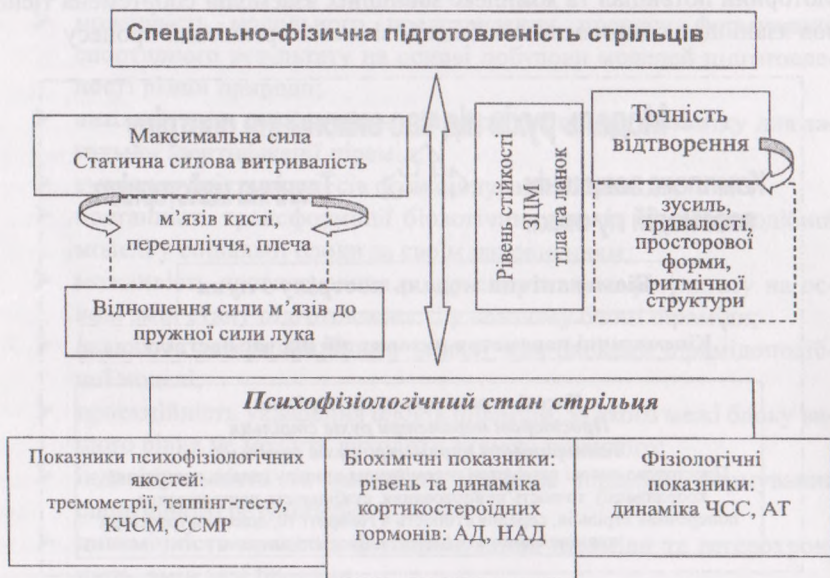


Рис. 2.5. Структура моделі спеціальної фізичної підготовки лучників

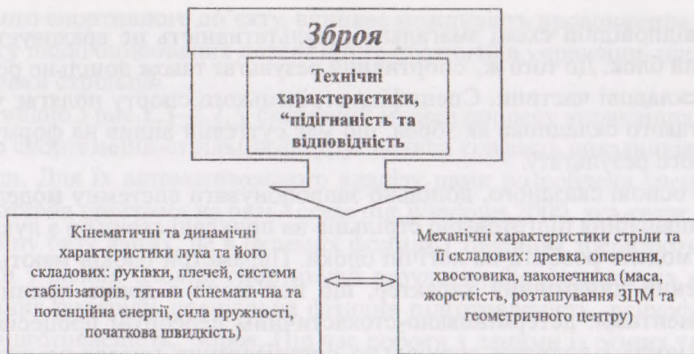


Рис.2.6. Структура моделі підсистеми "зброя"

підготовки тренувальним навантаженням. Великі блоки розкладаються на відповідні складники, які для кількісного аналізу мають параметричний характер.



Рис.2.7. Структура моделі тренувального навантаження лучників

У відповідній схемі змагальна результативність не враховується як окремих блок. До того ж, спортивний результат також доцільно розбивати на складові частини. Специфіка стрілецького спорту полягає у наявності такого складника як зброя, що має суттєвий вплив на формування кінцевого результату.

На основі сказаного, доцільно запропонувати системну модель процесу управління підготовкою стрільців на прикладі стрільби з лука. Системна модель розбита на логічні блоки. Параметри блоків мають добре виражений динамічний характер, що пов'язано з двома принциповими моментами: детерміновано-стохастичним перебігом процесів життєдіяльності і впливом спеціально організованих управлінських дій з боку тренера чи спортсмена. Вивчення динаміки таких систем будується на теорії сервомеханізмів. По суті йдеться про моделювання великої кількості параметрів, що мають різну ступінь узагальнення та різний вплив на спортивний результат. Математична модель відображає реальну систему з тою мірою точності, з якою рівняння описують властивості компонентів. Це найбільше стосується моделювання педагогічних впливів та стану підготовленості, з їх конкретним детерміністичним впливом на влучення у мішень. Динамічні моделі для опису процесу управління підготовкою спортсменів у стрілецьких видах спорту відрізняються значною гнучкістю у використанні методів опису динаміки системи, котра включає нелінійні реакції компонентів на змінні, які є залежними (показники спортивного результату), а також позитивні і негативні зворотні зв'язки. Проте, зрозуміло, що практично неможливо врахувати рівняння усіх компонентів системи (рис.2.3–2.7), і навіть за наявності сучасної комп'ютерної техніки її імітація є дуже складною. Тому необхідно використати певну абстрактну імітаційну модель щодо визначення вагомості внеску компонентів управлінських дій та параметрів станів стрільців для досягнення результативного влучення.

При використанні системної динаміки під час моделювання слід виділити три етапи. По-перше, необхідно виокремити ті динамічні властивості системи, котрі мають суттєвий вплив на кінцевий спортивний результат. На основі власного практичного досвіду та аналізу літературних джерел, на рис.2.3–2.7 подаються параметри, що мають суттєвий вплив на результат стрільби, а отже потребують включення до моделей.

По-друге, імітаційна модель має бути побудована так, щоб вона дублювала елементи поведінки і взаємодій чинників, котрі визначені, як суттєві. По-третє, у разі виявлення системної моделі достатньо близької до

реального спортивного об'єкту, виникає можливість продовження експерименту щодо оцінювання потенційних стратегій в управлінні процесом підготовки стрільців.

Як видно з рис.2.3–2.7, у системній моделі процесу управління підготовкою спортсменів-стрільців фігурує велика кількість показників різної природи. Для їх автоматизованого аналізу нами розроблена спеціальна комп'ютерна програма на базі Access під Windows 2000, яка являє собою реляційну базу даних, де в окремих формах і таблицях зберігаються показники з різних блоків: спортивний результат, біокінематична модель виконання пострілу, спеціальна фізична підготовленість, психофізіологічна підготовленість, зброя. Під час роботи з даними із різних таблиць встановлені зв'язки між таблицями.

У розроблені форми вводяться дані, котрі можуть бути посортовані та проаналізовані за допомогою створення запиту. В запиті вказується, які критерії необхідно взяти для аналізу. Звідси, можливий аналіз необхідних параметрів у динаміці.

Дослідження показали, що існують складні взаємовідношення між якісними і кількісними параметрами всередині окремих блоків та між блоками в логічній схемі системної моделі. Вони полягають у нелінійності залежностей, детермінаційно-стохастичному впливові одних характеристик на інші, наявності нечітких граничних моментів. Подальші дослідження спрямовані на збір і порівняльний та динамічний аналіз параметричних даних, які характеризують властивості елементів в блоках системної моделі підготовки.

### **Підходи та принципи моделювання складних систем стрілецького спорту**

Для того щоб керувати станом підготовленості спортсмена необхідно знати і передбачати його динаміку у разі різних можливих зовнішніх впливів на нього, тобто мати адекватну модель. Зрозуміло, що в простих процесах будуть і прості моделі. Але якщо, поведінку об'єкта (стан підготовленості) визначати не тільки поточним станом впливів на нього певних зовнішніх чинників, але й таким, що залежить від попередніх значень (система підготовки), тобто об'єкт за своєю природою є динамічний, тоді математичні моделі також будуть набагато складніші, і можуть описуватися з використанням системи диференційованих чи інтегрованих моделей.

Як вже наводилося вище, при дослідженні складних спортивних систем з використанням методів математичного моделювання виникає низка проблем, зумовлених великою розмірністю завдання і необхідністю обліку значної кількості чинників, що характеризують систему і впливають на якість вирішення завдання.

При дослідженні складних систем у спорті пропонується використовувати аналітичні й імітаційні методи моделювання (Юзвішин, 1996; Юнг, 1997; Бажин, 2004).

Однією з основних вимог, що висуваються до моделі, є її адекватність реальній системі, котра досягається за рахунок використання моделей з різним рівнем деталізації, залежним від особливостей структурно-функціональної організації системи і мети дослідження. Процеси функціонування реальних систем неможливо описати повно і детально, що зумовлюється істотною складністю таких систем. Основна проблема при розробці моделі полягає в знаходженні компромісу між простотою її опису і необхідністю обліку численних особливостей, властивих реальним системам. Спроба побудувати єдину універсальну модель приречена на невдачу, зважаючи на її неозорість і неможливість розрахунку.

Математичне моделювання складних систем спорту має базуватися на ряді принципів, що забезпечують коректність і достовірність результатів моделювання і, кінцею кінцем, якісне проектування систем. Серед цих принципів можна виділити три основні:

- 1) системний підхід при розв'язанні завдань аналізу і синтезу;
- 2) принцип ієрархічного багаторівневого моделювання;
- 3) принцип множинності моделей.

В основі дослідження складних систем спорту з використанням математичного моделювання лежить системний підхід, кінцевою метою якого є проектування, спрямоване на побудову системи із заданою якістю. Для розв'язання завдань проектування необхідно мати в своєму розпорядженні знання про те, як впливають різні способи структурно-функціональної організації на характеристики функціонування системи.

Принцип ієрархічного багаторівневого моделювання базується на ієрархічному описі досліджуваної системи і процесів, що відбуваються в них. При цьому система і процеси, що відбуваються у ній, представляються сімейством моделей, кожна з яких описує поведінку системи з точки зору різних рівнів абстрагування, відмінних рядом характерних особливостей і параметрів, за допомогою яких і описується поведінка системи.



Стосовно моделей складних стрілецьких систем з дискретним характером контролю (структурні елементи тренувального процесу) пропонується виділити два напрями ієрархії:

1) ієрархія по вертикалі, в якій розподіл моделей за рівнями здійснюється залежно від структурно-функціональних особливостей системи;

2) ієрархія по горизонталі, в якій розподіл моделей за рівнями здійснюється залежно від методів їхнього дослідження.

В ієрархії по вертикалі, в загальному випадку, можна виділити три рівні моделей:

- базових моделей, що містить найпростіші моделі (модельні характеристики), на основі яких будуються і можуть бути розраховані інші більш складні моделі другого і третього рівнів;
- локальних моделей, що відображають окремі особливості структурно-функціональної організації систем і дозволяють вирішувати окремі завдання аналізу і синтезу;
- глобальних (системних) моделей, найбільш повно відображають структурні і функціональні особливості організації досліджуваних систем і є моделями з високим ступенем деталізації. Глобальні моделі будуються на основі базових і локальних моделей.

Ієрархія по горизонталі включає чотири рівні моделей залежно від методів їхнього дослідження:

- моделі, що піддаються точному розрахунку, котрий дозволяє отримати результати або аналітично в явному вигляді, або числовому з використанням числових методів аналізу;
- моделі, що піддаються наближеному аналітичному розрахунку з прийнятною для інженерних застосувань точністю, причому результати можуть бути отримані або в явному вигляді, або у вигляді меж (верхньою і нижньою);
- моделі, що вимагають застосування статистичних методів розрахунку, заснованих на імітаційному моделюванні;
- моделі, що використовують аналітико - імітаційні методи розрахунку.

Базові моделі припускають застосування точних і наближених аналітичних методів і дозволяють отримати результат в явному вигляді. Локальні моделі звичайно передбачають застосування методів імітацій, а глобальні – разом з перерахованими методами моделювання можуть

використовувати аналітико - імітаційні методи. На практиці під час дослідження складних систем найефективнішим є комбінований підхід до моделювання, заснований на застосуванні на різних етапах дослідження різних моделей і методів моделювання. Так на етапах аналізу властивостей системи і синтезу відповідно до заданого критерію ефективності оптимальної системи доцільно використовувати моделі, що піддаються точному або наближеному аналітичному розрахунку. Імітаційне моделювання звичайно застосовується для використання наближених методів і детального аналізу властивостей і потенційних можливостей спроектованої системи на моделях великої складності, а також з метою розробки на основі отриманих результатів наближених та евристичних методів розрахунку.

Основна перевага імітаційного моделювання полягає в універсальності, тобто в можливості дослідження систем практично будь-якої складності з будь-яким ступенем деталізації. Стосовно моделювання складних систем стрілецького спорту ця універсальність виявляється в можливості дослідження властивостей систем за будь-яких законах розподілу випадкових величин, що описують, зокрема, інтервали часу між точками контролю. Крім того, імітаційне моделювання надає можливість аналізу різних спеціальних параметрів які, важко піддаються аналітичному опису. Проте на практиці виявляється, що і імітаційне моделювання має певні обмеження, зумовлені як можливостями засобів обчислювальної техніки, за допомогою яких реалізується імітаційна модель, так і властивими імітаційному моделюванню обмеженнями. До основних обмежень, можемо віднести те, що імітаційне моделювання не дозволяє, в загальному випадку, вирішувати завдання оптимального синтезу (проекування), тоді як застосування аналітичного моделювання навіть з використанням наближених методів дозволяє отримати, хай і не точне, але розв'язання в явному вигляді, яке надалі може уточнюватися на основі імітаційного моделювання.

Взаємодія моделей різних рівнів ієрархії здійснюється шляхом перерахунку характеристик, отриманих на одному рівні, в параметри моделі, використовуваної на іншому (сусідньому) рівні. На кожному рівні можна використовувати різні моделі. Склад моделей кожного рівня залежить від структурно-функціональної організації системи і мети дослідження. Останнє також визначає ступінь деталізації моделей одного рівня.

Для правильної і доступної параметризації моделей різних рівнів, а в даному випадку за приклад беруться моделі загальнофізичної та спеціальнофізичної підготовленості лучників, нами розроблені таблиці фізичних величин таким чином, щоб зберігаючи принципи доступності і простоти контролю та вимірювань, високої інформативності, забезпечити коректний взаємозв'язок фізичних величин, що формують сусідні блоки глобальної (системної) моделі (таблиці 2.1, 2.2).

До блоку загально фізичної підготовленості увійшли три показники, котрі характеризують рівень розвитку силових характеристик та характеристик витривалості м'язів верхніх кінцівок і тулуба, що зумовлено залученням зазначених м'язів до виконання змагальної вправи під час стрільби з лука. Максимальна сила  $F_{\max}$  визначалася в режимі імітації розтягу лука–динамометра. Також фіксувалися два показники витривалості – максимальний час утримання лука у розтягнутому стані та максимальна кількість разів натягування лука на індивідуальну величину розтягу. Перший показник витривалості асоціюється з такою фізичною величиною як – робота ( $P$ ) і має розмірність  $\text{кг}\times\text{м}$ . Він характеризує здатність лучника виконувати динамічну роботу з луком у неспецифічних ситуаціях. Другий показник характеризує можливість лучника виконувати статичну роботу з луком у неспецифічних умовах, і є фізичною величиною – імпульсом сили, маючи розмірність  $\text{кг}\times\text{с}$ .

Блок спеціально фізичної підготовленості лучника сформований на основі чотирьох показників, що є характеристиками трьох специфічних фізичних якостей, необхідних для ефективного виконання змагальної вправи. Визначалися відносні силові характеристики м'язів верхніх кінцівок шляхом розрахунку коефіцієнта співвідношення показника максимальної сили м'язів, котрі беруть участь в натягуванні лука до сили лука в момент індивідуальної величини розтягу. Отримуємо безрозмірну величину -  $K(\text{м}/\text{а})$ . Аналогічним чином визначається показник співвідношення відтвореної сили м'язів до сили лука, який є характеристикою специфічних відчуттів – м'язової чутливості. Відтворення виконувалося шляхом репродукування зусилля максимально наближеного за силою розтягу до індивідуального „бойового” лука на луці–динамометрі. З метою отримання абсолютних величин можна застосувати показник різниці відтвореної сили м'язів до сили лука, який буде виражений в  $\text{кг}$  сили ( $\Delta F$ ). Для характеристики спеціальної силової витривалості використо-

ується контроль часу утримання розтягнутого лука на індивідуальну величину, але в умовах збереження точки прицілювання в жовтому колі мішені на певній дистанції (наприклад на 18 м). При цьому застосовувався додатковий пристрій типу указки–лазара, який прикріплювався до планки виносного прицілу на руківці лука.

Таблиця 2.1

## Типові параметри блоку ЗФП

Якості, що формують блок	Показники, що вимірюються	Фізична величина	Позначення	Методика визначення
Силкові характеристики м'язів верхніх кінцівок і тулуба	Максимальна абсолютна сила м'язів, що беруть участь в натягуванні лука	Максимальна сила	F(max)	Динамометрія (тензометрія п'езометрія)
Витривалість до виконання роботи м'язів верхніх кінцівок і тулуба	Максимальна кількість разів натягування лука (N) на індивідуальну величину розтягу	Робота	P	$P = F(\text{лука}) \times N \times L$
	Максимальний час утримання лука (t)	Імпульс сили	I	$I = F(\text{лука}) \times t$

Такий підхід дозволяє нам використовувати аналітико-імітаційне моделювання не окремих підсистем (блоків) складної ієрархічної моделі підготовленості лучника, але й, в подальшому, запропонувати загальну модель, з певним набором взаємопов'язаних параметрів. Така модель могла б відповідати вимогам динамічності, передбачуваності, і відповідно прогнозованості у поведінці. Звідси, з'являється теоретико-методична основа побудови тренувального процесу в чіткому кількісному вимірі.

Але існує і принципово інший підхід до формалізації та подальшого створення моделі системи "стрілець–зброя–мішень". Її можна спрости-

ти – так: підсистема “зброя–мішень” є об’єкт моделювання, а все, що не включено в цю підсистему, але взаємодіє з нею або взаємовпливає на неї, будемо називати зовнішнім середовищем. Зовнішнім середовищем відносно системи, таким чином, є людина та оточуюче середовище, яке характеризується температурою, тиском, вологістю, дією сил тяжіння та сили вітру.

Таблиця 2.2

Типові параметри блоку СФП

Якості, що формують блок	Показники, що вимірюються	Фізична величина	Позначення	Методика визначення
Відносні силові характеристики м’язів верхніх кінцівок	Співвідношення максимальної абсолютної сила м’язів, що беруть участь в натягування лука до сили	Відносна сила	$K(m/a)$	Динамометрія (тензометрія п’єзометрія) $K(m/a) = F(max)/F(лука)$
М’язова чутливість (силова)	Співвідношення відтвореної сили м’язів до сили лука	Відносна силова похибка	$K(v/a)$	$K(v/a) = F(відт) / F(лука)$
	Різниця відтвореної сили м’язів до сили лука	Абсолютна силова похибка	$\Delta F$	$\Delta F = F(відт) - F(лука)$
Спеціальна силова витривалість	Час утримання точки прицілювання в „жовтому” полі мішені	Імпульс сили утримання	$I(y)$	$I(y) = F(лука) \times t(y)$

Взаємодію об’єкта моделювання з зовнішнім середовищем будемо розглядати у деякому наближенні як дію певних сил (або тисків), що йдуть від людини і сил вітру та тяжіння.

Надалі у разі розгляду певної фізико-математичної або механіко-математичні моделі, то для опису стану системи використовуватимемо певні рівняння (досить часто диференціальні рівняння у частинних похідних), котрі для однозначності розв’язку треба доповнити відповід-

ними крайовими (початковими та граничними) умовами. Якщо модель описується диференціальними рівняннями у частинних похідних другого порядку (один з найбільш часто існуючих випадків), то початкові умови даються на функції стану та її похідні, а граничні умови як залежність між деякими параметрами стану та їх похідних. Розглянемо модель дії зовнішніх сил на об'єкт моделювання на прикладі кульової стрільби (рис.2.8).

Дію людини на спусковий гачок (сила або тиск), а також тиск вітру на зброю у досить загальному випадку можна записати у вигляді

$$p(t) = p_0(t) [S(t - t_1) - S(t - t_2)], \quad (2.1)$$

де  $p, p_0$  — тиск;  $t$  — час,  $t_1, t_2$  — час початку та кінця дії імпульсу.

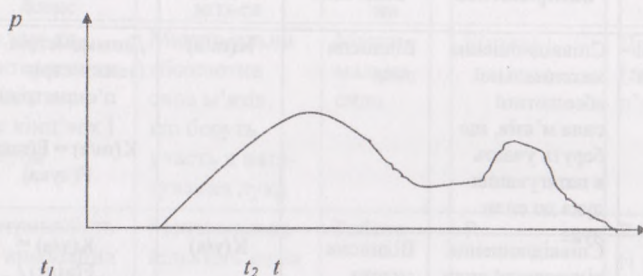


Рис.2.8. Графічна модель дії зовнішніх сил (імпульс вітру) на зброю

Зупинимося на вивченні об'єкту керування “стрілець–зброя–мішень” при зовнішніх діях, з метою отримання інформації про процеси, що відбуваються у системі та розробці керуючих дій.

На першому етапі можна розглядати систему “стрілець–зброя–мішень”, як чорний ящик, в якому є безмежна кількість параметрів входу, а виходом є певний (або запланований) результат. Нам треба деталізувати параметри входу (точніше підсистему, яку вміємо описати) та змоделювати систему ефективних рухових дій стрільця. В стрільбі вхідними параметрами в систему “стрілець–зброя–мішень” є, наприклад, підсистеми параметрів, котрі пов’язані з внутрішньою та зовнішньою балістикою зброї, зі снарядом, а також рухом мішені в загальному випадку.

Наведемо для прикладу систему вхідних параметрів, котрі пов’язані тільки з процесами, що вивчає внутрішня балістика. Такими параметрами є: тиск форсування; дульний тиск; дульна швидкість; мак-

симальний тиск в каналі ствола; максимальна швидкість снаряду; початкова швидкість снаряду; сила віддачі. Існує також варіабельність величин, котрі впливають на зміну початкової швидкості дробового снаряду в стендовій стрільбі: різниця в довжині ствола; різниця в середньому діаметрі патронника або гільзи; різниця в діаметрі каналу ствола; різниця в довжині перехідного конуса від патронника до каналу ствола; різні сорти капсулів; різниця у формі дна гільзи; різні партії виготовлення сорту пороху; різні об'єми порохової камери гільзи; різна пружність пижів; різниця в 0,5 мм в діаметрі дробу; різна твердість дробу; різниця в 100С в температурі; різниця в 0,05 г у масі бездимного пороху; різниця в 0,5 г у масі заряду дробу.

Не менше параметрів можна ввести в розгляд і з зовнішньої балістики, а також враховуючи взаємодію та взаємозв'язок між підсистемами.

Для оцінки і розрахунку основних процесів, зокрема, залежностей характеристик конструкції та  $p=p(l)$ ,  $v=v(l)$  або  $p=p(t)$ ,  $v=v(t)$ , використовуються рівняння газової динаміки.

В основі рівнянь газової динаміки є постулати термодинаміки, закони збереження і рівняння стану. Основні постулати термодинаміки зводяться до можливості макроскопічного опису стану реальних фізичних систем, у даному випадку суміші повітря і порохових газів, за допомогою внутрішньої енергії  $U$  та спряжених параметрів, зміна яких визначає і зміну внутрішньої енергії повністю:

$$T-S, P-V, \mu_k - m_k, k=1, k, \quad (2.2)$$

де,  $T$  — абсолютна температура;  $S$  — ентропія;  $P$  — тиск;  $V$  — об'єм;  $\mu_k$  — хімічний потенціал компоненти  $k$  суміші;  $m_k$  — його маса ( $m = \sum_k m_k$  — повна маса суміші в об'ємі  $V$ ).

У багатьох практично важливих випадках суміш повітря і порохових газів у стволі можна розглядати у наближенні ідеальних чи реальних газів.

У зв'язку з цим часто можемо приймати, що (закон Дальтона)

$$P = \sum_k P_k, \quad (2.3)$$

де парціальний тиск  $P_k$ , наприклад, у наближенні ідеальних газів, визначається з рівняння Клапейрона-Менделєєва

$$P_k = \frac{\rho_k RT}{\mu_k}, \quad (2.4)$$

де  $\rho_k = \frac{m_k}{V}$  — густина компоненти  $k$ ;

$M_k$  - атомна вага хімічної речовини компонента  $k$ ;

$R$  - універсальна газова стала.

Підкреслимо, що більш загальних випадків замість співвідношень (2,3) і (2,4) слід використовувати рівняння стану для режимів газу.

Перший закон термодинаміки формулюється у вигляді

$$dU = d'Q + d'A + d'E_m, \quad (2.5)$$

де  $dU$  — інфінітимально мала зміна внутрішньої енергії системи при зміні ентропії на  $dS$ , об'єму на  $dV$  і мас компонент на  $dm_k, k=1, K$ ;

$$dU = U(S + dS, V + dV, \{m_k + dm_k\}) - U(S, V, \{m_k\}), \quad (2.6)$$

$d'A$  — зміна енергії системи внаслідок виконання механічної роботи над системою, за умов тиску у зовнішньому середовищі  $P^z$

$$d'A = P^z dV, \quad (2.7)$$

$dE_m$  — зміна енергії системи в результаті обміну маси із зовнішнім середовищем, хімічні потенціали компонент в якому  $\mu_k^z (k=1, K)$

$$d'E_m = \sum_{k=1}^K \mu_k^z dm_k, \quad (2.8)$$

$d'Q$  — обмін енергією у формі тепла між системою і зовнішнім середовищем за умови справедливості виразів (6) і (7). При цьому індексом  $z$  відмічено значення відповідних параметрів зовнішнього середовища. Відносно відкритих систем, зазвичай, розуміють, що кожна компонента системи, присутня і у зовнішньому середовищі.

Підкреслимо, що у загальному випадку

$$P^z \neq P, \mu_k^z \neq \mu_k, k = \overline{1, K}, \quad (2.9)$$

тобто тиск і хімічні потенціали компонент у зовнішньому середовищі і системі відрізняються.



За умов механічної рівноваги системи і зовнішнього середовища

$$P^z = -P, \quad (2.10)$$

а також рівноваги щодо обміну масою

$$\mu_u^z = \mu_k, k = \overline{1, K}, \quad (2.11)$$

з другого закону термодинаміки випливає, що обмін енергією у формі тепла  $dQ$  можемо подати у вигляді

$$d'Q = Tds, \quad (2.12)$$

Тоді з першого закону термодинаміки (2.5), виразів для роботи (2.7) і обміну енергією при зміні маси (2.8), умов (2.10) і (2.11), другого закону термодинаміки (2.12), випливає рівняння Гіббса

$$dU = Tds - PdV + \sum_{k=1}^K \mu_k dm_k, \quad (2.13)$$

Отримане рівняння є основним для всього наступного термодинамічного аналізу поведінки реальних газів.

Підкреслимо, що всі величини (2.2), як і записані співвідношення (2.3)-(2.13) для них, можуть застосовуватись, як для певної (подумки виділеної) частини об'єму ствола, зайнятого газового сумішшю, так і для всього об'єму.

Для аналізу рівнянь стану зручно також використовувати, як термодинамічний потенціал системи, вільну енергію Гіббса

$$G = U - TS + PV, \quad (2.14)$$

для якої рівняння (2.13) набуває вигляду

$$dG = -SdT + VdP + \sum_{k=1}^K \mu_k dm_k, \quad (2.15)$$

Якщо з хіміко-калориметричних вимірювань визначена залежність

$$G = G(T, P, \{m_k\}), \quad (2.16)$$

то рівняння стану отримується з співвідношення Гіббса (2.15) у формі

$$-S = \left( \frac{\partial G_1}{\partial T} \right)_{p, m_k}, V = \left( \frac{\partial G_1}{\partial T} \right)_{p, m_k}, \mu_k = \left( \frac{\partial G_1}{\partial m_n} \right)_{T, p, m_{l \neq k}}, \quad (2.17)$$

тобто у вигляді залежностей

$$S = S(T, P, \{m_k\}), \mu_k = \mu_k(T, P, \{m_k\}), V = V(T, P, \{m_k\}), k = \overline{1, K}. \quad (2.18)$$

При цьому, часто, ентропія  $S$  і хімічні потенціали  $M_k$  мас компонент можуть задаватись простою залежністю через теплоємності, коефіцієнти стисливості, енергії активності, тощо.

Крім рівнянь стану (2.18) при дослідженні зв'язків параметрів (2.2) для порохових газів у стволі рушниці може представляти інтерес зв'язок між ними для адиабатичного процесу.

У випадку адиабатичного процесу виконуються умови

$$d'Q = 0, d'E_m = 0, \quad (2.19)$$

або для процесів, за котрих виконуються рівності (2.10), (2.11) і (2.12), ці умови будуть

$$S = const, m_k = const, k = \overline{1, K}, \quad (2.20)$$

Тому останні процеси ще називаються ізентропійними.

З рівняння Гібса (2.13) за умов (2.20) маємо

$$dU = -PdV, \quad (2.21)$$

Скористаємось далі залежностями

$$dU = C_v dT, PV = nRT, \quad (2.22)$$

а також співвідношенням Мейєра

$$C_p - C_v = nR, \quad (2.23)$$

справедливими для суміші ідеальних газів.

Тут  $C_v$  і  $C_p$  - теплоємності системи при постійних об'ємі та тиску;

$$n = \sum_{k=1}^K n_k, n_k = \frac{m_k}{M_k} \text{ - кількість молів компоненти } k.$$

Із рівнянь (2.21) і (2.22) маємо

$$C_v dT = -\frac{nRT}{V} dV, \quad (2.24)$$

або

$$C_v \frac{dT}{T} = -(C_p - C_v) \frac{dV}{V}, \quad (2.25)$$

або

$$\frac{dT}{T} = (1-\gamma) \frac{dV}{V}, \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v}. \quad (2.26)$$

Після розв'язання останнього виразу отримаємо

$$TV^{\gamma-1} = const, \quad (2.27)$$

Стала у цьому виразі може бути визначена через значення температури  $T_0$  і об'єму  $V_0$  у деякому початковому стані. Тоді зв'язок між температурною  $T$  і об'ємом  $V$  для довільного стану (моменту часу) буде

$$TV^{\gamma-1} = T_0 V_0^{\gamma-1}, \quad (2.28)$$

У випадку суміші повітря і порохових газів певний інтерес становить також зв'язок тиску  $P$  і об'єму  $V$  у стволі рушниці. Коли за допомогою формул (2.22) і (2.23) виключити температуру  $T$  у рівнянні (2.28), то знайдемо

$$PV^{\gamma} = P_0 V_0^{\gamma}, \quad (2.29)$$

Отримане рівняння носить назву рівняння Пунсона.

Аналогічно, шляхом виключення об'єму  $V$  з рівняння (2.28) з допомогою формул (2.22) і (2.23) можемо знайти конкретний зв'язок між температурою  $T$  і тиском  $P$ .

Якщо площу поперечного перерізу ствола прийняти сталою, то формули (2.28) і (2.29) можуть бути подані у формі

$$Tl^{\gamma-1} = T_0 l_0^{\gamma-1}, P l^{\gamma} = P_0 l_0^{\gamma}, \quad (2.30)$$

де під  $l_0$  і  $l$  слід розуміти початкове і актуальне положення кулі.

Зв'язки (2.30) без принципових труднощів узагальнюються на випадок необхідності врахування особливостей реальних газів та ство-

ла рушниці. За певної модифікації їх можна використовувати і на етапі горіння пороху.

### **Теоретико-методологічні основи моделювання біомеханічної системи «лучник–лук»**

Створення моделей біомеханічних систем в спорті ґрунтується на двох типах інформації: теоретичних знаннях про рухову дію, що вивчається, і експериментальні дані, отримані методами відеоаналізу, електроміографії, гоніометрії тощо.

Оскільки модель є спрощеним відображення рухової дії, необхідно на початковій стадії моделювання визначити істотні і неістотні складові моделі, тобто вирішити, які параметри включати в модель, а якими нехтувати. Чим простіша модель, тим швидше її можна створити і тим менша ймовірність виникнення помилок. Баланс між комплексністю моделі і її інформаційною значущістю залежить від мети моделювання. Модель, що працює за системою “чорного ящика” і функціонує в реальному режимі часу, в деяких випадках є набагато кориснішою від найдокладнішої моделі, що потребує багатогодинних розрахунків.

Перш ніж моделювати таку складну систему, як тіло людини, необхідно визначити мету моделювання і базуючись на ній вибрати модель. Структура моделі повинна включати певне число ланок, типи суглобів, кількість задіяних актонів тощо. Якщо уявити достатньо повну модель тіла людини, у склад якої входять кістки хребта, черепа, верхньої і нижньої кінцівок, то така модель складатиметься більш ніж з 80 твердих тіл і може мати до 250 степенів свободи. Створення математичного алгоритму функціонування такої комплексної моделі є завданням достатньо важким. Нині однією з найповніших моделей тіла спортсмена є 16-17-ланкові моделі з 40-44 ступенями свободи (Алешинский, 1978; Вукобратович, 1976).

Дослідження рухових дій спортсмена за допомогою плоскої багатоланкової моделі формулюється як у вигляді прямої, так і зворотної задачі механіки. Під час розв’язанні прямої задачі механіки вводять початкову конфігурацію системи, а також вектор управління. Потім з використанням чисельного інтегрування системи диференціальних рівнянь знаходять кінцеву конфігурацію системи а також кінематичні і динамічні

траєкторії (Зинковский, Шолуха, 1992; ByoungHwa Ahn, Gye-San Lee, Wo-Yeo Kim, 1993). Для того, щоб під час розв'язку не були спотворені фізіологічні параметри, встановлюють певні обмеження на кінематичні і динамічні параметри моделі.

Під час розв'язку зворотної задачі механіки за відомими кінематичними параметрами знаходяться сили та моменти сил, що спричиняють цей рух. Особлива увага при такому способі моделювання надається рівнянням або системам рівнянь. Вони повинні якомога точніше описувати біологічну систему з врахуванням фізичних, анатомічних і фізіологічних параметрів.

Під час розв'язку як прямої, так і зворотної задачі механіки припустимо що:

- сегменти тіла спортсмена (включаючи тулуб) абсолютно тверді;
- всі суглоби ідеальні;
- довжини сегментів, розташування центрів мас відомі;
- визначені лінійна і кутова кінематика ланок тіла;
- маси, моментів інерції ланок тіла відомі;
- сили реакції прикладені в центрах обертання в суглобах;
- моменти управління є функціями сил міжланкових реакцій, кутів та кутових швидкостей;
- сили опору зовнішнього середовища відомі.

Після створення антропоморфної моделі необхідно вибрати систему управління ланками тіла. Найбільш простою схемою управління рухами є використання твердих ланок з відповідними приводами (актонами), що генерують моменти сил в шарнірах. Кожен привід створює момент сили відносно осі обертання в суглобі. Схема управління приводами заснована на реципрокному гальмуванні антагоністів, тобто момент сили створюють тільки м'язи-синергісти (Зациорский, 1981, 1984).

Моделлю опорно-рухового апарату обрано 15-ланковий розгалужений кінематичний ланцюг, що за масо-інерційними і геометричними характеристиками відповідає великим сегментам тіла спортсмена, а шарніри – основним суглобам (Зациорский, Атков, 1990) (рис. 2.9).

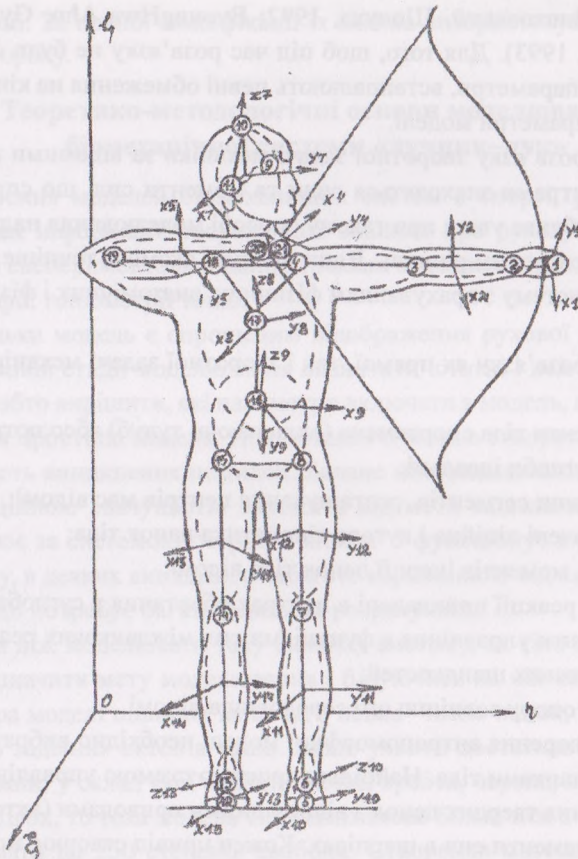


Рис. 2.9. Модель опорно-рухового апарату стрільця під час виконання змагальної вправи

Удосконалення техніки стрільби з лука варто розглядати крізь призму ефективності функціонування м'язів плечового поясу, а також збереження змагальної пози (стіжки). Проте розглядаючи роботу м'язів верхнього поясу, було з'ясовано, що офіційна номенклатура м'язів не прямопропорційно відображає їхні функціональні характеристики. Зокрема, передня і задня частина дельтоподібного м'язу відповідають за виконання різних рухових завдань. Тому структурне наповнення м'язу – актон – доцільно

розглядати як «біологічний двигун». Актон – це волокна, що генерують моменти сил і працюють синергетично стосовно до центру суглоба.

Провівши біомеханічний аналіз будови верхнього поясу, досліджено, що верхня кінцівка складається з 22 суглобів з 30-ма ступенями свободи і 66-ма актонами (В.М.Зациорский, С.Ю.Алешинский, Н.А.Якунин, 1982).

Визначення суглобових сил і моментів ґрунтується на послідовному розгляді кінетостатичної рівноваги ланок моделі, які звільнені від суглобових зв'язків. Оскільки рівняння, укладене для всіх ланок вибраної моделі, є громіздким, то для опису рухів довільної ланки було застосовано адаптований варіант рівняння. Під час програмного розрахунку рухові характеристики ланки є коректованими: зв'язки набувають форм головного вектора і моменту суглобових сил. Вектори, що діють на суміжні ланки одного суглобу, рівні за величиною і протилежні за напрямками. Попередньо розглянуті вектори суглобових сил і моментів також впливають на цю ланку.

Розглянемо момент коли лучник, виконує змагальну вправу, зігнувши руку в ліктьовому суглобі і утримуючи передпліччя в горизонтальному положенні. При цьому:

а) м'язи – згиначі ліктьового суглобу повинні створити момент сили ( $M$ ), що протидіє моментові сили пружності розтягнутого лука;

б) моменти сили відносно інших ступіней свободи в суглобах верхньої кінцівки або повинні дорівнювати нулеві (наприклад, рука не повинна відводитися убік), або повинні змінюватися, щоб протидіяти моментам сили пружності лука (наприклад, в променевоzap'ястковому суглобі).

Проте, згинання передпліччя здійснюють щонайменше п'ять актонів: довга і коротка головки двоголового м'яза плеча, плечовий і плечопроневий м'язи, круглий пронатор. Очевидно описану технічну вправу лучників можна зробити незліченною кількістю способів, активувавши якісь м'язи більше інші менше. Однак спостереження, показують, що в стандартних умовах стрільби з лука, наприклад в приміщенні, активізація м'язів залишається завжди постійною. Так звані «первинні» актони починають працювати першими (при розтяганні лука), «вторинні» включаються, коли первинні досягають певного рівня сили (під час завершальної фази дотягування).

Інша складність полягає в тому, що оскільки м'язи, як вже наголошувалося, мають звичайно декілька функцій, тобто генерують моменти сили щодо декількох ступіней свободи, то крім необхідного моменту

$M$  вони створюють ще так звані додаткові, або паразитні, моменти, що підтвердилося в ході педагогічних і фізіологічних досліджень. Наприклад, якщо активізується довга головка двоголового м'яза плеча, то крім необхідного моменту, що викликає згинання в ліктьовому суглобі, створюються непотрібні моменти, пов'язані, зокрема, із супінацією передпліччя і згинанням плеча в плечовому суглобі. Ці моменти повинні бути компенсовані дією інших м'язів, які, проте, самі мають декілька функцій. Сформулюємо задачу наступним чином. Нехай  $i$ - ступінь свободи в різних суглобах  $1, 2, \dots, n$ ,  $M_1, M_2, \dots, M_n$  – моменти сил щодо осей біомеханічної системи «стрілець - лук». Тоді моменти сил  $M_i$  дорівнюють сумах моментів сили м'язової тяги відносно даних ступенів свободи

$$M_i = \sum P_{ik} \times F_k, \quad (2.31)$$

де  $M_i$  — момент сили відносно  $i$ -го ступеня свободи,  $F_k$  — сила тяги  $k$ -ого м'яза  $P_{ik}$  – плече сили  $k$ -ого м'яза відносно  $i$ -ої ступені свободи,  $i < k$ .

Для збереження пози стрільця під час утримування лука в натягнутому стані суглобові моменти повинні бути дорівнювати певним величинам.

Оскільки ранг матриці цієї системи (він рівний числу ступенів свободи) менше від числа невідомих (воно дорівнює кількості м'язів), то система рівнянь є невизначеною. Звідси витікає, що одні і ті ж моменти сили можуть бути створені за рахунок різних комбінацій сил м'язової тяги. Існує гіпотеза про існування принципу оптимальності на основі використання мінімального рівня певного невідомого нам біомеханічного показника (наприклад, загальних енерговитрат, часу виконання руху, мінімальної загальної м'язової сили тощо).

Як зазначалося вище, важливим, і в той же час перспективним, є розв'язок оберненої задачі механіки у ході дослідження біомеханічної системи лучного спорту. Щоб її розв'язати використаємо алгоритм її розв'язку на основі фіксації та обробки відповідних експериментальних даних під час виконання змагальної вправи лучників, до яких належать координати основних опорних точок ланок тіла лучника, розташування загального центру мас ланок та величини дій зовнішніх сил (пружності лука, опори, вітру, тяжіння) (рис.2.10).



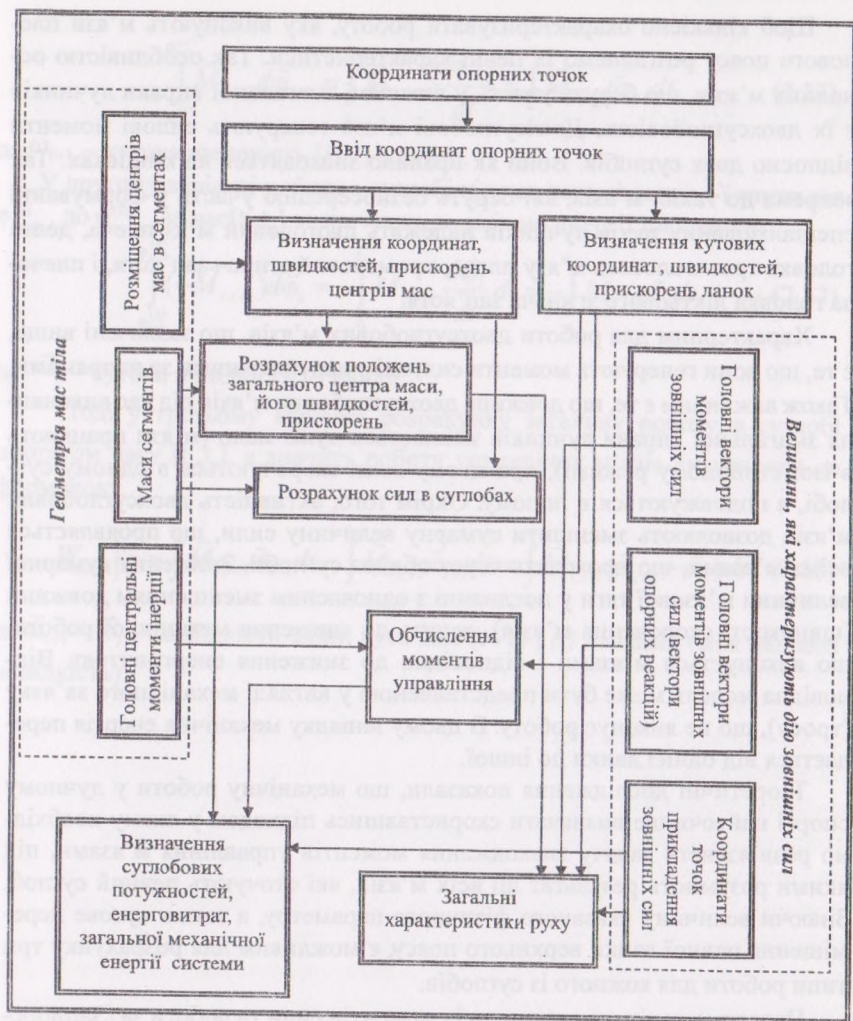


Рис. 2.10. Блок-схема розв'язку оберненої задачі механіки під час виконання необхідних техніко-тактичних дій лучників.

Щоб кількісно охарактеризувати роботу, яку виконують м'язи плечового поясу розглянемо їх певні характеристики. Так особливістю основних м'язів, що беруть участь у виконанні змагальної вправи лучників є їх двохсуглобовість. Двохсуглобові м'язи генерують силові моменти відносно двох суглобів. Вони як правило знаходяться на кінцівках. Так зокрема до таких м'язів, які беруть безпосередню участь у формуванні спеціалізованих рухів лучників належать двоголовий м'яз плеча, довга головка трьохголового м'язу плеча, променевиий згинач зап'ястя, і плечова головка ліктьового згинача зап'ястя.

Характерним для роботи двохсуглобових м'язів, що зазначені вище, є те, що вони генерують моменти сил, які є протилежними за напрямками. Також важливим є те, що довжина двохсуглобових м'язів під час виконання змагальної вправи лучників змінюється дуже мало (м'язи працюють в ізометричному режимі), при цьому вони скорочуються в одному суглобі, а подовжуються в іншому. Окрім того, активність двохсуглобових м'язів дозволяють зменшити сумарну величину сили, що проявляється всіма м'язами, що проходять через обидва суглоби. Зниження сумарної величини м'язової тяги у поєднанні з одночасним зменшенням довжини (швидкості скорочення м'язів), ведуть до зниження механічної роботи, що виконується м'язами і відповідно до зниження енерговитрат. Відповідна модель може бути представленою у вигляді механічного зв'язку (тросу), що не виконує роботу. В цьому випадку механічна енергія передається від однієї ланки до іншої.

Теоретичні дослідження показали, що механічну роботу у лучному спорті найточніше визначати скориставшись підходом у якому необхідно розв'язувати задачу знаходження моментів управління м'язами, під якими розуміють результат дії всіх м'язів, які оточують певний суглоб. Знаючи величину вказаного фізичного параметру, а також кутове переміщення певної ланки верхнього поясу, є можливим для розрахунку три типи роботи для кожного із суглобів.

Наведемо варіанти розрахунків моментів сили та роботи за (Зациорский, 1984; Зациорский, Алешинский, Якунин, 1982). У першому варіанті, нехай на  $(i+1)$ -у ланку в області з'єднання з  $i$ -ланкою прикладний момент  $\vec{M}_{i,i+1}$  (при цьому на  $i$ -ланку діє момент  $-\vec{M}_{i,i+1}$ ). Робота визначається на кутовому переміщенні  $(i+1)$ -ї ланки від  $\varphi_{i+1}^{(1)}$  до  $\varphi_{i+1}^{(2)}$  за час  $[t_1, t_2]$  за зміною енергії цієї ланки:

$$\int_{\varphi_{i+1}^{(1)}}^{\varphi_{i+1}^{(2)}} \bar{M}_{i,i+1} d\bar{\varphi}_{i+1} = \int_{t_1}^{t_2} \bar{M}_{i,i+1} \frac{d\bar{\varphi}_{i+1}}{dt} dt = \int_{t_1}^{t_2} \bar{M}_{i,i+1} \bar{\omega}_{i+1} dt, \quad (2.32)$$

де  $\bar{\omega}_{i+1}$  – кутова швидкість  $(i+1)$ -ї ланки.

У другому варіанті роботи в суглобі під час переміщення  $i$ -ї ланки від  $\varphi_{i+1}^{(1)}$  до  $\varphi_{i+1}^{(2)}$  за час  $[t_1, t_2]$  визначають за зміною енергії цієї ланки:

$$\int_{\varphi_{i+1}^{(1)}}^{\varphi_{i+1}^{(2)}} (-\bar{M}_{i,i+1}) d\bar{\varphi}_i = - \int_{t_1}^{t_2} \bar{M}_{i,i+1} \frac{d\bar{\varphi}_i}{dt} dt = - \int_{t_1}^{t_2} \bar{M}_{i,i+1} \bar{\omega}_i dt, \quad (2.33)$$

де  $\bar{\omega}_i$  – кутова швидкість  $i$ -ї ланки.

Тоді у третьому варіанті розрахунку загальну роботу в суглобі протягом часу  $[t_1, t_2]$ , а значить роботу управління м'язів визначають за формулою:

$$W_{i,i+1} \Big|_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} \bar{M}_{i,i+1} \bar{\omega}_{i+1} dt - \int_{t_1}^{t_2} \bar{M}_{i,i+1} \bar{\omega}_i dt = \int_{t_1}^{t_2} \bar{M}_{i,i+1} (\bar{\omega}_{i+1} - \bar{\omega}_i) dt, \quad (2.33)$$

де  $\bar{\omega}_{i+1} - \bar{\omega}_i$  – швидкість зміни кута між  $(i+1)$  і  $(i)$  ланками (між ланкова швидкість).

## РОЗДІЛ 3

---

# МОДЕЛІ СПОРТИВНОЇ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ СТРІЛЬЦІВ З ЛУКА

### Моделі спортивної результативності найсильніших лучників світу на основі аналізу тенденцій розвитку спортивної стрільби з лука

Ігри XXVIII Олімпіади (Афіни, 2004р.) завершили черговий етап розвитку спорту взагалі і конкретного виду спорту зокрема. Це – найважливіші змагання чотириліття. Успішний виступ на Олімпіаді базується на ефективності підготовки протягом чотирилітнього періоду (Дрюков, 2003; Матвеев, 1999; Сахновский, Кириенко, Пядухов, Дрюков, 2000). Тому концентрація передових технологій підготовки у галузі спорту вищих досягнень і тенденції його розвитку найяскравіше виявляються в ході Ігор Олімпіади (Платонов, 2001; Платонов, Сахновский, Озимек, 2003; Сахновский, Булатова, Олешко, 2000). Ігри в Афінах показали стрімкий розвиток олімпійських видів спорту у світі, швидке зростання спортивних досягнень в багатьох з них, що свідчить про наявність серйозної науково-дослідницької роботи і про ефективне впровадження її результатів у практику, реалізацію в спорті сучасних технологій виробництва інвентаря, устаткування, засобів відновлення, створення сучасної спортивної матеріально-технічної бази. Олімпіада-2004 ще раз підтвердила той очевидний факт, що спорт вищих досягнень – це невід’ємна частина світової культури і дієвий чинник науково-технічного прогресу.

З іншого боку, було б неправильно вивчати стан справ, у будь-якому виді спорту, лише за результатами однієї Олімпіади (Булгакова, Попов, Партька, 2003). Потрібно розширити і поглибити аналіз, вибравши для

розгляду нинішнього стану розвитку конкретного виду спорту ту подію, яка поклала початок корінним змінам в системі проведення змагань та підготовки спортсменів. У сучасній історії розвитку стрільби з лука останньою значущою подією, що привела до серйозних змін, було введення олімпійської системи проведення змагань (стрільби з вибуванням). Започаткування і повсюдне впровадження цієї системи у спортивну практику відбулося на початку 1990-х років. У цей самий час сформувалися й нові національні команди стрільців з лука незалежних держав. Переважна більшість стрільців високої кваліфікації повсюдно почали використовувати нові жорсткі, водночас, легкі графітні стріли, тобто з'явилися нововведення в технічному оснащенні стрільців. Виходячи з вище викладеного, пропонується зробити аналіз діяльності змагання стрільців з лука за минулий період.

Отже завданням нашого дослідження є аналіз тенденцій розвитку спортивної стрільби з лука в світі протягом останніх трьох олімпійських циклів та створення моделей спортивної результативності найсильніших лучників.

За часовий відрізок дослідження тенденцій розвитку олімпійського виду спорту - стрільби з лука, обрано 12 років – з 1992 по 2004 р. До уваги взято результати змагань найвищого рівня – чемпіонатів світу та Ігор Олімпіад. Тільки у цих змаганнях брали участь практично всі найсильніші стрільці світу. Під час аналізу результатів змагань стрільці розподілялися на чотири групи (ранги). Першу групу склали спортсмени, що показали результати з 1 – 3-го місця, другу – 1 – 8-го місця, третю – 1 – 16-го місця, четверту – 1 – 32-го місця.

Для аналізу спортивної результативності узяті до уваги показники досягнень чоловіків і жінок в таких категоріях змагальної практики: 1) у вправі FITA-1; 2) на кожній окремій дистанції (90м, 70м, 50м, 30м – у чоловіків; 70м, 60м, 50м, 30м – у жінок); 3) у кваліфікаційних раундах (70+70м) на трьох останніх Олімпіадах; 4) в елімінаційних і фінальних раундах.

Для виявлення тенденцій розвитку спортивної результативності найсильніших стрільців на міжнародній арені має сенс враховування середнього результату чотирьох груп стрільців. Згаданий параметр виводиться на основі очок, зароблених призерами змагань (лідерами) і очок, вибитих значною кількістю сильних спортсменів (32). Треба ураховувати, що з десяти найбільших змагань: чотири – це Ігри Олімпіад і шість - чем-

піонати світу. Але тільки на Іграх XXVI, XXVII і XXVIII Олімпіад змагання відбулися відповідно до ідентичної схеми проведення, суть якої полягає в тому, що 64 спортсмени, які вибороли путівки для участі в Іграх, проводять класифікаційний раунд (стрільба 72 стрілами на 70 м, як у чоловіків так і у жінок), який ранжує учасників змагань і розставляє їх попарно, після чого боротьба ведеться за олімпійською системою аж до фіналу змагань. Схема проведення чемпіонатів світу відрізняється тим, що класифікаційний раунд виконується у вигляді стрільби круга FITA-1. Проаналізуємо результативність найсильніших стрільців, спочатку виходячи з тих змагань, де присутня вправа FITA-1 (табл.3.1, 3.2).

Таблиця 3.1

Динаміка середніх значень результатів у вправі FITA-1  
і на окремих дистанціях (жінки)

Рік	Середнє значення на окремих дистанціях (36 стріл)								Середнє значення у FITA-1 (144 стріли)
	70 м		60 м		50 м		30 м		
	Значення	%	Значення	%	Значення	%	Значення	%	
1992	322,30	24,15	334,82	25,09	327,93	24,57	359,52	26,19	1334,56
1993	114.5	36.25	128	32.5	126.5	41.75	119.25	27.75	383.25
1995	28.63	9.06	32	8.13	31.63	10.44	29.81	6.94	95.81
1997	35.78	11.33	40	10.16	39.53	13.05	37.27	8.67	119.77
1999	44.73	14.16	50	12.70	49.42	16.31	46.58	10.84	149.71
2001	55.91	17.7	62.5	15.87	61.77	20.39	58.23	13.55	187.14
2003	327,94	24,37	334,95	24,97	329,89	24,59	349,88	26,08	1341,65
Загальне середнє	321,43	24,21	331,85	25,01	325,56	24,52	349,87	26,26	1327,13

Не зважаючи на відсутність значних змін у матеріальній частині найсильніших стрільців світу, стабілізацію основ технічної майстерності, продовжується зростання спортивної результативності у вправі FITA-1 і на окремих дистанціях, як у чоловіків, так і жінок. Цілком логічно, що величина зростання на різних дистанціях в очковому еквіваленті – різна. Це можна пояснити поступовим, але неухильним наближенням результатів до максимально можливих, і запас таких очок на довгих дистанціях традиційно більший. Звідси, якщо порівнювати зміни суми набраних

очок у жінок у вправі FITA-1 і на окремих дистанціях на останньому чемпіонаті світу із середнім значенням за останні 12 років, то зростання в 13 очок загалом розподіляється так: 70 м – 6 очок; 60 м – 3; 50 м – 4; 30 м – результат практично не змінився (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Динаміка середніх значень результатів у вправі FITA-1  
і на окремих дистанціях (чоловіки)

Рік	Середнє значення за рангами на окремих дистанціях (36 стріл)								Середнє значення у FITA-1 (144 стріли)
	90 м		70 м		50 м		30 м		
	Значення	%	Значення	%	Значення	%	Значення	%	
1992	306,57	23,38	329,80	25,15	323,91	24,70	351,18	26,78	1311,46
1993	1,22	46,75	128,75	36,5	125	45	352,76	26,77	375
1995	128	11,69	32,19	9,13	31,25	11,25,00	354,13	26,55	93,750
1997	32	14,61	40,24	11,41	39,06	14,06	354,48	26,78	117,188
1999	40	18,26	50,3	14,26	48,83	3,52	349,13	27,09	146,485
2001	50	22,83	62,87	17,83	61,04	4,4	350,44	26,35	183,106
2003	313,3	23,36	335,31	25,00	337,89	25,19	354,52	26,44	1341,05
Загальне середнє	307,31	23,26	329,94	24,97	331,46	25,09	352,38	26,68	1321,11

Зміни у чоловіків ще більш вражаючі. Технічний результат, загалом, піднявся на 20 очок, які розподіляються так: 90м – 6 очок; 70м – 6; 50м – 6; 30м – 2. Можна також передбачити, що значущі зміни результативності на дистанції 70м є наслідком повсюдного використання цієї дистанції для виявлення переможців змагань в олімпійському раунді на відкритих стрільбищах. Якщо розглядати зміни спортивного результату в ключових місцях протоколів, а саме набрані очки в FITA-1, то видно, що щонайбільший внесок в збільшенні результативності зробили спортсмени з середини турнірної таблиці після виконання вправи FITA-1 (табл. 3.3 і 3.4).

У жінок відповідний показник 32-го місця змінився за останніх дванадцять років в середньому на 27 очок (Ю-1992 і ЧС-2003), а середнє значення, обчислене на основі 7 найбільших змагань, зросло до 1283 очок (табл.4.3). Зміни даного показника у чоловіків, виявляються ще яскравіше. Різниця результатів 32-го місця показаного на Іграх Олімпіади в Барселоні – (1992) і на Чемпіонаті світу – (2003) у Нью-Йорку у FITA-1 склала 38 очок, а із загальним середнім – більше 15 очок (табл.4.4).

У чоловіків також простежується тенденція збільшення, хоча й не такого виразного, індивідуального абсолютного результату практично всіх стрільців, які брали участь в найбільших змаганнях. Такої тенденції не спостерігається у жінок. Звідси, можна зробити попередній висновок про певне уповільнення підвищення спортивного результату призерів змагань в стрільбі з лука, і водночас, про збільшення техніко-тактичної майстерності їхніх найближчих конкурентів.

Таблиця 3.3

Динаміка індивідуальних абсолютних результатів у вправі FITA-1 (жінки)

Рік	Місце				
	1-е	3-е	8-е	16-е	32-е
1992	1375	1355	1323	1304	1270
1993	1361	1343	1315	1311	1289
1995	1337	1329	1315	1301	1284
1997	1321	1317	1307	1295	1278
1999	1345	1334	1308	1286	1270
2001	1362	1357	1330	1313	1295
2003	1382	1351	1328	1317	1297
Загальне середнє	1354,71	1340,86	1318,00	1303,86	1283,29

Підтвердженням даної тези може бути і той факт, що розподіл світових рекордів протягом аналізованого тимчасового періоду є досить рівномірним. На сьогоднішній день ще існують світові рекорди, встановлені у 1992-1993 рр.

Таблиця 3.4

Динаміка індивідуальних абсолютних результатів у вправі FITA-1 (чоловіки)

Рік	Місце				
	1-е	3-е	8-е	16-е	32-е
1992	1329	1318	1309	1294	1268
1993	1346	1323	1310	1304	1281
1995	1356	1345	1328	1314	1297
1997	1352	1329	1317	1303	1288
1999	1319	1307	1276	1263	1252
2001	1353	1337	1327	1312	1295
2003	1378	1343	1336	1320	1306
Загальне середнє	1347,57	1328,86	1314,71	1301,43	1283,86



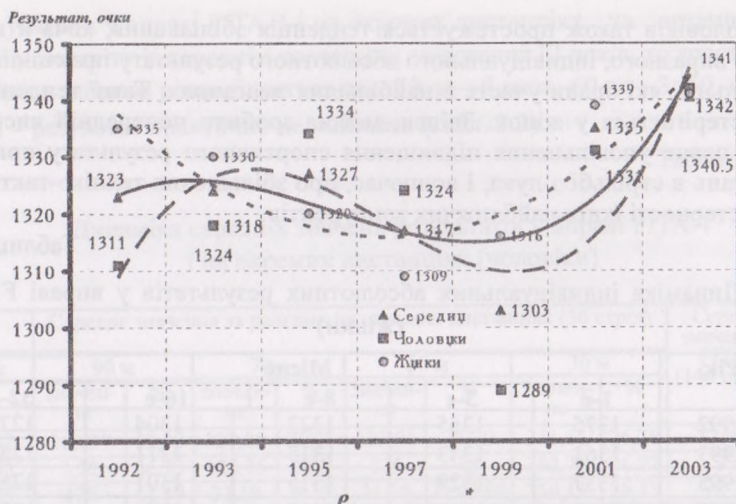


Рис. 3.1. Середні значення результатів кваліфікаційного раунду

Разом з тим, зростання результату по роках відбувалося нерівномірно, як у вправі FITA-1, так і на окремих дистанціях. Це виразно проілюстровано на рис.3.1 – 3.3. Певний «провал» результативності відбувся у 1997-1999 рр. Якщо розглядати складові цього «провалу», то зниження показників результатів змагань почалося спочатку у жінок на чемпіонаті світу в Джакарті, а мінімальні показники відповідають 1999 р., тобто чемпіонату світу в Ріомі (Франція) (рис.3.1).

Надалі криві результатів підіймаються вгору аж до Ігор Олімпіади 2004 р. Слід зазначити і той факт, що на рисунках показано згладжені лінії, а насправді «падіння» було набагато глибшим. Якщо розкласти результат, отриманий в раунді FITA-1 за рангами стрільців (рис.3.2. і рис.3.3), то отримаємо картину, що підтверджує таке:

1. Зменшення розриву у жінок між призерами найбільших міжнародних змагань і спортсменками, які потрапили у 1/16 фіналу з 61 очка до 42 (див. рис.3.2).

2. «Падіння» загальної результативності у жінок відбулося в основному за рахунок зниження результатів лідерів світових змагань з 1365 до 1319 очок. Падіння спортивного результату в інших групах менш виразне.

МОДЕЛІ СПОРТИВНОЇ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ СТРІЛЬЦІВ З ЛУКА

Результат, очки

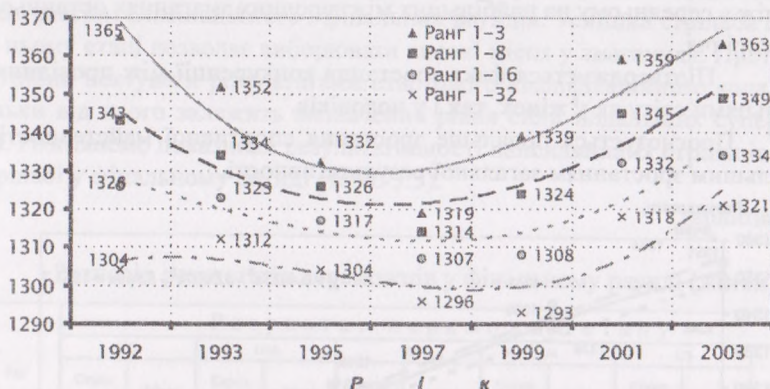


Рис.3.2. Співвідношення сил між рангами у жінок

Результат, очки

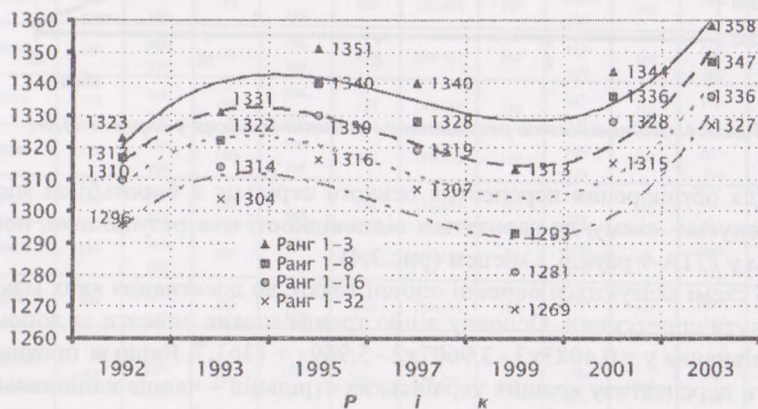


Рис.3.3. Співвідношення сил між рангами у чоловіків

3. Подальше зростання спортивного результату у жінок базувалося на підвищенні майстерності у всіх без винятку групах спортсменок. У чоловіків на початку 1990-х років розрив між трійкою лідерів і 32 кращими спортсменами складав в середньому 26 очок.

4. Приблизно така ж різниця була і на чемпіонаті світу 2003 р. – 31 очко.

5. Падіння загального результату в 1999 р. відбулося в усіх групах (рангах) стрільців, а розрив між ними становив 44 очки, що значно більше, ніж в середньому на найбільших міжнародних змаганнях останнього десятиріччя.

6. Підтверджується факт зростання конкуренції між провідними стрільцями світу як у жінок, так і у чоловіків.

7. Прогнозується подальше зростання спортивної майстерності з подальшим зростанням загальної результативності.

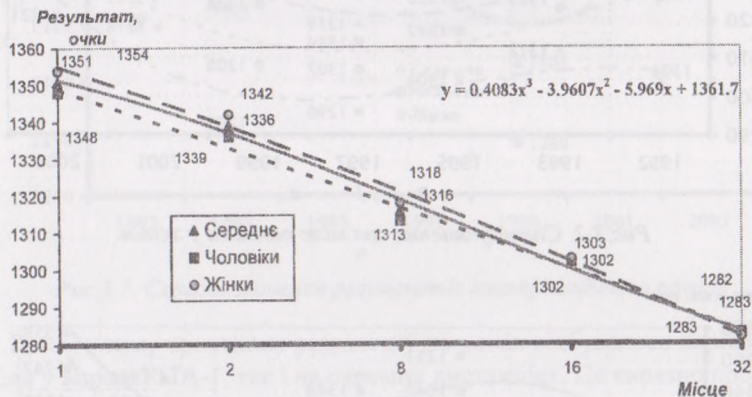


Рис.3.4. Відповідність результату і займаного місця у вправі FITA-1

Для обговорення перспектив певного стрільця в боротьбі за місце пропонуємо схему, де наводяться відповідності між результатом, показаним у FITA-1 раунді, і місцем (рис.3.4).

В схемі вказуються основні опорні точки, до досягнення яких мають прагнути спортсмени. Основну лінію тренда можна описати за допомогою рівняння  $y = 0,4083x^3 - 3,9607x^2 - 5,969x + 1361,7$ . Якщо ж проаналізувати перспективу кращих українських стрільців – членів національної команди на найбільших змаганнях, то практично, всі вони можуть посісти місця не нижче восьмого після відстрілу кваліфікаційного раунду FITA-1. Також пропонується пов'язати нормативи національної спортивної класифікації України зі змінами спортивних результатів стрільців на міжнародній арені.

Характерною особливістю проведення змагань в стрільбі з лука на сьогоденньому етапі розвитку лучного спорту є визначення переможців

і подальших місць на основі застосування олімпійської системи, яка, в даному випадку, виражається в “дуельній” стрільбі, що складається з двох частин: елімінаційного і фінальних раундів. Успішна стрільба саме на цьому етапі дозволяє виборувати високі місця у змаганнях. Проте не потрібно нехтувати результатами стартового кваліфікаційного кола, оскільки від нього залежить визначення рівня сили подальших суперників. Розглянемо показники результативності найсильніших стрільців при стрільбі у фінальному раунді (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Розподіл результатів переможців у фінальному раунді (жінки)

Рік	Результат переможця етапу										Фінал
	1/32		1/16		1/8		1/4		1/2		
	Середній	Межі	Середній	Межі	Середній	Межі	Середній	Межі	Середній	Межі	
1995	158	149-164	153	149-163	155	146-161	106	103-108	109	108-111	113
1996	156	142-168	157	144-167	169	156-165	107	103-109	106	101-111	113
1997	159	148-168	160	152-168	161	156-167	107	103-109	105	104-106	105
1999	152	140-168	153	144-161	154	145-161	110	107-113	110	109-111	115
2000	159	147-168	160	156-164	164	159-173	109	106-114	111	107-114	107
2001	160	152-171	162	154-168	166	158-171	111	109-112	113	111-114	111
2003	155	143-168	161	153-168	162	156-170	112	119-115	109	107-111	114
2004	149	119-165	159	132-173	164	156-171	108	104-111	107	104-110	110
Загальний середній	156	119-171	158	132-173	162	145-173	108	103-115	108	101-114	111

Аналіз змін цифрових масивів на кожному з етапів фінального раунду протягом 10 років не мають однозначного трактування. Практично не наголошується зростання спортивної результативності у найсильніших стрільців світу. Розміту тенденцію зростання можна простежити в 1/8 фіналу, де, хоча й хвилеподібно, але йде поступове збільшення технічного результату. Це видно, як по середніх значеннях “вибитих” очок,

так і по однозначних змінах нижнього і верхнього краю межі результату переможців. Такий факт потрібно пояснити тим, що на стадіях 1/32 і 1/16 фіналу йде відсівання “нестабільних” суперників, особливо, на Іграх Олімпіад. Це пов’язано з тим, що на Ігри Олімпіад потрапляють за ліцензіями, котрі можуть бути отримані в попередні роки. Також на Олімпіаді, на відмінну від чемпіонатів світу, беруть участь в своїй номінації не більше трьох стрільців з однієї країни (на чемпіонатах світу – 4 учасники). Звідси деякий відсів сильних стрільців з провідних “лучних” країн. Також Міжнародна федерація стрільби з лука “бронює” декілька місць для “перспективних” країн, котрі, зрештою, можуть погіршувати загальний підсумковий результат влучень у мішень. Але основною причиною, імовірно, є те, що в Олімпіадах беруть участь тільки 64 спортсмени кожної статі, а отже немає відсіву після стартової вправи FITA-1. Звідси, автоматичне попадання в 1/32 фіналу всіх без винятку учасників, незважаючи на їхню підготовленість на даний момент проведення змагань.

Подібна картина спостерігається і у чоловіків (табл. 4.6). За останнє десятиріччя динаміка спортивної результативності не має явного зростання. Олімпіада в Афінах, не зважаючи на ряд видатних результатів (олімпійські і світові рекорди), не мали істотного впливу на зміни загальної результативності. Деякі корективи міг внести вітер на початку змагань, швидкість якого була близько 5 м·с<sup>-1</sup>. Характерною рисою останньої Олімпіади був великий розкид меж результатів переможців 1/32 і 1/16 фіналу, відносно відповідних показників минулих років (як у чоловіків так і жінок). Причини такого явища у чоловіків такі самі, як у жінок.

Детальніше розглянемо особливості проведення і індивідуальні результати стрільців на Олімпіаді-2004 в Афінах. Особливістю цієї Олімпіади було те, що стрільба велася на двох спортивних аренах. Кваліфікаційний раунд проводився на лукодромі «Dekelia», а фінальний раунд - на стадіоні «Panathinaiko», який знаменитий тим, що на ньому проходили Ігри Олімпіади сучасності. Проведення стрільб на двох стадіонах мало свої відмінні моменти, зокрема вони виражалися в особливостях поведінки вітру на кожному з них. Оскільки лукодром «Dekelia» знаходиться на відкритому майданчику, вітер там був хоча й сильнішим, але прогнозованішим. Конструкція стадіону «Panathinaiko», побудованого у вигляді довгастої споруди, з одного боку захищала стрільців від вітру, але з іншою - створювала умови, коли напрями потоків повітря мали складні

завихрення, що ускладнювало вибір точки винесення стріл. Також можна відзначити, що змагання зі стрільби з лука, не зважаючи на достатньо коротку програму, розтягнулися на десять днів (включаючи два дні перерви), між стартовим і фінальними раундами. Звідси – висновок про незначну інтенсивність фізичного навантаження, але значно підвищене психоемоційне.

Таблиця 3.6

Розподіл результатів переможців у фінальному раунді (чоловіки)

Роки	Результати переможців етапів										Фінал
	1/32		1/16		1/8		1/4		1/2		
	Середній	Межі	Середній	Межі	Середній	Межі	Середній	Межі	Середній	Межі	
1995	164	157-172	166	161-172	166	160-170	110	104-113	111	109-112	109
1996	161	151-168	163	156-169	165	159-170	112	111-114	112	112-112	112
1997	166	159-173	166	156-174	167	158-171	111	110-112	111	107-112	108
1999	160	149-171	161	151-167	159	154-165	111	108-113	112	110-114	115
2000	163	151-172	161	152-169	167	166-171	110	106-113	110	108-112	113
2001	164	156-174	166	160-172	168	165-174	110	106-113	115	114-115	115
2003	160	153-166	164	158-173	163	157-166	111	108-115	110	109-112	112
2004	152	133-164	164	155-171	167	162-173	111	109-112	113	110-115	110
Загальний середній	161	133-174	219	151-174	220	154-174	111	104-115	149	107-115	149

Як вже наголошувалося, в Олімпіаді брали участь по 64 жінок і чоловіків. Середній вік у жінок становив 25 років (віковий діапазон від 17 до 50 років), а чоловіків – 26,4 року (від 16 до 49 років).

Вже в стартовому раунді (70м+70м) було показано ряд рекордних результатів. Новий світовий рекорд встановила Парк Сунг Х'юн, набравши 682 очка, що на 3 більше від попереднього світового рекорду, встановленого в травні поточного року італійською лучницею Наталією Валесвою. В командному заліку корейські спортсменки побили свій же рекорд, набравши 2030 очок, що на 36 більше ніж у Сіднеї. Молодий кореець Їм Донг Х'юн встановив новий світовий рекорд – 687 очок, і виграв “кваліфікацію”. Характерною особливістю була значна перевага азіатських спортсменок (Корея, Китай, Тайвань), що посідали після

кваліфікаційного раунду шість перших місць. У фінальному раунді жінки з Республіки Корея святкували переконливу перемогу. Вони продовжили традицію виграшу олімпійських турнірів, започатковану їхніми співвітчизницями у 1984 р. Цікаво і те, що в індивідуальному фіналі зустрілися дві спортсменки, що представляють один спортивний клуб.

В ході проведення індивідуального фінального раунду у чоловіків встановлено чотири олімпійські рекорди: Парк Кьунг Мо (Корея) вибив 173 з 180 можливих очок; Чен Шу Юн (Тайвань) – 339 очок з 360 можливих; також відрізнився представник Австралії Тім Кудіхай, побивши два олімпійські рекорди – 340 очок із 360 можливих, і у спарингу -115 очок з 120, і завоював бронзову медаль. У рівній і жорсткій боротьбі перемогу святкував італієць Марко Галіазіо, а на другому місці досить несподівано, опинився ветеран лучного спорту з Японії – Хіроші Ямомото.

Українські стрільці з лука в індивідуальному заліку не потрапили в 1/4 фіналу, хоча потенційно були готові боротися за медалі. Треба відмітити рівний за силою склад чоловічої збірної, що, зрештою, привело до успіху – завоюванню бронзових медалей в командній боротьбі – першій олімпійській нагороді українських чоловіків.

Проаналізуємо рівень результативності стрільців з лука на різних етапах проведення змагань. Для порівняння визначимо результативність у відносних величинах – % (рис.3.5). Як видно з рисунка, спостерігається різке падіння відносного результату на етапі 1/32 фіналу у чоловіків і жінок. Далі результат починає поступово рости, і свого піку досягає у чоловіків на етапі фіналу і у фіналі у жінок. Але так само видно, що є своєрідне плато стабілізації спортивного середнього результату між 1/16 фіналу і фіналом. Максимальна різниця відносного спортивного результату всіх учасників становить 3,7% у чоловіків і 4,5% – у жінок. Спостерігається навіть деяке падіння цього показника у жінок в 1/4 і 1/2 фіналу. Такі цифри свідчать про дуже серйозну конкуренцію після 1/32 фіналу. Дана динаміка складається з показників учасників з максимальним відносним і, відповідно, мінімальним результатом. Показово, що відносний мінімальний результат з наближенням до фіналу постійно зростає, а максимальний знижується.

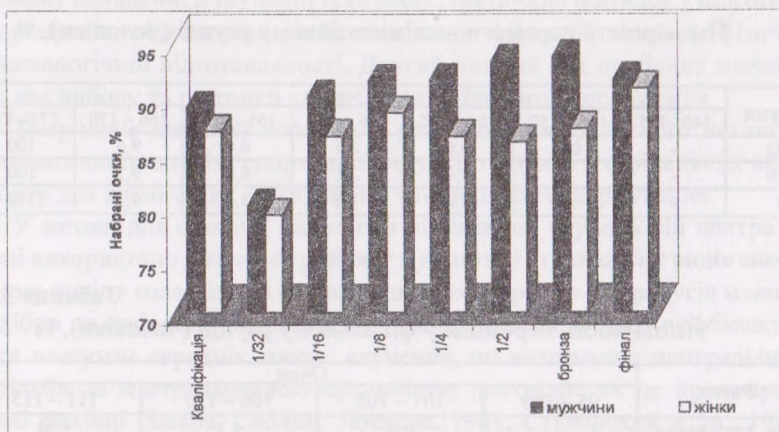


Рис. 3.5. Результативність учасників, % максимальної можливої величини

Таблиця 3.7

Ймовірність перемоги в елімінаційному раунді (жінки), %

Раунд	Очки						
	140 – 145	146 – 150	151 – 155	156 – 160	161 – 165	166 – 170	171 – 175
1/32	0,4	1,3	3,8	6,7	9,4	9,9	100
1/16	0,2	0,9	2,3	6,6	9,4	100	100
1/8	0,2	0,6	1,5	4,8	8,3	9,6	100

На основі наявних даних спортивного результату найсильніших стрільців світу у фінальних раундах протягом дванадцяти років, у тому числі і на Олімпіаді-2004, підраховано відсоток виграних матчів (спарингів) з тим або іншим результатом (табл. 3.7 – 3.10).

Таблиця 3.8

Ймовірність перемоги у фінальному раунді (жінки), %

Раунд	Очки			
	95 – 100	101 – 105	106 – 110	111 – 115
1/4, 1/2 і фінал	0,8	3,5	8,1	100



Таблиця 3.9

Ймовірність перемоги в елімінаційному раунді (чоловіки), %

Раунд	Очки						
	140–145	146–150	151–155	156–160	161–165	166–170	171–175
1/32	-	0,1	0,6	2,4	6,8	9,6	100
1/16	-	-	0,4	2,1	6,5	9,1	100
1/8	-	-	0,8	1,5	3,8	9,2	100

Таблиця 3.10

Ймовірність перемоги у фінальному раунді (чоловіки), %

Раунд	Очки			
	95–100	101–105	106–110	111–115
1/4, 1/2 і фінал	-	0,9	5,1	100

Маючи дані, представлені в табл.3.7 – 3.10, можливо прогнозувати реальне місце спортсмена на найбільших змаганнях зі стрільби з лука. Діапазон очок на тому або іншому етапі змагань може служити контрольною точкою, досягнення якої дає спортсмену певні шанси проходження в подальший етап фінального раунду.

Отже, розвиток стрільби з лука як виду спорту на міжнародній арені протягом останніх трьох олімпійських циклів можна оцінити як стабільний. Відмічається поступове зростання спортивного результату, посилення спортивної боротьби і підвищення конкуренції. В ході досліджень розроблено моделі змагальних дій найсильніших стрільців з лука, визначені головні тенденції змін результативності провідних стрільців світу за період 1992-2004рр., виявлено особливості змагань стрільців на Іграх XXVIII Олімпіади в Афінах.

### Багатофакторний аналіз результатів стрільби у мішень

У стрілецьких видах спорту своєчасне виявлення систематичних відхилень влучень від центру мішені в процесі тренувальної і змагальної діяльності сприяє цілеспрямованому пошуку можливих варіантів підвищення рівня спортивної результативності. По-перше, у рівні спортивної майстерності під час виконання змагальної вправи і, по-друге, у процесі пошуку прихованих недоліків у стані матеріальної частини зброї. Оперативне розв'язання такого завдання для першого випадку полягає у своє-

часному виявленні й усуненні технічних, тактичних помилок у підготовці спортсменів, підвищення рівня спеціально-фізичної, загально-фізичної і психологічної підготовленості. Другий чинник має особливе значення під час вибору та підгонки спортсменами їхнього спорядження.

Тому наше завдання полягало у розробці вдосконаленого механізму математичного аналізу спортивної результативності у стрілецьких видах спорту для визначення об'єктивних чинників його формування.

У методі для фіксації напрямків відхилення влучень від центра мішені використано загальноприйняту в практиці стрілецьких видів спорту форма поділу кола мішені на дванадцять секторів по 30 градусів кожний, подібно до циферблата годинника. Однак, рекомендується не обмежуватися пошуком середніх точок влучення, чи визначення центральності стрільби за контрольованою сукупністю пострілів, як це пропонують деякі фахівці (Зыков, Саблин, Локшин, 1981; Степанский и др., 1983). Основна відмінність цієї методики полягає у тому, що у ній по кожному з аналізованих дванадцяти напрямків додаються як самі величини відхилень влучень на кожному з них, так і проекції відхилень влучень по сусідніх напрямках, розташованих щодо основного, на 30 і 60 градусів в обидва боки.

У цьому випадку кількісне значення оцінки можливої тенденції розташування влучень, наприклад, на напрямку “третья година”, буде підсилюватися завдяки додатковому обліку влучень ще на чотирьох напрямках. До них можна віднести, насамперед, влучення, що мають відхилення на напрямках “друга” і “четверта година”. Ці влучення розглядаються як проекції на головний аналізований напрямок, і тому кількісно вони враховані меншою мірою – через косинуси кутів, утворених головним напрямком і радіусами відхилення кожного влучення сусідніх напрямків, що лежать під кутом у 30 градусів щодо головного. Крім того, до них необхідно додати також і влучення, розташовані на напрямках “перша” і “п'ята година” і враховані, відповідно, через косинуси 60 градусів.

Якщо величини всіх зафіксованих відхилень у розташуванні влучень (як основних, так і врахованих як проекції) підсумовувати по кожному з 12 напрямків, а потім вершини отриманих променів з'єднати відрізками прямих, то одержимо багатокутник, що характеризується такими параметрами, як центр ваги і площа. Одночасно, за сукупністю окремих влучень, можна оцінити і такі показники стрільби, як середній радіус пострілів і розкид їхнього розсіювання навколо цього значення, розта-

шування і переміщення середніх точок влучень сукупності пострілів, що задається, під час усього процесу здійснення стрільби. Кожний з цих параметрів можна кількісно оцінити і практично інтерпретувати.

Дані вводяться у комп'ютер, де вони, у разі необхідності, автоматично перетворюються на метричну форму й обробляються відповідно до викладених вище вимог.

Після закінчення первинних перетворень і формування файлу первинних даних формується радіус-вектор відхилень  $\vec{r}_i$  - модуль якого для кожного фіксованого  $i$  напрямку обчислюється за формулою:

$$r_i = \sum_{k=1}^{K^0} R_k^0 + 0,87 \sum_{k=1}^{K^{\pm 30}} R_k^{\pm 30} + 0,5 \sum_{k=1}^{K^{\pm 60}} R_k^{\pm 60}, i = \overline{1,12}, \quad (3.1)$$

де  $R_k^0, R_k^{\pm 30}, R_k^{\pm 60}$  - модулі радіусів-векторів положення влучень на мішені для основного напрямку і сусідніх з ним, розташованих під кутами  $30^\circ$  і  $60^\circ$ , відповідно;  $K^0, K^{\pm 30}, K^{\pm 60}$  - кількість цих радіусів-векторів.

Результати стрільби оцінюються за набором параметрів, що мають кількісну міру і, для наочності, подаються в графічній формі. До набору контрольованих параметрів входять показники, котрі розраховуються за відповідними формулами:

А) Величина  $F$  площі утвореного багатокутника, що має вершини у точках, розміщених на променях відповідних напрямків і віддалених від центру мішені на величини, які дорівнюють модулю свого радіуса-вектора  $\vec{r}_i$ :

$$F = \frac{1}{2} [(x_1 - x_2)(y_1 + y_2) + (x_2 - x_3)(y_2 + y_3) + \dots + (x_{12} - x_1)(y_{12} + y_1)], \quad (3.2)$$

де  $x_i, y_i$  - координати положення кінців радіуса-вектора  $\vec{r}_i, i = \overline{1,12}$ .

Природно припустити, що чим менша величина площі цього багатокутника, тим вища результативність стрільби. Додаткову інформацію про результати стрільби можна отримати, порівнявши обчислене значення  $F$  площі багатокутника і значення площі кіл стандартної мішені. У табл.3.11 зазначені площі частин мішені – кіл радіусів, що відповідають “десятиці”, “дев’ятці” і так далі, до “одиниці”, для мішеней діаметрами 122 см, 80 см і 40 см на різні дистанції.

Таблиця 3.11

## Площі кіл – частин мішеней

Дистанція стрільби, м	Параметри мішені		Площа окружностей, обмежених габаритами, см <sup>2</sup>									
	діаметр, см	габарит, см	«10»	«9»	«8»	«7»	«6»	«5»	«4»	«3»	«2»	«1»
90; 70	122	6,1	116,8	467,7	1052	1870	2921	4207	5726	7478	9464	11684
50; 30	80	4	50,24	201	454,2	803,8	1256	1809	2462	3215	4069	5024
18	40	2	12,56	50,24	113	201	314	452,2	615,4	803,8	1017	1256

В) Величина  $L$  відхилення центра ваги утвореного багатокутника від центра мішені з координатами  $(x_0, y_0)$ :

$$L = \sqrt{(x_c - x_0)^2 + (y_c - y_0)^2}, \quad (3.3)$$

де  $x_c = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} x_i$ ,  $y_c = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} y_i$  - координати центра ваги багатокутника.

Висновок щодо цього показника збігається з попереднім і доповнюється графічним представленням положення утвореного багатокутника, що наочно демонструє тенденцію відхилення розташування влучень у будь-якому напрямку. В ідеальному випадку величина  $L$  має прямувати до нуля.

С) Величина середнього модуля радіусів відхилень:

$$\bar{r} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} r_i. \quad (3.4)$$

Цей показник дозволяє чіткіше визначити припустимі межі можливих відхилень влучень.

Д) Координати середньої точки влучення  $(x_s^k, y_s^k)$  кожної  $k$ -ої контрольованої вибірки послідовності пострілів:

$$x_s^k = \frac{1}{r_p} \sum_{i=1}^{r_p} |x_i - x_{\min}| + x_{\min}; \quad y_s^k = \frac{1}{r_p} \sum_{i=1}^{r_p} |y_i - y_{\min}| + y_{\min}; \quad k = \overline{1, K_p}, \quad (3.5)$$

де  $x_{\min} = \min_i x_i$ ,  $y_{\min} = \min_i y_i$ ,  $i = \overline{1, r_p}$ ;  $K_p$  - кількість контрольованих вибірок в аналізованому виді програми змагань (серії, дистанції і тощо).

У стрілецьких видах спорту найзручніша для оцінки розмірність такої вибірки послідовності пострілів ( $rp$ ), котра залежить від професійної підготовленості спортсменів і знаходиться у межах 3-6 пострілів.

Е) Відстань  $L^k$  від кожної середньої точки влучення контрольованих вибірок послідовності пострілів  $(x_s^k, y_s^k)$  до центра мішені  $(x_o, y_o)$ :

$$L^k = \sqrt{(x_s^k - x_o)^2 + (y_s^k - y_o)^2}, \quad k = \overline{1, K_p}. \quad (3.6)$$

Ф) Сума цих відстаней  $L_p$  для всіх окремо узятих контрольованих вибірок послідовності пострілів:

$$L_p = \sum_{k=1}^{K_p} L^k. \quad (3.7)$$

Параметр  $L_p$  характеризує постійність зв'язку контрольованих вибірок послідовностей пострілів із центром мішені. Як і в попередніх випадках, оптимальним є мінімальне значення цього показника.

Г) Довжина шляху  $S_p$  середньої точки влучення кожної  $k$ -ої вибірки послідовності пострілів:

$$S_p = \sum_{k=2}^{K_p} \sqrt{(x_s^k - x_s^{k-1})^2 + (y_s^k - y_s^{k-1})^2}. \quad (3.8)$$

Ця величина кількісно характеризує здатність спортсмена контролювати ступінь сталості зв'язку кожного пострілу з наступним.

Н) Співвідношення величин двох попередніх параметрів:

$$S_v = \frac{S_p}{L_p}. \quad (3.9)$$

Цей показник кількісно характеризує ступінь контролю з боку спортсмена за процесом стрільби. Практично встановлено, що за значення цього показника  $S_v \leq 0,5$  забезпечується досить високий рівень результатів (наприклад, у стрільбі з лука на 70 м середній радіус відхилень стріл знаходиться у межах «вісімки», а випадкові «відриви» відсутні, що, як правило, забезпечує результат вищий за 300 очок).

Одночасно за таблицею вихідної інформації визначається сума  $S$  набраних спортсменом очок і основні статистичні параметри цього результату, а саме:

Г) Середня кількість очок на постріл у вправі:

$$R_{cp} = \frac{R}{K_b}, \quad (3.10)$$

де  $R$  - результат виконання вправи (сума набраних очок),  $K_b$  - кількість пострілів у вправі, що аналізується.

Оскільки, для кульової стрільби у будь-якій вправі кількість пострілів кратна десяти, тому параметр, зумовлений формулою (8), для неї не є гостро необхідним. Однак для стрільби з лука, де в різних видах програми змагань спортсмен випускає 12, 18 чи 36 стріл, цей параметр надає додаткову інформацію.

Ж) Розкид відхилень вартості влучень від середнього значення  $R_{cp}$  :

$$D = \sqrt{\frac{1}{K_b} \sum_{i=1}^{K_b} (S_i - R_{cp})^2}, \quad (3.11)$$

де  $S_i$  - значення вартості  $i$ -ої влучення.

Цей параметр однозначно характеризується дисперсією аналізованої вибірки і визначає стабільність або нестабільність стрільби.

За розрахованими значенням  $m_{cp}$  і  $D$  для кожного спортсмена можна оцінити його потенційні можливості у конкретній вправі стрільби: знайти ймовірність того, що значення  $m$  вартості влучення наступного пострілу спортсмена буде числом із заданого проміжку  $(m_\alpha, m_\beta)$ , тобто знайти величину  $P\{m_\alpha < m < m_\beta\}$ ;  $m_\alpha, m_\beta \in [0, 10]$ . У теорії стрільби прийнято вважати, що її результат має нормальний (чи близький до нього) закон розподілу (Вентцель, Овчаров, 1988). Тому для розв'язання поставленої вірогіднісної задачі використовується теорема Лапласа, тобто

$$P\{m_\alpha < m < m_\beta\} = \Phi\left(\frac{m_\beta - m_{cp}}{\sqrt{D}}\right) - \Phi\left(\frac{m_\alpha - m_{cp}}{\sqrt{D}}\right), \quad (3.12)$$

де  $\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$  - відома, таблично задана функція нормального розподілу (Вентцель, Овчаров, 1988).

Таким чином, можна обчислити ймовірність вдалого (наприклад,  $P\{0 < m < 5\}$ ) чи невдалого (наприклад,  $P\{7 < m < 10\}$ ) наступного пострілу спортсмена.

Апробація запропонованої методики показала таке. Експериментальні дослідження проводилися на одному з перших етапів освоєння нового лука одним із членів національної збірної команди України. Запропонована методика використовувалася для обробки результатів стрільби під час виступів спортсменки на багатьох змаганнях. Як приклад, на рис. 3.6 наведено копію її мішені на одних з них у стрільбі на 70 м.

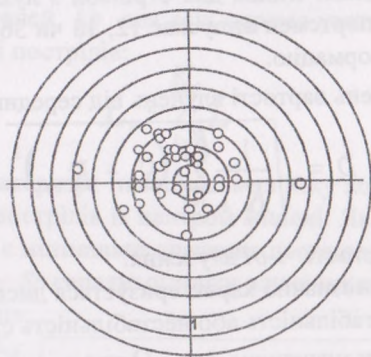


Рис.3.6. Результати влучення стріл у мішень

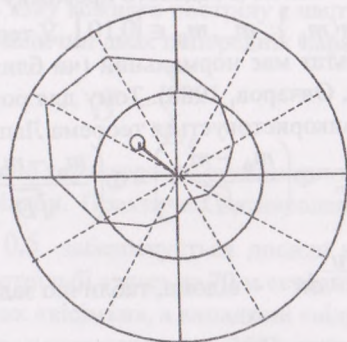


Рис.3.7. Діаграма відхилень сукупності пострілів від центра мішені (результати і параметри стрільби):  $R = 302$ ;  $R_{cp} = 8.42$ ;  $D = 1,04$ ;  $L = 3,67$ ;  $F = 7374$ ;  $\bar{r} = 143,04$

Очевидно, що простий візуальний аналіз цієї копії дає мало інформації для детальної оцінки кількісних показників якості стрільби (за винятком суми набраних очок). Тому на рис. 3.15 і 3.16 у графічній формі наведено результати обробки первинних даних і відповідні кількісні параметри результатів стрільби. По рис.3.7, насамперед, видно значний зсув центра ваги утвореної фігури і несиметричний вихід її меж за середній радіус відхилення влучень. Рис. 3.8 дозволяє відновити процес роботи спортсменки під час стрільби.

У розглянутому випадку розмірність вибірки контрольованої послідовності пострілів дорівнює шести. Це пов'язано з такими факторами, специфічними для стрільби з лука.

По-перше, на дистанції 70 м кожна серія виконується шістьма стрілами. По-друге, порядок випуску кожної конкретної стріли в кожній серії спортсменом, як правило, не змінюється. Тому, перша оцінка центру ваги багатокутника, утвореного точками влучень, відома вже після закінчення першої серії. З початком другої серії з вибірки виключалося влучення в мішень першої стріли, що була випущена в першій серії, і додавалося її влучення в другу, тобто враховувалася послідовність пострілів із другого по сьомий, потім, після восьмого пострілу, у контрольовану послідовність були включені постріли з третього по восьмий і т.д. Результат переміщення центра ваги формованих фігур розкидом стріл по площі мішені представлений на рис.3.8 (цифри 6-36).

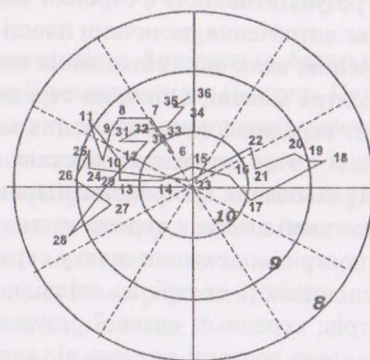


Рис. 3.8. Діаграма переміщення середніх точок влучень пострілів:

$$L_p = 2328; \quad S_p = 990,3; \quad S_v = 0,44$$



Те, що середня точка влучення контрольованої послідовності із шести пострілів у розглянутому випадку практично не виходила за межі «вісімки» можна визнати позитивним фактором. Однак, привертає увагу стабільність розташування цієї середньої точки в лівому верхньому секторі мішені протягом досить тривалого періоду часу (постріли 1 – 13), невинуватого її різкого переміщення у праву частину мішені (постріли 17-22) і знову повернення середньої точки влучення стріл у той самий лівий сектор (постріли 24-36). Ці факти, безсумнівно, варто віднести до недоліків процесу виконання стрільби, у разі, якщо погодні умови визнавалися цілком задовільними.

Позитивний результат використання розробленої методики був отриманий за запровадження багатфакторного аналізу у групі спортсменів-лучників (12 осіб) високої кваліфікації (МС і вище). Підвищення спортивного результату спостерігалось у всіх спортсменів від 2 до 10 очок у вправі ФІТА-1, а також зафіксовано світовий рекорд (179 очок вісімнадцятьма стрілами на 18 м).

Отже, для діагностики підготовленості стрільців доцільно застосовувати кількісне значення оцінки варіантів розташування влучень у мішень. Основна відмінність запропонованої методики від аналогічних відомих, полягає в тому, що в ній по кожному з аналізованих дванадцяти напрямків додаються як самі величини відхилень влучень на кожному з них, так і проекції відхилень влучень по сусідніх напрямках, розташованих щодо основного на 30 і 60 градусів в обидва боки. Для кількісного значення оцінки спортивної результативності в стрільбі запропоновано блок параметрів, що включає визначення: величини площі багатокутника розташування точок влучення; величини відхилення центра ваги утвореного багатокутника від центра мішені; величини середнього модуля радіусів відхилень; координат середньої точки влучення кожної контрольованої вибірки послідовності точок влучення; відстані від кожної середньої точки влучення контрольованих вибірок послідовності пострілів до центра мішені; суми відстаней для всіх окремо узятих контрольованих вибірок послідовності пострілів; довжини шляху середньої точки влучення кожної вибірки послідовності пострілів; співвідношення величин двох попередніх параметрів; середньої очкової результативності пострілу у вправі; розкиду відхилень вартості влучень від середнього значення. Запропонована методика аналізу результатів стрільби дозволила підняти результативність групи лучників найвищої кваліфікації шляхом діагнос-

тики слабких сторін підготовленості і цілеспрямованої організації тренувального процесу. Запропонована методика доведена до програмної реалізації і включена до складу системи підтримки прийняття рішень у спорті вищих досягнень. Ця система нині досить широко використовується тренерами з кульової стрільби і стрільби з лука в ході супроводу змагань у цих видах спорту і контролю тренувального процесу членів національних збірних команд.

### Рейтингова оцінка спортивної майстерності лучників

Процес об'єктивного оцінювання поточної спортивної форми лучників на данай момент має суперечливий характер та велику актуальність (Степанский и др., 1983; Вентцель, Овчаров, 1988). Таке оцінювання надає можливість досить точно визначати співвідношення сил спортсменів, простежити динаміку розвитку результативності, інтерполювати чи екстраполювати спортивні досягнення до певного змагання, полегшити відбір до різних збірних команд тощо.

Тому одним із завдань є удосконалення рейтингової системи оцінювання спортивної майстерності лучників.

Майстерність спортсмена можна оцінити декількома способами:

- на основі аналізу виступів на змаганнях у відносній шкалі (місце, медаль). Така оцінка враховує й узагальнює не самі спортивні результати, а ті досягнення які отримані за їхній рахунок;
- на базі аналізу технічних показників майстерності (очковий результат).

Спортивна результативність формується багатьма чинниками, тому потрібно говорити про її комплексність (Богіно, Петрова, 2005).

Підсумковий результат оцінки спортивної майстерності лучників  $R_j$  базується на сукупності семи (хоча може бути і інша кількість) якісних показників спортивних результатів  $G_i$ , кожен з яких виражений кількісно, включений у підсумкову оцінку з обліком свого вагового коефіцієнта переваги і зіставлений із максимальним показником, який належить кращому спортсмену (Богіно, Виноградський, 2002).

До таких показників відносяться:

- досягнутий спортсменом статистичний рівень результатів  $G_1$ ;
- розмір стабільності аналізованих результатів спортсмена  $G_2$ ;
- фонові умовні показники  $G_3$  і  $G_4$ , що відображають, відповідно,

положення статистично максимального результату спортсмена, що аналізується, серед теоретично можливих гранично слабких результатів усіх його суперників, і положення його статистично мінімального результату серед максимальних результатів суперників;

- показник престижності результатів спортсмена  $G_5$ , найскладніший із показників, у якому враховується: по-перше, ранг кожного зі змагань, де ці результати отримані; по-друге, зіставляються результати, показані спортсменом на цих змаганнях, із кращими результатами фіналу; по-третє, беруться до уваги, які місця посідає лучник після кваліфікаційних змагань і після фіналу;
- показник перспективності спортсмена  $G_6$ , що враховує співвідношення максимального результату за визначений період часу і його віку;
- тенденція зміни  $G_7$  (тобто збільшення або зменшення результативності протягом часового інтервалу, який аналізується), спроектовано на максимально можливе значення (наприклад, при аналізі результатів у вправі FITA-раунд це значення дорівнює 1440).

Кожний із цих семи показників  $G_i$  визначається виходячи з послідовності спортивних результатів конкретного спортсмена і кількісно характеризує якісні параметри процесу (Богіно та ін., 2001).

Якщо показники  $G_1$ ,  $G_2$  і  $G_6$  зрозумілі і без особливих пояснень, то інші слід прокоментувати.

Показникам  $G_3$  і  $G_4$  надається своєрідний “ігровий” зміст. дає можливість оцінити: наскільки спортсмен, показавши свій статистично максимальний результат, здатний піднятися в турнірній таблиці за можливого невдалого виступу усіх своїх суперників.  $G_4$  – характеризує ступінь погіршення місця спортсмена у турнірній таблиці за його невдалого виступу на фоні максимально можливих результатів суперників.

У разі оцінювання командних змагань ці ж показники, відповідно, дають можливість оцінити:  $G_3$  – наскільки спортсмен може бути корисним для команди, у якій всі інші, крім нього, виступили погано, а  $G_4$  –наскільки негативно може вплинути на командний результат невдача спортсмена за успішного виступу всіх інших членів команди.

Показник  $G_5$  дозволяє не тільки враховувати престижність змагань, у яких спортсмен бере участь, але й оцінювати значення показаного ним

результату в боротьбі за більш високе місце у фіналі. Можливий випадок, коли через погодні або інші об'єктивні умови навіть невисокий результат може принести перемогу на дуже престижному турнірі. Цей показник ураховує не тільки ступінь підготовленості, але і вольові риси в характері стрільця.

Показником  $G_7$  враховується не тільки абсолютна величина збільшення або зменшення результатів, але і зазначається відносність результату на який відбувається збільшення або спад його значень. Наприклад, на думку спортивних фахівців, збільшення 10 очок на рівні 1300 очок (у FITA-раунді), еквівалентно збільшенню 80 очок на рівні 1100 очок.

На завершальному етапі аналізу кожний показник  $G_i$  розглянутого спортсмена порівнюється (1) з максимальним  $G_{i(m)}^{\max}$  і мінімальним  $G_{i(m)}^{\min}$  аналогічними показниками, будь-якого із  $m$  спортсменів, причому, кожний із показників має свою величину вагомості  $\eta_i$ , а для деяких із них враховується і престижність змагань (коефіцієнт  $\xi_n$ ).

$$\bar{G}_i = \eta_i \frac{(1 - \varphi_n) G_i + \varphi_n G_{i(m)}^{\max} - G_{i(m)}^{\min}}{G_{i(m)}^{\max} - G_{i(m)}^{\min}}, \quad (3.13)$$

де  $\varphi_n$  – коефіцієнт, що дозволяє координувати межі відставання результату спортсмена від результату лідера, залежно від рангу турніру (табл. 3.12).

Таблиця 3.12

Залежність величини коефіцієнтів  $\xi_n$  і  $\varphi_n$  від рангу змагань

Рівень змагань	Значення коефіцієнта	Значення коефіцієнта
	$\xi_n$	$\varphi_n$
Олімпійські ігри	1,00	
Чемпіонат Світу	0,95	0,70
Кубок Світу (фінал)	0,90	
Чемпіонат Європи і Кубок Світу (етап)	0,85	0,55
Міжнародний турнір	0,77 – 0,83	
Національний чемпіонат	0,75	
Національний кубок (фінал)	0,72	0,40
Національний кубок (етап) і першість	0,70	

Вагові значення коефіцієнтів  $\eta_i$ , переваги показників  $G_i$  та максимальні значення кожного показника показано у табл. 3.13.

Таблиця 3.13

Значення коефіцієнтів переваги  $\eta_i$

Показник $G_i$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$G_5$	$G_6$	$G_7$	$r_j^{\max}$
Вагомість коефіцієнта, %	36	3	12	13	30	2	4	100
Максимальне значення показників $\eta_i$	1080	90	360	390	900	60	120	3000

Коефіцієнт  $\eta_i$  може мати різні значення, залежно від мети застосовуваного аналізу (визначення складу команди для участі в конкретних змаганнях, формування національної команди за підсумками року, визначення перспективності молодих спортсменів тощо). Тому створюється певна свобода думок експертів, що будуть визначати значення цих коефіцієнтів. А з метою спрощення порівняння власних результатів аналізу з широко відомими рейтинговими оцінками в таких видах спорту, як шахи або теніс, максимально можливу кількість пунктів рейтингу встановимо на позначці – 3000.

Наведені показники дозволяють сформувати проміжний рейтинг  $r_j$  результатів виступу спортсмена на кожному з проаналізованих змагань. Формула для розрахунків така:

$$r_j = \xi_n \left( \overline{G_1} + \sum_{i=3}^5 \overline{G_i} \right) + \overline{G_2} + \overline{G_6} + \overline{G_7}, \quad (3.14)$$

Остаточний підсумок обчислень за пропонованою методикою доцільно подавати у таблиці, в якій лучники розставлені згідно персональних пунктів підсумкового рейтингу  $R_j$  – , зумовленого результатами виступів в  $n$  змаганнях:

$$R_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{ji}, \quad (3.15)$$

**Математичний апарат обчислень.**

*Обчислення рейтингу за результатами одного старту.*

На початковому етапі роботи за пропонованою методикою для кожного  $j$ -го з аналізованих спортсменів фіксуються чотири результати, що показані на цьому турнірі:  $S_{j1}$  – сума очок у кваліфікаційній частині змагань (FITA-раунді);  $S_{j1}^{fin}$  – сума очок, набрана на всіх пройдених етапах фіналу олімпійського раунду (ER + FR) цих же змагань;  $P_{j1}$  і  $P_{j1}^{fin}$  – місця, які посіли лучники в кваліфікації (FITA-раунді) і фіналі турніру, відповідно. Оцінка в цьому випадку робиться приблизно, зі значним ступенем допущень. Так, тільки за результатами одного змагання не можна робити висновків ні про стабільність результатів  $G_2$ , ні про тенденцію їхньої зміни  $G_7$ . Що стосується кількісних показників перспективних можливостей спортсмена при максимумі  $G_3$  або його корисності при мінімумі результатів, то вони будуть однаковими.

Таким чином, формули для обчислення кількісних показників  $j$ -го спортсмена в цьому випадку будуть такі:

$$G_{j1} = S_{j1} \quad (3.16); \quad G_{j2} = O \quad (3.17); \quad G_{j3} = G_{j4} = \frac{S_{j1}}{S_{(m)1}^{\max}} \quad (3.18)$$

де  $S_{j1}$  – сума очок у кваліфікаційній частині змагань (FITA-раунді);

$S_{(m)1}^{\max}$  – результат лідера, у цьому виді програми.

Показник  $G_{j5}$  обчислюється за формулою:

$$G_{j5} = \frac{\frac{S_{j1}^{fin}}{a_{j1}}}{\left( \frac{S_{(m)1}^{fin}}{a_{(m)1}} \right)^{\max}} + \frac{\left[ 1 + 0,4(q_n - P_{j1}^{fin}) \right] + \left[ 1 + 0,05(P_{j1} - P_{j1}^{fin}) \right]}{q_n}, \quad (3.19)$$

де  $\frac{S_{j1}^{fin}}{a_{j1}}$  – відношення суми очок, яка набрана спортсменом на всіх етапах фіналу до числа випущених стріл;

$\left( \frac{S_{(m)1}^{fin}}{a_{(m)1}} \right)^{\max}$  – краще аналогічне спів-

відношення, що належить одному з  $m$  спортсменів, які брали участь у цьому турнірі;  $P_{j1}$ , і  $P_{j1}^{fin}$  – місця, що посідають спортсмени після кваліфікаційних змагань і після фіналу, відповідно;  $q_n$  – загальне число спортсменів, що беруть участь у фіналі.

Показник  $G_{j6}$  визначається по відношенню:

$$G_{j6} = \frac{S_{j1}}{Y_j}, \quad (3.20)$$

де  $Y_j$  – вік спортсмена.

І, нарешті, показнику  $G_{j7}$  надається значення:

$$G_{j7} = 0, \quad (3.21)$$

#### *Обчислення рейтингу за результатами двох стартів.*

Під час аналізу динаміки результатів спортсменів по двох турнірах у базу вихідної інформації заносяться два блоки вихідних даних:  $S_{j1}$ ,  $S_{j1}^{fin}$ ,  $P_{j1}$ ,  $P_{j1}^{fin}$  і  $S_{j2}$ ,  $S_{j2}^{fin}$ ,  $P_{j2}$ ,  $P_{j2}^{fin}$ , відповідно. Передбачається, що й у цьому випадку недостатньо даних для того, щоб говорити про кількісну характеристику стабільності результатів  $G_2$  і тенденції їхньої зміни  $G_7$ .

У такому випадку формули обчислення показників  $G_{j1}$  і  $G_{j2}$  для  $j$ -го спортсмена буде мати вигляд:

$$G_{j1} = \frac{1}{2} \left( S_{j1} + S_{j2} \right), \quad (3.22); \quad G_{j2} = 0, \quad (3.23)$$

Показник  $G_{j3}$  визначається:

$$G_{j3} = \frac{S_j^{\max}}{S_{\min(m)}^{\max}}, \quad (3.24)$$

де  $S_j^{\max}$  – максимальний з двох результатів  $j$ -го спортсмена;

$S_{\min(m)}^{\max}$  – максимальний результат із вибірки, до якої включено тільки найменші з двох результатів кожного спортсмена.

Показник  $G_{j4}$  обчислюється по формулі:

$$G_{j4} = \frac{S_j^{\min}}{S_{\max(m)}^{\max}}, \quad (3.25)$$

де  $S_j^{\max}$  – мінімальний з двох результатів  $j$ -го спортсмена;  $S_{\min(m)}^{\max}$  – максимальний результат з вибірки, у якій включені тільки найбільші з двох результатів кожного спортсмена.

І, нарешті, показники  $G_{j5}$ ,  $G_{j6}$  і  $G_{j7}$  визначаються таким чином. Показник  $G_{j5}$  обчислюється за формулою (3.19) із заміною результатів, показаних на перших змаганнях, на сукупність результатів другого старту.

$$G_{j6} = \frac{S_j^{\max}}{Y_j}, \quad (3.26), \quad G_{j7} = 0, \quad (3.27)$$

**Обчислення рейтингу за результатами трьох стартів.**

Під час аналізу результатів спортсменів, показаних у трьох турнірах:

$S_{j1}$ ,  $S_{j1}^{fin}$ ,  $P_{j1}$ ,  $P_{j1}^{fin}$  і  $S_{j2}$ ,  $S_{j2}^{fin}$ ,  $P_{j2}$ ,  $P_{j2}^{fin}$  і  $S_{j3}$ ,  $S_{j3}^{fin}$ ,  $P_{j3}$ ,  $P_{j3}^{fin}$  відповідно, з'являється можливість наближеної кількісної оцінки всіх семи прийнятих показників динаміки результатів.

Вважаючи, що результати, отримані на різних змаганнях у різних умовах, мають до деякої міри випадковий характер, для визначення кількісного значення показника  $G_{j1}$  використовується операція згладжування аналізованих результатів багаточленом першого ступеня по трьох точках (Жалдак, Кузьміна, Берлінська, 1995; Иванова, 1990).

Формула для обчислення показника  $G_{j1}$  для цього випадку буде мати вигляд:

$$G_{j1} = \overline{S}_{j3} = \frac{1}{6}(-S_{j1} + 2S_{j2} + 5S_{j3}), \quad (3.28)$$



Одночасно обчислюються і значення  $\overline{S_{j1}}$  і  $\overline{S_{j2}}$ . Вони необхідні для проміжних обчислень:

$$\overline{S_{j1}} = \frac{1}{6} (5S_{j1} + 2S_{j2} - S_{j3}), \quad (3.29)$$

$$\overline{S_{j2}} = \frac{1}{3} (S_{j1} + S_{j2} - S_{j3}), \quad (3.30)$$

Показник  $G_{j2}$  визначиться відношенням:

$$G_{j2} = \frac{1}{\Delta S_{j3}}, \quad (3.31)$$

де  $\Delta S_{j3}$  – стандартне відхилення (Масальгин, 1974) від отриманих згладжених значень функції зміни результатів  $F = (\overline{S_j})$ , що обчислюється за формулою:

$$\Delta S_{j3} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^2 (S_{jn} - \overline{S_{jn}})^2}{2}}, \quad (3.32)$$

Отримавши  $\Delta S_{j3}$  можна визначити можливі максимальний  $\overline{S_{j3}^{\max}}$  і мінімальний  $\overline{S_{j3}^{\min}}$  результати спортсмена, що також необхідні для подальших обчислень.

Для визначення значення показників  $G_{j3}$  і  $G_{j4}$  використовуються формули:

$$G_{j3} = \frac{\overline{S_{j3}^{\max}}}{\max[\overline{S_{3(m)}} - \Delta S_{3(m)}]}; \quad (3.33) \quad G_{j4} = \frac{\overline{S_{j3}^{\min}}}{\max[\overline{S_{3(m)}} + \Delta S_{3(m)}]}. \quad (3.34)$$

Показник  $G_{j5}$  обчислюється за формулою (3.19) із заміною результатів, що показані на перших змаганнях, на сукупність результатів третього старту. Для обчислення показника  $G_{j6}$  використовується формула (3.26), а показника  $G_{j7}$  формула:

$$G_{j7} = A = \frac{\overline{S_{j3}} - \overline{S_{j1}}}{(\Omega - S_j^{\max})^{1,8}}, \quad (3.35)$$

де  $\Omega$  – максимально можливий результат стрільби (у FITA-раунді – 1440 очок).

**Обчислення рейтингу за результатами чотирьох стартів.**

У разі аналізу результатів чотирьох змагань, практично, використовуються ті ж формули, що і для попереднього випадку. Для середніх, другого і третього, турнірів для згладжування результатів використовується формула (3.29).

**Обчислення рейтингу за результатами п'ятих стартів.**

Вибірка з п'яти змагань, що охоплює, як правило, період два – чотири місяці, вважається достатньою з погляду тривалості аналізу часового інтервалу. У випадку появи результатів наступного, шостого, турніру, результати, першого змагання, із процедури аналізу виключаються.

Функція  $F(S_j)$  отримана згладжуванням багаточленом першого ступеня за п'ятьма точками:

$$\overline{S}_{j1} = \frac{1}{5} (3 S_{j1} + 2 S_{j2} + S_{j3} - S_{j5}); \quad (3.36)$$

$$\overline{S}_{j2} = \frac{1}{10} (4 S_{j1} + 3 S_{j2} + 2 S_{j3} + S_{j4}); \quad (3.37)$$

$$\overline{S}_{j3} = \frac{1}{5} (S_{j1} + S_{j2} + S_{j3} + S_{j4} + S_{j5}); \quad (3.38)$$

$$\overline{S}_{j4} = \frac{1}{10} (S_{j2} + 2 S_{j3} + 3 S_{j4} + 4 S_{j5}); \quad (3.39)$$

$$\overline{S}_{j5} = \frac{1}{5} (-S_{j1} + S_{j3} + 2 S_{j4} - 3 S_{j5}); \quad (3.40)$$

Для наочності на рис.3.14 поданий графік функції  $F(S_j)$  від результатів у FITA-раунді й обчислені по ній показники  $G_i$  одного із членів національної команди України на етапі підготовки до XXXVIII чемпіонату світу в Джакарті

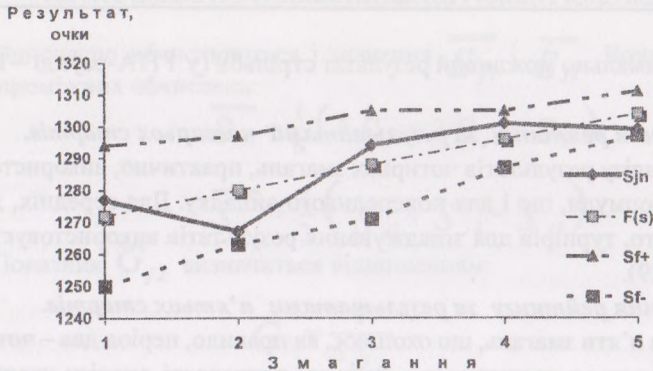


Рис.3.14. Динаміка спортивних результатів спортсменки:  $S_{jn}$  – абсолютні значення результатів спортсменки,  $F(s)$  – згладжені значення функції від цих результатів,  $Sf^+$  і  $Sf^-$  – верхнє і нижнє, відповідно, значення статистично можливого діапазону стабільності результатів

Обчислення показника  $G_{j1}$  для цього випадку здійснюється за формулою (3.40). Показник  $G_{j2}$  визначається за формулою (3.31), однак, необхідне значення  $\Delta S_{j5}$  обчислюється з використанням усього наявного діапазону змін результатів, тобто:

$$\Delta S_{j5} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^4 (S_{jn} - \overline{S_{jn}})^2}{4}} \quad (3.41)$$

Для визначення значень показників  $G_{j3}$ ,  $G_{j4}$  і  $G_{j5}$  використовуються формули (3.33), (3.34) і (3.19), із заміною всіх значень  $S_{j3}$  на  $S_{j5}$ , а значення  $S_{j1}$ ,  $S_{j1}^{fin}$ ,  $P_{j1}$ ,  $P_{j1}^{fin}$  на  $S_{j5}$ ,  $S_{j5}^{fin}$ ,  $P_{j5}$ ,  $P_{j5}^{fin}$  відповідно. За аналогічною схемою використовуються і формули (3.26) і (3.35), за допомогою яких обчислюються показники  $G_{j6}$  і  $G_{j7}$ .

Методика дає можливість оцінити результати, досягнуті спортсменом протягом одного – трьох місяців. Як показала практика, на цьому проміжку часу спортсмени, які активно виступають у змаганнях беруть участь у 2-5 великих турнірах. Отримані результати фіксуються для кожного спортсмена.

У процесі практичної роботи над програмною реалізацією розробленої методики визначилася можливість її деякої модифікації.

### **1. Порівняння результатів у різних вправах.**

З огляду на універсальність принципів закладених у системі (наявність максимального можливого результату -  $\Omega$  і середнє значення влучення однієї стріли) є можливість використання порівняльної оцінки результатів спортсменів не тільки у класичному, найбільш інформативному в технічному плані FITA-раунді (144 стріли), але й у вправі “олімпійський раунд” (OR), а також у вправах, що виконуються в приміщенні. Тоді необхідно визначити думки експертів про нові значення коефіцієнтів престижності, важливості та інші, щоб згладити різницю між результатами у стрільбі з лука просто неба і у приміщенні, а також оцінити рівнозначність результатів досягнутих у різних кваліфікаційних вправах, наприклад результату FITA-раунду (144 стріли) на чотирьох різних дистанціях (90м+70м+50м+30м) з результатом OR (72 стріли), який є сумою набраних очок на двох однакових дистанціях (70 м+70 м).

Одним із способів співставлення цих результатів є проектування реального результату отриманого на дистанції 70 м на результат FITA – раунду, на основі статистичної оцінки питомої ваги результатів отриманих на окремих дистанціях у загальній сумі FITA – раунду.

Формула для обчислення є такою:

$$S_j^{red} = \beta \frac{(S_{i1}^{70} + S_{i2}^{70}) \times 100}{2k}, \quad (3.42)$$

де  $k$  – відсотковий вміст очок, набраних на дистанції 70 м, у загальному результаті FITA-раунду;  $\beta$  – коефіцієнт рівнозначності результатів, що отримані у різних вправах (визначається експертами).

### **2. Застосування системи для аналізу командних змагань.**

Виділення командної вправи в окремі змагання викликає все більшу зацікавленість у фахівців, вимагаючи нових педагогічних підходів не тільки в тренуваннях, але також в аналізі і прогнозуванні результатів виступів.

Для тренерів може мати певний інтерес середній рейтинг кожної команди, за допомогою котрого можна приблизно порівняти потенціали команд за неоднакового кількісного складу; важливо відібрати такий колектив, який б “рівно” пройшов всю дистанцію важливих турнірів, не

показавши при цьому найвищих результатів, але досягнув запланованого результату.

### 3. Застосування системи як стимулу для участі в змаганнях.

Деякі зміни, внесені до формули (3.14), дозволять при підрахунках врахувати вплив на остаточну рейтингову оцінку, частоту участі спортсменів, за якими хочемо простежити, в обов'язкових стартах:

$$R_j = (1 - 0,05vc) \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{ji} \quad (3.43)$$

Отримана величина рейтингу  $R_j$  не є незмінною, знижуючись на 5 відсотків у випадку пропуску спортсменом кожного турніру, участь у котрому є для нього обов'язковою. За допомогою такого прийому позбавляються переваги спортсменів, які, отримавши високий рейтинг, пропускають важливі турніри, уникаючи цим гострої конкуренції або складних умов проведення змагань (в цьому випадку  $v = 1$ ). Не допускається зниження рейтингу для тих спортсменів, що пропускають змагання з цілком природних причин, наприклад, коли спортсмен певної країни не бере участь у національному чемпіонаті іншої країни (у цьому випадку  $v = 0$ ). Коефіцієнт  $c$  набуває значення від 1 до 4, що відповідає кількості пропущених змагань, котрі аналізується.

Це характерно під час формування національного рейтингу. Такий підхід стимулює участь у змаганнях, тому що величина рейтингу може враховуватися при формуванні національних збірних команд.

Результати практичного використання запропонованої методики дозволяють зробити такі висновки:

- надається можливість кількісної оцінки якості тренувального процесу, котрий часто оцінювався як правило єдиним показником – місцем, що посів лучник на змаганнях;
- значна питома вага у формуванні оцінки (понад 75%) припадає на фактичні результати спортсменів, а не на досягнення, отримані за рахунок цих результатів;
- оцінка ґрунтується на низці об'єктивних якісних показників, на котрі, як правило, звертають увагу тренери зі стрільби з лука;
- надається можливість порівняння результатів спортсменів, що не беруть участі в одних і самих же змаганнях і, які не входять до числа лідерів на престижних змаганнях;

- існує можливість оперативної заміни значень окремих показників, залежно від мети аналізу;
- охоплюється значна кількість спортсменів, що розумно обмежується;
- існує можливість порівняння потенціалів національних збірних команд до очних зустрічей у командних змаганнях;
- зберігається можливість спадковості запропонованої методики у разі можливих змін правил ФІТА.

### Загальна характеристика спортивної техніки стрільців з лука

В теорії спорту розрізняють такі види підготовки спортсменів: технічну, тактичну, фізичну, функціональну, психологічну і творчу. Ключове місце практично завжди посідає технічна підготовка.

Поняття спортивної техніки означає безпечну здатність, безпечний вид, естетичний, інтелектуальний, емоційний, біологічний та ін. Історично термін "техніка" походить від грецького слова "τέχνη", що перекладається як "мастерство" або "майстерність". Під цим розуміється сукупність навичок і прийомів у будь-якому виді діяльності. Інформація викладена спортивною технікою, на нашу думку, відноситься в основному до праць дослідників В. В. Гюбля (ДФМ) та А. М. Ляпушова / К. І. Забродина (1999). Ми скористалися до думки, що спортивна техніка — це спосіб організації внутрішніх і зовнішніх сил людини для здійснення у функціональну систему як окремих, так і загальних дій, що розв'язується руховими спроможностями спортсмена. Біомеханічними критеріями оптимальної руху, ситуації його доповнення, а також прийомів змагань і представлений системою рухів, що відповідають особливостям виду спорту (Гюбля, 2004).

Таким чином, спортивна руха є функціональною системою певного порядку. Предметом дослідження є руха як внутрішній або зовнішній, так і зовнішній і їхні структурні зв'язки, можливі впливи окремих сулюбивих рухів утворення системи рухів з врахуванням її системних властивостей і особливостей функціонування. Функціональна діяльність такої

## РОЗДІЛ 4

---

# МОДЕЛІ СПОРТИВНОЇ ТЕХНІКИ ЛУЧНИКІВ

### Загальна характеристика спортивної техніки стрільців з лука

В теорії спорту розрізняють такі види підготовки спортсменів: технічну, тактичну, фізичну, функціональну, психологічну і теоретичну. Ключове місце практично завжди посідає технічна підготовка.

Поняття спортивної техніки включає безліч аспектів: педагогічний, естетичний, психологічний, фізіологічний, біомеханічний тощо. Історично термін “техніка” походить від грецького слова “*téchne*”, яке перекладається як “мистецтво” або “майстерність” і під яким розуміється сукупність навичок і прийомів у будь-якому виді діяльності. Найповніше визначення спортивної техніки, на нашу думку, подається в останніх наукових дослідженнях В. В. Гамалія (2004) та А. М. Лапутіна і В. І. Бобровника (1999). Ми схилиємося до думки, що спортивна техніка — це спосіб організації внутрішніх і зовнішніх сил відносно тіла спортсмена у функціональну систему на основі генеральної мети, що регламентується руховими спроможностями спортсмена, біомеханічними критеріями оптимізації рухів, ситуаційною доцільністю, а також правилами змагань і представлений системою рухів, що відповідають особливостям виду спорту (Гамалій, 2004).

Звідси, спортивні рухи є функціонуючою системою низького порядку. Предметом вдосконалення є сили як внутрішні для людини, так і зовнішні і їхні структурні зв'язки, завдяки котрим окремі суглобові рухи утворюють систему рухів з притаманним їй системними властивостями і особливостями функціонування. Функціональна дієздатність такої

системи спрямована, насамперед, на досягнення генеральної мети — поліпшення спортивного результату. Індивідуальні рухові спроможності спортсмена залежно від ступеня їхнього розвитку і використання в тому або іншому руховому акті багато в чому визначають потенційний рівень функціонування системи, отже, і кінцевий результат дії. Ситуація, в якій відбувається реалізація рухової дії та правила змагань впливають на формування зв'язків у самій системі та обмежують оптимальні, з точки зору біомеханіки, механізми їхньої організації.

У практиці тренування слід урахувувати всю складність цього процесу і будувати його на основі системної єдності мети з педагогічними, психологічними, фізіологічними і біомеханічними компонентами спортивної техніки.

Спортивна техніка як предмет навчання і вдосконалення є наріжним каменем тренувального процесу, основу якого складають педагогічні дії, що формують як мотивацію до дії, так і саму дію (Ашмарин, 1990; Матвеев, 1999; Тер-Ованесян, 1978). Фізіологічний феномен скорочення і розслаблення м'язів зумовлений діяльністю ЦНС як координуючої субстанції, діяльність якої, у свою чергу, зумовлена психічними процесами (Ашмарин, 1980; Бернштейн, 1991). Кінцевий результат скорочення м'язів — механічний рух, тобто переміщення тіла людини або його біолонок в просторі і часі, який вимірюється біомеханічними характеристиками. Якщо результат руху співпадає з поставленою метою — зміст тренувального процесу орієнтується на його удосконалення, якщо не співпадає — вносяться відповідні корективи. Але у кожному разі продовження тренувального процесу, спрямованого на вдосконалення техніки, починається з педагогічних дій.

Від правильності образу (моделі) майбутньої дії, зокрема, розуміння принципу побудови механізму її реалізації (техніки вправи) залежатиме спортивний результат змагальної вправи.

Стрільба з лука належить до тих видів спорту, що характеризуються відносно стабільною кінематичною структурою. Але зростання технічної майстерності стрільців з лука зумовлюється вдосконаленням динамічної структури рухової дії, варіативності, потужності і узгодженості силових дій, частина яких бере участь у досягненні рухового завдання (збереження форми), а частина — виконує функцію забезпечення надійності, тобто нейтралізує збиваючі чинники різної природи. Якщо цей “запас міцності” відсутній або недостатній, навіть незначні перешкоди можуть порушити



необхідну просторову форму руху. Отже, зовнішня форма рухових дій стрільців разом із особливостями передачі руху від ланки до ланки є віддзеркаленням дій сил, що виникають в процесі виконання змагальної вправи. Нестабільність значень функції “сила–прискорення” пов’язана як з мінливістю властивостей елементів багатоланкової системи, так і з наявністю феномена неоднозначності умов передачі енергії. Тому думка про те, що однакова кінематика може бути за різної динаміки і навпаки – є щонайменше некоректною (Гамалий, 2004). За різної динаміки може бути досягнута схожа просторова форма руху – положення тіла і його окремих частин в різні моменти часу, траєкторії, шлях і переміщення окремих точок тіла, проте характер переміщення за траєкторіями (швидкість, прискорення) відтворити в ідентичному повторі, як підтверджує практика, практично неможливо.

Просторова форма руху, що найлегше сприймається візуально, часто є критерієм опанування техніки рухової дії спортсменом, що вкрай помилково. Створивши бажану просторову форму рухової дії, тренер іноді переносить акцент тренувальних дій на розв’язання інших завдань тренувального процесу, вважаючи, що техніка даної дії вже опановано, про що може побічно свідчити навіть зростання спортивного результату. Але показаний спортсменом результат як критерій якості спортивної підготовки може поліпшуватися не тільки за рахунок підвищення технічної майстерності, але і за рахунок поліпшення показників інших сторін підготовленості, зокрема, функціонально-морфологічної готовності організму. На перший погляд такий стан може задовольняти і тренера, і спортсмена, проте даний підхід є безперспективним, оскільки зростання функціональних можливостей не безмежне і вимагає невиправдано великих витрат енергії і часу. Коефіцієнт корисної дії такої механічної системи дуже малий, і значна частина рухового потенціалу спортсмена залишається не використаною.

Існує і інший, хоча не антагоністичний, підхід до визначення ефективності та вдосконалення спортивної техніки. При цьому показники спортивної техніки кореспондуються з рівнем спортивної результативності. Введення спортивного результату в структуру спортивно-рухової діяльності дозволяє з неврегульованої сукупності різномірних процесів побудувати ієрархічно впорядковану, структуровану систему, що функціонує за коловим принципом. При цьому результат технічних дій об’єктивно є прямим результатом цілеспрямованого переміщення тіла

спортсмена і/або його ланок в часі і просторі. Необхідне переміщення відбувається завдяки впорядкованому скороченню і розслабленню різних м'язових ансамблів, котрі координуються ЦНС. Вища нервова діяльність, у свою чергу, зумовлена психічними процесами. І, як уже зазначалося, для досягнення поставленої мети, тренер застосовує різноманітні необхідні педагогічні прийоми. На основі цього, модель технічних дій може бути представлена у вигляді трьохсекційного "чорного ящика", який відображає, відповідно, біомеханічний, фізіологічний і психологічний аспекти, де входом є психічні параметри спортсмена, а виходом - біомеханічні характеристики його рухів, що об'єктивно відображають процес досягнення конкретного результату технічних дій.

Досягнутий результат порівнюється з поставленою метою (або з цільовою моделлю), і зусилля тренера і спортсмена прямують на те, щоб розбіжність ставала все менше і зрештою досягнутий результат співпав з поставленою метою (що на практиці трапляється не часто).

З викладеного вище випливає, що процес формування і вдосконалення спортивної техніки і становлення технічних дій має циклічний характер. Він починаючись на всіх етапах і стадіях з педагогічних дій (іноді з корекцією цільової моделі), завершується біомеханічним процесом, що приводить до конкретного результату.

Якщо біомеханічні характеристики рухів і особливо параметри конкретних спортивно-технічних результатів варіюють в дуже широкому діапазоні, то це означає, що процес формування техніки не закінчений. Звуження і стабілізація діапазону варіативності з переходом більшості параметрів самоконтролю на підсвідомий автоматизований рівень свідчать про те, що техніка виконання даної вправи сформувалася.

Таким чином, будь-який спортивно-технічний результат є наслідком реалізації спортсменом тієї або іншої техніки на основі виконання певних технічних дій, що об'єктивно проявляються в характерних рухах, або, іншими словами, у впорядкованому переміщенні тіла спортсмена і/або його ланок в часі і просторі за взаємодії з предметами навколишнього середовища і спортивними снарядами.

Саме за зовнішньої картиною рухів, що виконуються спортсменом, і результатом, що зіставляється з метою, судять про якість техніки конкретного спортсмена.

З урахуванням викладеного, під спортивною технікою (у значенні техніки виконання спортивної вправи, що сформувалася) пропонується

розуміти доведений до автоматизму спосіб розв'язання цільових рухових завдань за допомогою цілеспрямованих технічних дій. Це забезпечується впорядкованим психофізіологічним процесом і злагодженою роботою м'язових ансамблів, виключно характерне переміщення тіла спортсмена і/або його ланок в часі і просторі, котрі приводять до конкретного спортивно-технічного результату.

Дане визначення має на меті системно ув'язати категорії мети і результату з педагогічними, психологічними, фізіологічними і біомеханічними складовими поняття спортивно-техніки.

З кібернетики відомо, що для ефективного управління частину вихідної інформації слід подавати на вхід керованої або самокерованої системи. Оскільки вихідними параметрами спортивно-технічних дій є біомеханічні характеристики, їх необхідно зареєструвати, виміряти, проаналізувати і подати результати на вхід підсистеми керівника системи "тренер – спортсмен" для вироблення адекватних дій керівників.

Теоретичний підхід до оцінки техніки стрільби дав можливість побудувати методіку навчання на об'єктивній науковій основі, дозволив рекомендувати оптимальні варіанти виконання елементів техніки та пізнати об'єктивні умови влучання стріли у мішень.

Оцінка якості спортивно-техніки стрільців невід'ємні від поняття точності. Зокрема велике зацікавлення у дослідників викликає вивчення впливу різних факторів на точність рухів (втома, перерва у заняттях, трудова і спортивна спеціалізація, температурний режим, рівень розвитку фізичних якостей, які виступають збиваючими факторами) (Блащак, 1991; Бретз, 1997; Ровний, 2001). Думки різних авторів щодо багатьох важливих питань у даному напрямку є певною мірою суперечливими. Так, у роботах О.М.Калініченко (1996) та А.В.Івойлов (1986) встановлено, що точність м'язових зусиль зростає з підвищенням спортивно-майстерності, а в дослідженні В.П.Лук'яненка (1991) не виявлено істотної різниці м'язової чутливості у спортсменів та осіб, які не займаються спортом. Протилежні думки можна зустріти при розгляді досліджень, метою яких було вивчення впливу рівня розвитку сили, фізичного розвитку і рухової підготовленості на точність аналізу рухів. Більшість причин подібних розбіжностей полягає певною мірою, у використанні різних моделей рухів, а також різноманітних методів оцінки й обробки результатів досліджень. В доступній літературі виявлено різні підходи до визначення поняття точності рухів спортсмена. Враховуючи викладене,

а також те, що стрільба з лука як вид спорту безпосередньо пов'язаний з поняттям точності у різних її виявах, видається актуальним акцентування уваги на дослідженні саме цієї проблеми.

Поняття “точність” може мати кілька формулювань. Проте більшість з них може бути зведено до двох варіантів. А саме: 1) “точність”, як вид координаційних здібностей, і 2) “точність”, як ступінь близькості до відповідного рухового завдання. Формування єдиної думки щодо зазначених питань істотно полегшило б аналіз і систематизацію результатів окремих досліджень. Проте проаналізувавши глибше, можна зрозуміти тісний взаємозв'язок між координованістю людини і точністю виконання конкретної вправи. Звернімо увагу ще на одну важливу обставину загального порядку. В основі методів фіксації показників точності лежать вимірювання, відтворення і диференціювання просторових, часових і силових параметрів рухів. У багатьох роботах можна зустріти узагальнене позначення цих пропріоцептивних функцій. Особливо часто змішуються поняття про функції диференціювання і відтворення. Виділення просторових, часових і динамічних характеристик рухових дій може бути тільки чисто умовним і застосовуватися для полегшення аналізу і викладу результатів дослідження. Однак, навіть у таких випадках, навряд чи виправданим є їхній розгляд у якісно єдиному ряді явищ хоча б тому, що ми маємо справу, з одного боку, із проявом фізичної якості – зусиллям, а з іншого боку – з результатом інтерпретації в конкретному русі категорій простору і часу, здійсненого за допомогою прояву цього зусилля. Таким чином, є підстави розглядати силову характеристику як провідну, а просторову і часову – як похідні від неї. Справедливість такої думки підтверджується таким. Єдиним посередником між командами нервової системи і досягненням результату руху (у тому числі певної точності рухів у просторі і в часі) є м'язи і зусилля, що розвиваються ними (Ровний, 2001). Отже, власне просторові і часові характеристики руху, що є похідними від зусилля і перебувають у безпосередній залежності від досконалості керування м'язовою активністю, характеризують собою як точність докладання зусилля. Вище наведене означає, що точність просторових і часових параметрів може розглядатися лише як окремі показники керованості м'язовим скороченням, що лежить в основі досягнення цієї точності. Стрільба з лука є до складнокоординаційним видом спорту. А кожен складнокоординаційний рух це – система, тобто таке утворення, у якому зв'язки між окремими компонентами системи, мають перевагу

над внутрішніми рухами цих компонентів і над зовнішніми впливами на них. З цього випливає, що закономірності, виявлені під час вивчення елементів системи у відриві один від одного, можуть не мати нічого спільного з тими, котрі в дійсності спостерігаються за функціонування цілісної системи. Саме з проявом цієї закономірності ми стикаємося у стрільбі з лука. Точність у стрільбі з лука це – вияв таких нових якостей, котрі виникають під час взаємодії елементарних точнісних компонентів, і тому закономірності їхнього прояву в складному русі можуть не мати нічого спільного з тими, котрі спостерігаються під час аналізу окремих точнісних компонентів цього руху. В такому випадку підтверджується відома істина про те, що, будуючи алгоритм аналізу рухів лучника від цілого до деталей, може виявитися їхня необхідність і достатність, зумовлена відношенням кожної з них до цілого і одна до одної.

Під час аналізу основної змагальної вправи у стрільбі з лука розрізняють два типи точнісних завдань. Головне завдання в стрілецькому спорті – влучення у певну точку або об'єкт. При цьому не має значення, яким чином виконується змагальна вправа (обмеження встановлюється тільки правилами змагань), головне - очкова результативність. Отож, з одного боку, необов'язково знати траєкторію ланок тіла стрільця, просторові, часові та темпо-ритмові параметри переміщення певної точки тіла лучника, необхідно лише потрапити у визначену ціль (у мішень, якомога ближче до її центру). Такі рухові завдання називають завданнями влучення, а точність – цільовою точністю. З другого боку, теоретично і практично доведено, що для виконання головного (першого) завдання необхідно забезпечити точність руху робочих ланок тіла практично по усіх їхніх траєкторіях (приклад – постановка руки, котра утримує лук, збереження кінематичних параметрів під час переміщення руки, котра виконує натяг і дотяг тятиви). Такі рухові завдання називають завданнями слідування (рис.4.1).

Цільова точність характеризується величиною відхилення від цілі. Залежно від конкретного виду рухового завдання використовують різні способи оцінки точності. У стрільбі з лука завдання стрільця полягає у влученні стрілою якомога ближче до центру мішені. При цьому середня точка влучення може відхилитися від центра мішені. Це відхилення називається систематичною помилкою влучення. Крім того, місця влучення стріли у мішень будуть розсіяні щодо середньої точки влучення. З балістики відомо, що це розсіювання описується законом нормального

розподілу. Нормальний розподіл характеризується середньою величиною і стандартним (середньо квадратичним) відхиленням. Стандартне відхилення вказує величину випадкової помилки влучення. Величина, зворотна стандартному відхиленню, називається купчастістю влучення. Систематична помилка і купчастість разом характеризують цільову точність. Якщо систематична помилка дорівнює нулю, тобто якщо спортсмен попадає в центр мішені, цільова точність характеризується тільки купчастістю. У стрільбі з лука є важливим розрізняти вертикальні і горизонтальні складові відхилення. У літературі зустрічаються поняття вертикальної і горизонтальної точності. Для оцінки кожної з них треба знати систематичну і випадкову помилки, тобто разом чотири показники.



Рис.4.1. Структура типів точності у стрільбі з лука

Відхилення від центра мішені праворуч і ліворуч залежать від азимуту, а відхилення у вертикальній площині – від кута і швидкості вильоту стріли. При цьому стріла влучає в ціль лише за суворо визначеного сполучення кута, азимуту і швидкості вильоту. Зміна однієї з цих характеристик за постійного значення іншої призводить до промаху. Спортивна практика та наукові дослідження показують, що головні труднощі в досягненні високої цільової точності полягають саме в тому, щоб забезпе-

чити правильне сполучення кута, азимуту і швидкості вильоту стріли.

У досягненні високої цільової точності істотну роль відіграє техніка виконання вправи, зокрема така організація рухів, за якої полегшується виправлення помилок, припущених під час виконання змагальної вправи. Оскільки подібна корекція відбувається до того, як стає відомим підсумковий результат дії, її називають попередньою або прелімінарною (від лат. *pre* – перед і *limin* – *poris*) корекцією (рис.4.1).

Підсумовуючи наведене відзначаємо, що генеральною умовою високої результативності лучників є висока цільова точність, яка в свою чергу зумовлена точністю кінематичних параметрів виконання змагальної вправи. Звідси, доцільно здійснювати вивчення і дослідження факторів впливу на формування кута підняття лука, азимуту і швидкості вильоту стріли. Відомо, що точність руху залежить від індивідуальних особливостей людини, рівня її фізичної підготовленості, цільової настанови та інших факторів, внаслідок чого точність у спортивній практиці лучників можемо розглядати як один з основних критеріїв ефективності рухової і змагальної діяльності, а відповідно і як інтегральний критерій опанування і застосування техніко-тактичної майстерності в стрільбі з лука. Отож, під точністю в стрільбі з лука будемо розуміти інтегральну кількісну характеристику, яка відображає ступінь відповідності процесу координації зусиль у просторі і часі особливостям рухового завдання й умовам його реалізації.

Техніка виконання пострілу забезпечує досягнення максимальної точності за дотримання певних умов. Прицілювання повинно забезпечувати наведення вертикальної площини пострілу в ціль, за постійного натягу тятиви та одного постійного (необхідного) кута підвищення для однієї дистанції. Траєкторія польоту стріли та точне влучання повинні знаходитися в одній вертикально розміщеній площині – площині пострілу. Оскільки стріла після звільнення тятиви деякий час переміщується в контакт з луком, а через нього і зі стрільцем, то необхідно, щоб:

1) дії стрільця після випуску тятиви не порушували б вихідного положення прицілу протягом певного часу, необхідного для повного відділення стріли від лука;

2) кут підвищення стріли для даної дистанції за постійної величини розтягу лука має забезпечуватися за рахунок постійного розтягу між оком стрільця та стрілою;

3) робота лівої (що утримує лук) та правої руки (яка випускає тятіву) стрільця повинні проходити в площині пострілу;

4) ліва рука (при лівосторонньому затиску) відразу ж після зняття навантаження повинна переміщуватися тільки у напрямку та площині пострілу. Робота правої руки щодо звільнення тятиви повинна уникати можливості сковзання або стягування тятиви у бік від площини пострілу.

5) за певного положення затиску виникає поворот руківки лука навколо вертикальної осі, що викликає появу вихрватості у русі плечей лука, тому рука, що утримує лук, кистю лівої руки (при лівосторонньому затиску) не повинна призводити поворот руківки лука за рахунок затиску;

б) зміна положення осей плечей лука внаслідок натягу та випуску тятиви має проходити у площині симетрії лука та лежати в одній площині – площині пострілу. Не повинно бути вихрватості ні в русі плечей, ні в русі тятиви;

Наведені вище умови точної стрільби лягли в основу техніки стрільби, що описана далі.

### Морфо-топографічна структура цілісного пострілу в стрільбі з лука

Для якісного та глибокого аналізу рухових дій та рухів під час виконання змагальної вправи необхідно використати морфологічні дані спортсменів про їхній руховий апарат, що являє собою складну систему з передачі та утворення силових зусиль.

Практичний досвід, педагогічні спостереження, дані відеоаналізу свідчать про доцільність виділення семи фаз виконання змагальної вправи лучників, які кореспондуються з сучасними уявленнями про раціональне технічне виконання влучного пострілу (рис.4.2).

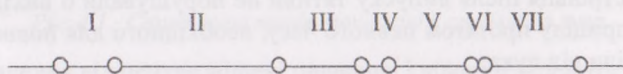


Рис.4.2. Фазний розподіл цілісного пострілу з лука:

*I – підготовча; II – встановлення лівої руки; III – розтягування лука; IV – прикладка; V – дотяг; VI – власне постріл; VII – збереження пози*



Систематизація м'язових груп згідно фаз розподілу  
цілісного пострілу з лука

Фази пострілу	М'язи, які беруть участь в роботі	Тривалість, с
I. Підготовча	Малий грудний, підключичний, передній зубчастий, трапецієподібний, ромбовидний, нижні пучки найширшого м'яза спини, дельтовидний, підостний, малий круглий, двоголовий плеча, супінатор, плечепроменевий, надостний, довгий відвідний великого пальця, підіймач лопатки, великий грудний, триголовий плеча, круглий м'яз-пронатор, плечовий, глибокі згиначі пальців кисті	1
II. Встановлення лівої руки	Підлопатковий, найширший спини, великий круглий, великий грудний, дельтовидний, круглий пронатор, квадратний пронатор, плечопроменевий, довга головка триголового плеча	3
III. Розтягування лука	Дельтовидний, надостний, найширший спини, трапецієподібний, підостний, ромбовидний	1,5
IV. Прикладка	Найширший спини, ромбовидний, трапецієподібний, триголовий плеча	0,5
V. Дотяг	Триголовий плеча, ромбовидний, трапецієподібний, найширший спини, глибокий згинач пальців	1,5
VI. Власне постріл	Дельтовидний, надостний, триголовий плеча, ромбовидний, трапецієподібний, найширший спини	0,1
VII. Збереження пози	Надостний, дельтовидний, плечопроменевий, трапецієподібний, довгий відвідний, великого пальця	2,0

Таблиця 4.2

## Хроно-координаційна схема роботи м'язів під час виконання цілісного пострілу з лука

М'язи	Фази пострілу, с						
	Підготовча	Наведення	Розтягування лука	Прикладка	Дотяг	Випустятятиви	Завершальна
<b>М'язи лівої руки</b>	1	3	4	4,5	6	6,1	8,1
квадратний пронатор							
круглий пронатор							
великий грудний							
підлопатковий							
довгий відвідний великого пальця							
плечопроменевий							
м'яз - супінатор							
малий круглий							
підключичний							
малий грудний							
підостний							
надостний							
найширший м'яз спини (ліва частина)							
дельтовидний двоголовий плеча							
<b>М'язи правої руки</b>							
надостний							
глибокий згинач пальців							
круглий пронатор							
плечовий							
підлопатковий							
великий круглий							
передній зубчастий							
великий грудний							
підйімач лопатки							
плечопроменевий							
малий круглий							
малий грудний							
підостний							
найширший м'яз спини (права частина)							
дельтовидний							
двоголовий плеча							
ромбовидний							
триголовий плеча							
трапецієподібний							

Для наочності та кращого розуміння моменту включення в роботу м'язів зазначених в табл. 4.1 нами розроблено відповідну хроно-координційну схему (табл. 4.2). Звідки зрозуміло, що найбільше фізичне навантаження припадає на такі м'язи: трапецієподібний, триголовий плеча, ромбовидний і найширший спини (права частина), що виконують роботу динамічного характеру. Найбільш навантаженими м'язами лівої кінцівки є дельтовидний, надостний, плечопроменевий, великий грудний і квадратний пронатор, що виконують статичну роботу для утримання лівої кінцівки.

Звідси на основі міографічного та гоніометричного аналізу визначимо групи м'язів, на котрі найбільше припадає фізичне навантаження під час виконання пострілу з лука (табл.4.1).

### **Кінематичні моделі рухових дій виконання пострілу з лука**

Для об'єктивізації аналізу рухів та рухових дій стрільця вважаємо за доцільне використання біомеханічних даних про руховий апарат верхніх кінцівок як матеріальну систему процесу рухів. Руховий апарат верхніх кінцівок лучника з точки зору біомеханіки являє собою замкнутий через зброю біокінематичний ланцюг, усі ланки котрого об'єднані в біокінематичні пари і мають між собою зв'язки, що визначають зовнішню свободу їхніх рухів. Отже, засадничою основою одного із способів моделювання рухового апарату лучників є уявлення про руховий апарат, як про систему взаємопов'язаних через суглоби біокінематичні ланки, котрі мають визначені кінематичні зв'язки та обмеження.

Загалом процес пострілу з лука полягає в діях стрільця зі звільнення натягнутої тятиви. Характер цих рухів має бути таким, щоб при цьому не змінювалися положення площини пострілу та величина кута підвищення лука, положення яких в просторі встановлюється стрільцем під час прицілювання.

Напрямок лінії пострілу визначають двома точками. Перша точка відповідає місцю, де відбувається контакт хвостовика стріли з тятивою у стані натягнутого лука, а друга точка характеризується координатами місця контакту руки, що утримує лук, з руківкою лука. Відхилення цих точок від початкового положення, котрі можуть виникати внаслідок дій лучника зі звільнення стріли (випуску), виключає можливість точного

влучання стріли у мішень. Оскільки рука, що натягує лук (звично права, і у подальшому будемо розуміти власне її) припиняє вплив на першу точку відразу ж після звільнення тятиви, розглянемо її рух до моменту випуску. Рука, що утримує лук (звично ліва) деякий час після звільнення тятиви може здійснювати збиваючу дію на першу точку. Цей проміжок часу відповідає тривалості переміщення стріли в контакті з луком.

Отже, основним положенням, яке лежить в основі кінематики виконання прицільного пострілу з лука, є припущення про те, що дії лучника допускають переміщення двох зазначених точок тільки в площині пострілу. Інакше, влучання в задану площу на мішені (за збереження всіх інших умов) неможливе. Це положення безпосередньо виходить з основних постулатів теорії пострілу.

Опис кінематики пострілу ґрунтується на графічному аналізі переміщення окремих ланок шарнірного механізму, котрий представляє скелет верхніх кінцівок та верхню частину тулуба людини. Механізм, який розглядається підпадає під дію законів, що описуються теоретичною механікою. Використаємо дані закони, аналізуючи кінематику пострілу з лука.

Умовно можна уявити схему цього шарнірного механізму як це показано на рис.4.3. та рис.4.4. Ланки скелету виконують роль важелів і відповідають певним елементам рухової системи спортсмена (табл. 4.3).

Важелі ланок скелету з'єднані між собою суглобами, котрі можна розглядати як шарніри обертання. Розрізняють, що найменше, два типи шарнірів обертання - циліндричний, який припускає переміщення навколо однієї осі, та кулястий, де переміщення можливі в кількох площинах. В першому випадку переміщення ланок відбувається в площині, яка перпендикулярна осі шарніру. Другий тип шарніру забезпечує переміщення ланок всередині деякого конуса з вершиною у його центрі. Максимальні значення величин кутових переміщень ланок залежать від конструкції шарнірів.

Отже, відповідно до рухливості суглобових з'єднань кісток розглянемо характер шарнірних з'єднань ланок механізму, що моделюються, де (рис.4.3, рис.4.4.):

- Ш2л, Ш2п - кулясті шарніри, які відповідають лівому та правому зовнішнім ключичним суглобам;

- ШЗл, ШЗп - кулясті шарніри, які відповідають лівому та правому плечовим суглобам;
- Ш4л, Ш4п - циліндричні шарніри, які відповідають лівому та правому ліктьовим суглобам;
- Ш5л, Ш5п - кулясті шарніри, які відповідають об'єднаним променезап'ястковим та міжзап'ястковим суглобам;
- Ш6л-Ш8л, Ш6п-Ш8п - циліндричні шарніри, які відповідають проміжним суглобам пальців лівої та правої руки, відповідно.

Таблиця 4.3

Ланки скелету поясу верхніх кінцівок і тулуба, що беруть участь у виконанні пострілу з лука та їх умовні позначення

Ланка	Умовне позначення	Ланка	Умовне позначення
Ключиця права	Л1п	Ключиця ліва	Л1л
Лопатка права	Л2п	Лопатка ліва	Л2л
Плечова кістка правої руки	Л3п	Плечова кістка лівої руки	Л3л
Ліктьова та променева кістка передпліччя правої руки	Л4п	Ліктьова та променева кістка передпліччя лівої руки	Л4л
Об'єднана ланка кісток зап'ястка і п'ястка правої руки	Л5п	Об'єднана ланка кісток зап'ястка і п'ястка лівої руки	Л5л
Основна фаланга пальця правої руки	Л6п	Основна фаланга пальця лівої руки	Л6л
Середня фаланга пальця правої руки	Л7п	Середня фаланга пальця лівої руки	Л7л
Кінцева фаланга пальця правої руки	Л8п	Кінцева фаланга пальця лівої руки	Л8л

Ця конструкція за допомогою шарнірів Ш1л та Ш1п кріпиться до нерухомої основи С, якою є грудна кістка. Відносно такої основи будемо розглядати переміщення окремих ланок кінематичного ланцюга під час виконання пострілу з лука.

Вільні крайні ланки Л5л та Л8п контактують з точками В та А (точки контактів) і утримуються в цьому положенні відповідними м'язами. Специфіка утримання лука в натягнутому стані дозволяє вважати, що місця контакту лука з ланками скелету лучника є центрами шарнірів. Причому в точці В маємо кулястий шарнір, а в точці А складний, який припускає взаємне роз'єднання ланки Л8п і тятиви шляхом скочування тятиви. Механізм знаходиться в рівновазі під дією сил пружності лука, які прикладені в точках А та В, та міжланкових сил, що є результатом перетворення хімічної енергії на механічну у м'язових волокнах.

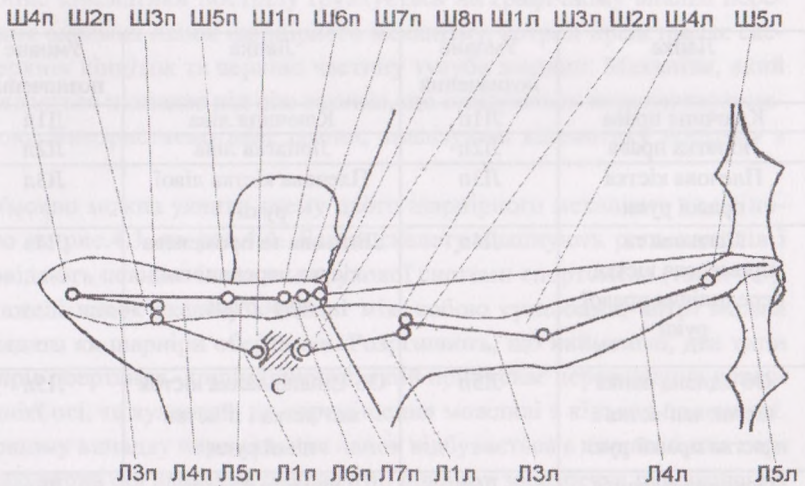


Рис. 4.3. Схема кінематичного ланцюга лучника під час виконання пострілу з лука (фронтальна площина)

Щоб дія зовнішніх сил була спрямована вздовж площини пострілу, тобто лінії АВ, необхідно виключити можливість появи сил, спрямованих під кутом до лінії АВ. Іншими словами, лук повинен “самовстановлюватися” під дією сил пружності та реакції опори. Розглянемо умови самовстановлення лука в точці В.

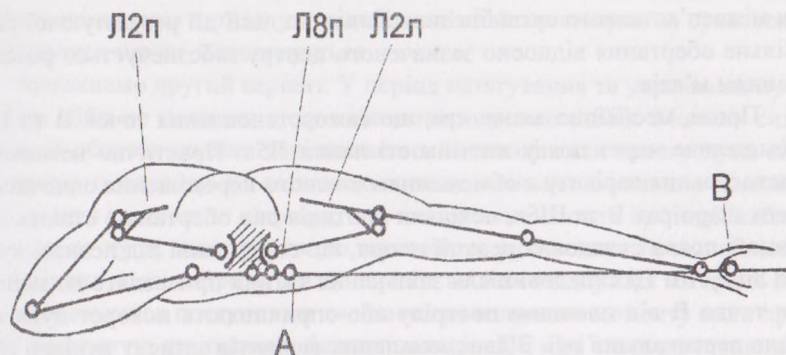


Рис. 4.4. Схема кінематичного ланцюга лучника під час виконання пострілу з лука (горизонтальна площина)

Складова реакції опори в точці В, що спрямована під кутом до площини пострілу, буде відсутньою, якщо момент сили тертя навколо центра шарніру в точці В дорівнюватиме нулю. Зменшенню тертя в шарнірі В сприяє „вільний” затиск руківки лука. В цьому випадку, опора в точці В має „балансуючий” нестійкий характер, що допускає, в деяких випадках, ковзування по контактних поверхнях. Під час ковзування момент сили тертя в опорі буде залежати від стану поверхонь контакту та відстані від осі повороту.

Крім вільного затиску руківки лука може застосовуватися „жорсткий” затиск. Можна вважати, що при такому затиску ланка Л5л стає елементом лука. Сила натягу, в цьому випадку, прикладається до шарніру Ш5л. Для того, щоб момент сил тертя в шарнірі Ш5л не враховувати, напрямок сили натягу лука повинен проходити через вісь шарніру.

Отже, з аналізу дії зовнішньої сили на кисть руки, що утримує лук, можна зробити проміжні висновки:

1. Основною умовою „вільного” затиску є безперешкодне самовстановлення лука під дією його пружних сил та реакції опори.
2. Мінімізація моментів сил тертя в місці контакту руки з руківкою лука та зменшення площі такого контакту є додатковими умовами оптимального виконання змагальних дій у разі „вільного” затиску.
3. За „жорсткого” затиску положення кисті на руківці лука має бути таким, щоб умовний центр об'єднаного променевозап'ясткового

та міжзап'ясткового суглобів знаходився на лінії дії результуючої сили. Вільне обертання відносно зазначеного центру забезпечується розслабленням м'язів.

Проте, необхідно зазначити, що самовстановлення точок В та Ш5л неможливе через появу нестійкості ланки Л5л. Практично неможливо застосування варіанту з обмеженням вільного переміщення одночасно в двох шарнірах В та Ш5л, оскільки протидія сил обертанню стають причиною появи складових реакції опори, що спрямовані під певним кутом до лінії АВ. Ці складові після звільнення тятиви призводять до зміщення точки В від площини пострілу або спричиняють поворот лука навколо вертикальної осі. З двох можливих варіантів затиску руківки лука, на нашу думку, перевагу слід віддати „вільному”, оскільки при цьому легше враховувати чинники, зміни величин котрих, спричиняють появу практично неконтрольованих збиваючих моментів сил в точці В, а саме показники: сили тертя між поверхнями накладки руківки лука та внутрішнього боку кисті, площі опори. Водночас, у разі „жорсткого” затиску дотримання умов самовстановлення в шарнірі Ш5л залежить від положення кисті відносно площини стрільби, ступеня напруження відповідних м'язів, де дати об'єктивну кількісну оцінку надзвичайно важко.

В період прицілювання та обробки випуску рука, котра натягує та утримує лук впливає на тятиву через ланку Л8п. Утримання тятиви в натягнутому положенні лука відбувається за рахунок розміщення поверхні дистальних фаланг пальців практично перпендикулярно до напрямку сили пружності лука. В іншому випадку, в точці контакту тятиви з пальцями виникатимуть сили, що виводитимуть точку А з площини пострілу. Звільнення тятиви досягається зміною положення ланки Л8п відносно вектора сили пружності лука. При цьому, необхідно забезпечити безперешкодне переміщення точки А вздовж лінії АВ. Існують кілька теоретичних варіантів такого переміщення. Один з можливих варіантів безперешкодного звільнення тятиви полягає у примусовому переміщенні ланки Л8п від точки А до точки В з подальшим її відведенням від лінії АВ. Це примусове переміщення необхідно здійснювати зі швидкістю більшою від швидкості руху точки А під дією пружних сил лука. Безперешкодне звільнення тятиви можливе також у разі повороту ланки Л8п відносно шарніра Ш8п під дією сили пружності лука. Для того, щоб на місці контакту ланки Л8п не виникали сили, спрямовані під деяким кутом до лінії АВ, момент тертя в шарнірі Ш8п повинен наближатися до нуля. Перший



варіант звільнення тятиви у стрільбі з олімпійського лука на сучасному етапі практично не застосовується.

Розглянемо другий варіант. У період натягування та утримання лука шарнір Ш8п не повинен допускати повороту ланки Л8п. Момент сили протидії обертанню має дорівнювати моментом сили натягу лука відносно цього шарніру. Як зазначалося вище, звільненню тятиви повинно відповідати такий стан шарніру, при якому момент сили протидії наближається до нуля, що теоретично можливо у разі повного розслаблення відповідних м'язів. Проте, такий перехід не може відбуватися миттєво. Він характеризується поступовим зменшенням величини моменту сили протидії розкриттю дистальних фаланг пальців. По мірі такого зменшення, точка А переміщується уперед і вбік під дією сили пружності – Р та сили реакції опори – N, а місце контакту зміщується від початкового положення варіантом повороту, створюючи силу, котра спрямована під кутом до площини пострілу. Ця сила R дотична до контактної поверхні, що призводить до зміщення точки А, а значить – до відхилення точки прицілювання на мішені (рис.4.5).

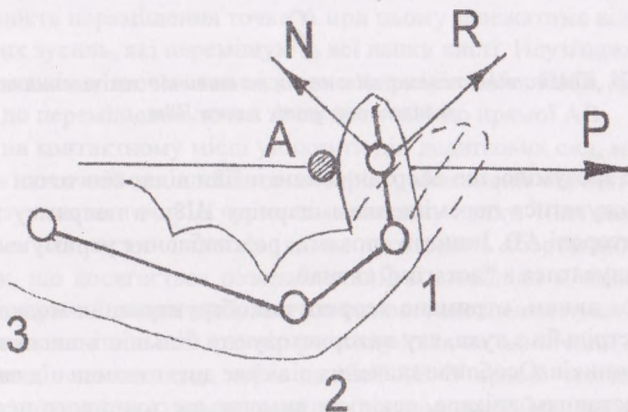


Рис. 4.5. Кінематична схема звільнення тятиви від захоплення пальцями

Для мінімізації переміщення точки А в бік від площини пострілу застосовують щільне притискання тятиви до підборіддя. У такому разі, сила тертя буде перешкоджати вказаному переміщенню тятиви. При цьому, поворот ланки Л8п відбувається навколо тятиви до повного її відділення від пальців. Момент відділення настає при дії моменту сили протидії, величина котрого менша від початкового значення. Складова R, що з'являється при цьому, має значно менший збиваючий вплив на точку А (рис.4.6).

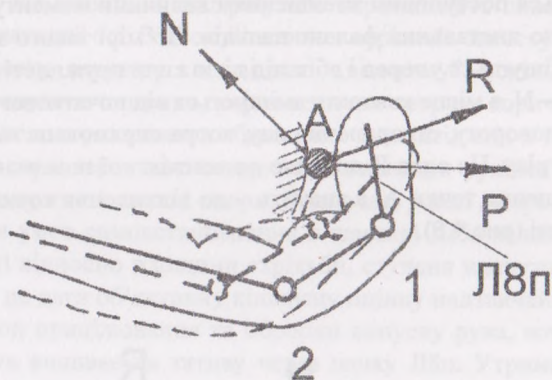


Рис.4.6. Кінематична схема звільнення тятиви від захоплення пальцями шляхом повороту ланки Л8п

Отже зрозуміло, що обертання ланки Л8п відносно точки А повинно супроводжуватися переміщенням шарніру Ш8п в напрямку протилежному векторові АВ. Іншими словами, розслаблення утримуючих фаланг має поєднуватися з “дотягом” тятиви.

Таким чином, отримано теоретичне обґрунтування моделі сучасної техніки стрільби з лука, яку використовують більшість висококваліфікованих лучників. Особливе значення відіграє дотяг тятиви під час стрільби з використанням клікера, оскільки вимагає ще точнішого переміщення точки А в площині пострілу. Рух точки А в будь-якому іншому напрямку змінює початкове положення прямої АВ та призводить до неточного влучення у мішень.

У свою чергу, переміщення точки А у дотязі відбувається внаслідок зміни положення ланок правої частини кінематичного ланцюга (у разі лі-

восторонньої стійки лучника). Структура правої частини допускає велику кількість варіантів переміщень ланок, за яких точка А буде поступально переміщуватися в площині пострілу. З багатьох можливих варіантів розглянемо найбільш притаманні для дій лучників.

Доцільно виділити два механізми дотягу при роботі з клікером. У першому випадку, дотяг відбувається шляхом переміщення кисті, тобто ланок Л8п, Л7п, Л6п, Л5п. Така робота є цілком можливою. Багатьма вимірюваннями показано, що зусилля, яке розвивається м'язами-згиначами пальців, в 3-4 рази перевищують силу пружності лука. Для переміщення точки А в положення А1 і збереження траєкторії у вигляді лінії АВ, повинно відбутися взаємна зміна розташування ланок кінематичного ланцюга – Л8п, Л7п, Л6п та Л5п. Таке досягається за рахунок поворотів зазначених ланок навколо шарнірів Ш5п і Ш6п. Повороти відбуваються за рахунок м'язового скорочення і при цьому моменти сил м'язової тяги є більшими за моменти сил пружності лука відносно центрів зазначених шарнірів. Одночасно з цим моменти сил м'язів відносно центрів шарнірів Ш7п та Ш8п можуть дорівнювати моментів сил пружності лука. Оскільки сила пружності лука зростає зі збільшенням довжини його розтягу, то абсолютна величина моментів сил м'язових скорочень так само поступово росте відносно всіх шарнірів цієї частини кінематичного ланцюга. Точність переміщення точки А при цьому залежатиме від дозування м'язових зусиль, які переміщують всі ланки кисті. Неузгодженість величин моментів м'язових сил відносно шарнірів Ш5п, Ш6п, Ш7п, Ш8п призведе до переміщення точки А по дотичній до прямої АВ.

Щоб на контактному місці уникнути дій додаткових сил, котрі спрямовані по дотичній до площини пострілу, можливий варіант передачі м'язових зусиль на точку А через компенсуючу ланку. Така ланка характеризується наявністю шарнірів, які не протидіють обертанню дистальних ланок, що досягається розслабленням відповідних м'язів. За рахунок компенсуючої ланки відбувається самовстановлення лука. При його самовстановленні вільний шарнір розміщується на одній лінії з точками прикладення основних сил, тобто на лінії АВ. У правій частині кінематичного ланцюга такою компенсуючою ланкою може бути кисть. Тоді на неї покладаються функції утримання лука в натягнутому стані (основні ланки Л8п, Л7п та частково Л6п з шарнірами Ш8п, Ш7п та Ш6п; компенсуюча ланка - Л5п і Л6п з шарнірами Ш5п та Ш6п) та звільнення тятиви для виконання змагальної вправи лучників. Тобто, у звільненні тятиви

беруть участь ті ж елементи кінематичного ланцюга, що і в утриманні лука в розтягнутому стані. Зусилля, які переміщують компенсуючу ланку, а також точку А повинні розвиватися активними елементами міжланкових сил частини кінематичного ланцюга, що залишилися незадіяними в цій схемі.

Такій роботі відповідає другий тип дотягу при роботі з клікером. Розглянемо частину кінематичного ланцюга, яка складається з ланок Л1п, Л2п, Л3п та Л4п та шарнірів Ш1п, Ш2п, Ш3п, Ш4п, Ш5п. Крайнім кулястим шарніром Ш2п механізм з'єднується з нерухомою основою. Вільний шарнір Ш5п за умовою роботи повинен переміщуватися поступально вздовж площини пострілу. Структура цієї частини механізму така, що поступальному переміщенню Ш5п може відповідати різна комбінація переміщень ланок Л1п, Л2п, Л3п, Л4п. Наявність кулястих та блокоподібних шарнірів Ш2п, Ш3п і Ш5п дозволяє розглядати оберти навколо кожного з них, як оберти навколо двох взаємно перпендикулярних осей: вертикальної, яка є паралельною площині пострілу, та горизонтальної, яка є перпендикулярною до площини пострілу. Під час аналізу переміщень ланок в кінематичному ланцюзі вважатимемо, що суміжним парам ланок залишена можливість взаємного переміщення за рахунок міжланкових сил. Така пара в даному випадку буде переміщуватися як єдине ціле.

На рис.4.7 зображений варіант (у фронтальній площині), де ланки Л3п та Л4п об'єднані силами, що діють навколо шарніру Ш4п, в загальну ланку (Л3п, Л4п). Кожна точка цієї об'єднаної ланки проходить шлях, котрий дорівнює S. При цьому ланка має повернутися так, щоб точка Ш3п перемістилася за дугою окружності з центром у шарнірі Ш1п. Ланка Л1п також повернеться навколо цієї точки. Кінцеве положення механізму при такій роботі показано на рис.4.6 пунктиром. Графічний аналіз цього положення доводить, що в процесі виконання пострілу у кінематичному ланцюзі змінюються кути  $\alpha$  та  $\beta$ . Кут  $\alpha$  збільшується до  $\alpha_i$ , що є результатом роботи м'язів, які переміщують лопатку, а кут  $\beta$  збільшується до  $\beta_i$ , що є результатом, в основному, скорочення заднього пучка дельтоподібного м'яза плеча.

На рис.4.8 (вертикальна площина або площина пострілу) показано варіант, де ланка Л1п не бере участі у роботі механізму, тобто  $\alpha = \alpha_i$ . Ланки та шарніри, що показані на рис.4.8, відповідають рис.4.7. Для переміщення точки Ш5п на величину S ланки Л3п та Л4п повинні переміс-

титися у положення, показане пунктиром на рис.4.8. При цьому кут  $\gamma_i$  стає меншим від кута  $\gamma$ , що є результатом роботи згинача передпліччя, а кут  $\beta_i$  стає відповідно більшим від  $\beta$ , що є результатом роботи заднього пучка дельтоподібного м'яза плеча.

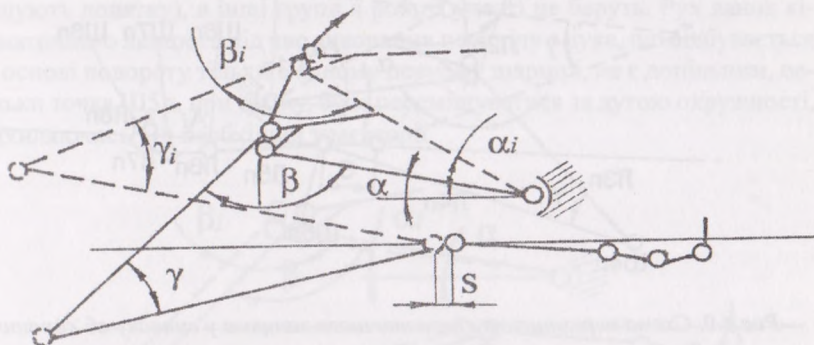


Рис.4.7. Схема переміщення кінематичного ланцюга у випадку об'єднання ланок Л1п та Л3п у спільну ланку

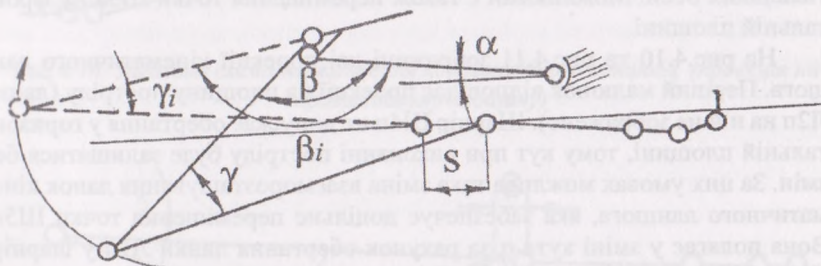


Рис.4.8. Схема переміщення кінематичного ланцюга при виконанні пострілу у випадку, коли ланка Л1п не бере участі в активній роботі

Варіант на рис.4.8 характеризується об'єднанням ланок Л1п та Л3п у загальну ланку (Л1п-Л3п), тобто  $\beta_i = \beta$ . При виконанні пострілу з лука таким чином, кут  $\alpha_i$  збільшується порівнянно з  $\alpha$  за рахунок часткового розслаблення згинача передпліччя. Особливістю цього варіанту є те, що значному переміщенню точок Ш4п та Ш3п відповідає невелике переміщення точки Ш5п. Як показано на рис.4.9 шлях  $S$  точки Ш5п приблизно в 3 рази менший порівняно зі шляхом у варіанті, котрий розглядався на рис.4.6 та 4.7.

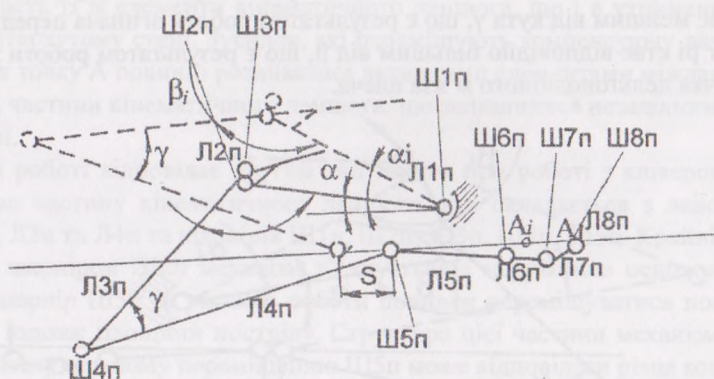


Рис. 4.9. Схема переміщення кінематичного ланцюга у випадку об'єднання ланок Л3п та Л4п у спільну ланку

Запропоновані варіанти передбачали обертання ланок довкола вертикальних осей. Можливими є також переміщення точки Ш5а і у фронтальній площині.

На рис.4.10 та рис.4.11 зображені дві проекції кінематичного ланцюга. Перший малюнок відповідає проекції на площину пострілу (ланку Л2п на ній не зображено). Шарнір Ш4п не допускає обертання у горизонтальній площині, тому кут при виконанні пострілу буде залишатися без змін. За цих умов можлива така зміна взаєморозташування ланок кінематичного ланцюга, яка забезпечує доцільне переміщення точки Ш5п. Вона полягає у зміні кута  $\alpha$  за рахунок обертання ланки Л1п у шарнірі Ш1п. Одночасно з цим, в результаті скорочення середнього пучка дельтоподібного м'язу плеча, повинен збільшуватися кут  $\omega$ . На горизонтальній проекції (рис.4.11) видно, що за такої роботи кути  $\alpha$ ,  $\beta$  та  $\gamma$  змінюються несуттєво, звідси можна вважати, що ланки Л3п та Л4п переміщуються поступально в напрямку площини пострілу.

На основі аналізу можливих варіантів переміщень ланок в кінематичному ланцюзі під час виконання пострілу з лука доцільно підсумувати таке:

1. Переміщення точки Ш5п у площині пострілу може відбуватися декількома різними варіантами (крім розглянутих можливі й інші комбінації варіантів).
2. Оскільки переміщення точки А має поступальний характер, для його забезпечення повинні відбутися зміни щонайменше у двох міжлан-

кових кутах. Для здійснення такого переміщення відбувається скорочення, як мінімум, двох різних груп м'язів. У зв'язку з цим, слід вважати помилковою думку окремих фахівців зі стрільби з лука, про те, що дотяг проводиться за допомогою однієї групи м'язів (наприклад, тих, які переміщують лопатку), а інші групи в роботі участі не беруть. Рух ланок кінематичного ланцюга під час виконання пострілу з лука, що відбувається на основі повороту тільки в одному певному шарнірі, не є доцільним, оскільки точка Ш5п, при цьому, буде переміщуватися за дугою окружності, відхиляючись від необхідної траєкторії.

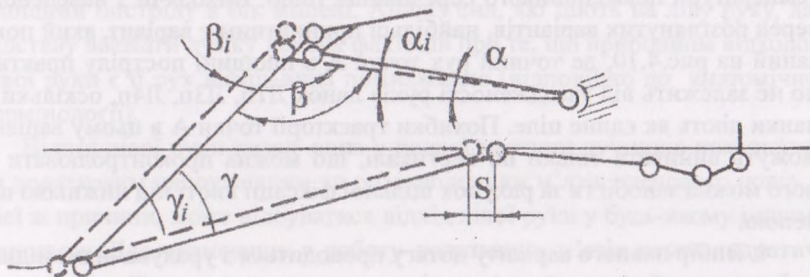


Рис. 4.10. Загальна схема переміщення кінематичного ланцюга (проекція на горизонтальну площину)

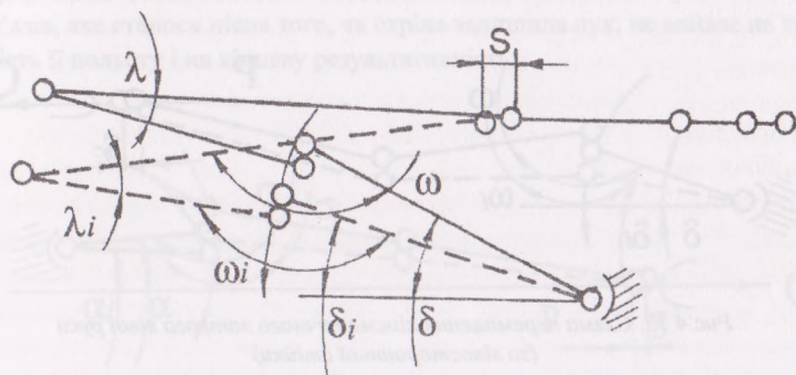


Рис. 4.11. Загальна схема переміщення кінематичного ланцюга (проекція на вертикальну площину)

3. Для переміщення точки А в площині пострілу необхідна повна узгодженість рухів ланок кінематичного ланцюга у відповідних шарнірах у часі та просторі. Неузгодженість цих рухів призводить до відхилення від траєкторії, тобто виводить точку А із площини стрільби. Узгодженість дій потрібних груп м'язів базується на високій координації та високому рівні розвитку м'язових відчуттів. Зазначені властивості є змінними, а поточний стан залежить від багатьох причин: рівня спеціальної підготовки, фізіологічного та психологічного стану стрільця, часу дня, температури навколишнього середовища тощо. Виходячи з наведеного, серед розглянутих варіантів, найбільш прийнятним є варіант, який показаний на рис.4.10, де точний рух точки А в площині пострілу практично не залежить від узгодженості рухів ланок Л1п, Л3п, Л4п, оскільки ці ланки діють як єдине ціле. Похибки траєкторії точки А в цьому варіанті можуть виникати тільки по вертикалі, що можна проконтролювати та чого можна запобігти за рахунок цільної фіксації кисті під нижньою щелепою.

4. Вибір певного варіанту дотягу проводиться з урахуванням: індивідуальних особливостей стрільця, ступеня розвитку окремих груп м'язів, рухомості окремих суглобів, особливостей анатомічного будови.

Розглянемо ліву частину кінематичного ланцюга, який зображено на рис.4.4.

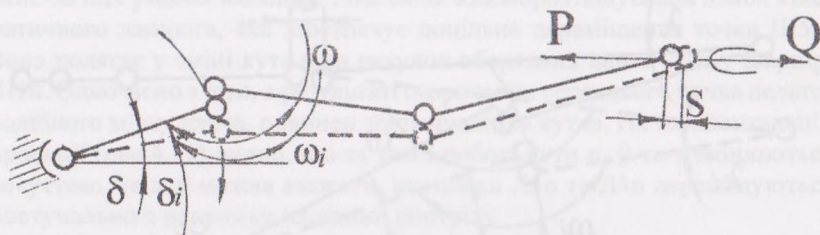


Рис.4.12. Схема переміщення кінематичного ланцюга лівої руки (за лівосторонньої стійки)

Як було вказано, в період прицілювання та обробки пострілу лук під дією зусилля натягу самовстановлюється між точками А і В. Зрівноваженому стану відповідає дія рівних за величиною сил в точках А та В, що спрямовані в протилежні боки і лежать в площині пострілу. Так само



під дією сили натягу знаходиться і крайня ланка Л5л лівої частини кінематичного ланцюга. Статичне положення цієї частини характеризується зрівноваженням моментів сили натягу лука відносно осей шарнірів. Результуюча моментів сил опори створює зусилля  $Q$ , прикладене до точки В на ланці Л5л і дорівнює за величиною силі пружності  $P$  натягнутого лука і спрямована у зворотний бік, але в площині пострілу. У момент звільнення тятиви перестає діяти сила пружності  $P$ , і тоді під дією сили  $Q$  точка В отримує переміщення у напрямку дії цієї сили. Таким чином, природним напрямком відходу лівої руки після пострілу є її рух вздовж площини пострілу в бік мішені. Аналіз сил, які діють на ліву руку, дає підставу вважати думку деяких фахівців про те, що природним відходом лівої руки є її рух назад–вниз помилковою (відповідно до анатомічної термінології).

Відхід лівої руки назад–вниз у певної частини лучників пояснюється додатковим напруженням чи розслабленням м'язів плечового поясу. З цієї ж причини, може відбуватися відхід лівої руки у будь-якому іншому напрямку. Для включення в роботу додаткових м'язів немає теоретичних підстав. Тому у випадку, коли стріла ще не залишила лук, а в роботу включаються додаткові групи м'язів або окремі м'язи, точка В зміщується, що призводить і до зміщення точки прицілювання. Таку роботу лівої руки слід визнати помилковою. Додаткове включення або розслаблення м'язів, яке сталося після того, як стріла залишила лук, не впливає на точність її польоту і на кінцеву результативність.

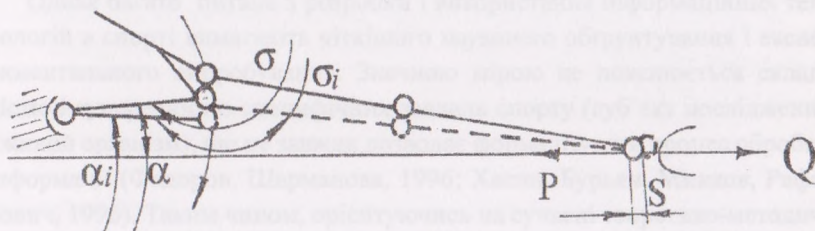


Рис. 4.13. Схема переміщення ланок лівої руки кінематичного ланцюга навколо горизонтальних осей шарнірів (за лівосторонньої стійки)

Для ілюстрації наведеного вище, на рис.4.12 показано кінематичну схему роботи лівої руки. Поступальному переміщенню ланки Л5л відповідають обертові рухи ланок. Як і під час роботи правої руки, центрів обертання має бути не менше двох. Під час стрільби з лука шарнір Ш4л, як правило, у переміщеннях ланок лівої частини кінематичного ланцюга участі не бере: лікоть лівої руки випрямлений наскільки це можливо, та закріплений в такому положенні шляхом напруження відповідних м'язів. Під час стрільби з використанням вільного загиску аналогічно закріплюється шарнір Ш5л. Тоді поступальний рух точки В супроводжується обертанням ланки Л1л у шарнірі Ш1л і об'єднаної ланки (Л3л–Л4л–Л5л) у шарнірі Ш3л. На рис.4.13 розглянуто варіант переміщення аналогічних ланок навколо горизонтальних осей шарнірів. На основі міркувань, викладених при аналізі переміщень ланок правої руки, такий варіант змін у просторі ланок лівої руки після пострілу (рис.4.13) з кінематичної точки зору виявляється найбільш прийнятним.



## РОЗДІЛ 5

---

# КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ СКЛАДНИХ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ У ЛУЧНОМУ СПОРТІ

### **Інформація як невід'ємний елемент системи контролю в спорті**

Зростаюче значення методології комплексного контролю підготовленості спортсменів і управління тренувальним процесом зумовлене багатьма характерними для сучасного спорту причинами, серед яких необхідно вирізнити: значне ускладнення системи підготовки спортсменів; відставання якості комплексного контролю від вимог щодо організації спортивного тренування як керованого процесу; збільшення числа показників, що вимірюються та реєструються в процесі тренування і змагань; підвищення вимог до метрологічного забезпечення збору й аналізу інформації про підготовленість і готовність спортсменів.

Однак багато питань з розробки і використання інформаційних технологій в спорті вимагають чіткішого наукового обґрунтування і експериментального випробування. Значною мірою це пояснюється складністю і суперечністю специфічних завдань спорту (суб'єкт дослідження - живий організм), що не завжди дозволяє формалізувати процес обробки інформації (Федоров, Шарманова, 1996; Хасин, Бурьян, Минков, Рафалович, 1996). Таким чином, орієнтуючись на сучасні теоретико-методичні положення щодо організації системи комплексного контролю і управління підготовкою спортсменів, враховуючи досягнення сучасної науки і техніки, потрібно зазначити, що існує явна суперечність між ступенем розробки науково-методичних положень теорії і методики спортивного

тренування та рівнем інформаційного забезпечення системи комплексного контролю і управління у спорті.

Оптимізація управління складними системами, до котрих відноситься і спортивне тренування, передбачає реалізацію принципу зворотно-го зв'язку, а засобом отримання інформації є комплексний контроль. Об'єктивізація управління тренувальним процесом може бути досягнута у разі отримання великого обсягу інформації про індивідуальні особливості і різні сторони підготовленості спортсменів. Всі види комплексного контролю мають засновуватися на обліку специфіки рухової діяльності спортсмена при розв'язанні конкретних прикладних завдань. Управління тренувальним процесом передбачає наявність інформації про педагогічні впливи, здійснювані в процесі спортивного тренування. Основою для планування педагогічних впливів, програмування тренувального процесу є інформація, отримана в процесі комплексного контролю. Водночас, однією з тенденцій розвитку сучасного спорту є автоматизація людської діяльності, що передбачає використання сучасних інформаційних технологій (ІТ). Використання ІТ в системі комплексного контролю і управління підготовкою спортсменів дозволяє, по-перше, забезпечити виконання метрологічних вимог до проведення експерименту, підвищити змістовну валідність методик; по-друге, значно скоротити витрати часу на проведення досліджень; по-третє, різко підвищити можливість подальшого застосування методів багатовимірного математичного аналізу даних (Виноградський, 2001).

У науково-методичному забезпеченні контролю центральне місце займає система оцінювання і оптимізації основних чинників спортивного досягнення. Її практична вартість визначається наявністю:

- системи високоінформативних тестів і показників для комплексної або диференційованої оцінки стану спортсмена на різних етапах спортивної підготовки;
- надійних математико-статистичних методів для обробки первинної інформації і відповідних критеріїв для оцінки достовірності отриманих результатів;
- системи оцінки ступеню досліджуваних чинників або їхніх окремих компонентів (шкал, таблиць, номограм та ін.);
- оптимізаційних моделей підвищення ефективності тренувального процесу шляхом вибіркового впливу на різні чинники спортивного досягнення.

В кінцевому підсумку, в спорті високих досягнень, отримані результати комплексного контролю подають у вигляді різноманітних моделей. І якщо під час створення моделей змагальної діяльності чи морфофункціональних моделей не виникає серйозних складнощів, то побудова моделей підготовленості вимагає наявності значної кількості інформативних показників, що вступають в складні взаємовідношення між собою аж до негативних впливів. З іншого боку, рівень спортивної підготовленості - це динамічний адаптивний стан особистості зі складною ієрархічною структурою. Проблема визначення його критеріїв - дискусійна, але вона може бути розв'язана на базі системного підходу і теорії про багатомірні простори.

З цієї точки зору спортивна підготовленість розглядається, як інтегральна модель готовності спортсмена реалізувати свої потенційні можливості в спортивному досягненні. Кількісні і якісні параметри цього стану можуть бути представлені у вигляді компонентів будь-якого змінного вектора –  $X(t)$ :

$$X(t) = \{ x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t) \}. \quad (5.1)$$

Можна стверджувати, що у  $n$ -мірному просторі існує область, яка в певних умовах характеризується найменшою сумою квадратів відстаней між різними компонентами моторики (чинниками спортивних досягнень) -  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Ця оптимізована модель специфічної працездатності спортсмена і репрезентує рівень спортивної підготовленості.

Відомо, що інформативність показника визначається його відповідністю якості або властивості, котра оцінюється. В спортивній науці поширені два основних варіанта підбору інформативних показників, на основі котрих можна побудувати відповідні моделі. Перший варіант полягає у виборі показників на основі знання чинників формування того чи іншого явища, а другий ґрунтується на знаходженні статистично значущих зв'язків (Виноградський, Михайлишин, Романишин, 2001).

Будь-який запит не є адекватним щодо потреби і найчастіше не відображає її цілком, а іноді і зовсім їй суперечить. Більш того, у спорті всяка потреба може знайти конкретний і єдиний зміст – набуття нових знань для прийняття практичних, коректних рішень. Вірогідно, у міру розвитку контролю й інформатики критерії оптимізації функціонування інформаційних систем у спорті будуть змушені спиратися на визначення кількості нової інформації, яку отримують тренер і спортсмен.

Процес створення моделей інтегральної підготовленості спортсмена пов'язаний з її описом. Якщо ми складемо набір конкретних величин цього опису (набір 1) і, порівнявши його з множинністю якогось величезного інформаційного масиву, що представляє всі сторони підготовленості спортсмена і спробуємо виразити інтегральну підготовленість набором величин 1, тобто використовувати тільки значення цього обмеженого набору, то величезна більшість якісних та кількісних характеристик ніби зникне, а інша велика частина характеристик визначеної сторони підготовленості буде містити тільки окремі величини з набору 1, ще деяка частина тільки пари величин, ще менша — трійки і т.д. Деяка кількість моделей різних сторін підготовленості буде містити велику частину величин з набору 1, і найімовірніше, саме ці характеристики або їхні фрагменти будуть описувати проблему так само недостатньо об'єктивно. На жаль, для спортсмена і тренера, і в “зниклих” часткових моделях підготовленості, і в моделях “одиниць”, “двійках” і інших, може міститися інформація, здатна змінити їхній погляд на існуючу проблему — проблему побудови інтегральної моделі. Однак імовірність цієї зміни буде різною, у залежності від того, чи буде отриманий набір характеристик із класу “одиниць”, “двійок” чи “трійок”.

Якщо розглядати інформацію безвідносно до існуючої проблеми побудови інтегральної моделі підготовленості, то вираження цієї інформації за допомогою набору 1 можна назвати “втрацями інформації”. У “загубленому класі” (клас 0) “не залишилося” жодної цікавої для нас характеристики, у класі “одиниць” (клас 1) залишилися деякий набір, що складається з однієї характеристики. Однак, якщо подивитися на цей клас більш уважно, то його структура буде набагато складніша, ніж у класу 0. Якщо в класі 0 усі набори стали однаковими — “ніякими”, то в класі 1 з'являються групи однакових наборів, що складаються тільки з однієї характеристики набору 1, група характеристик, що складаються тільки з другого параметра набору 1 і т.д. Позначимо кількість наборів параметрів з першої групи класу 1 —  $n_1$ , другий —  $n_2, \dots, n_k$ , де  $k$  — кількість груп у класі 1.

Розмаїтість складу класу 1 можна оцінити шеннонівським виразом негентропії (Попов, 2001):

$$H_1 = -\sum_1^k p_{i1} \ln p_{i1}, \quad (5.2)$$

де

$$p_{i1} = \frac{n_{i1}}{n_1}, \quad (5.3)$$

а  $n_{i1}$  — кількість наборів параметрів групи  $i$  класу  $1$ ,  $n_1$  — повна кількість наборів класу  $1$ . Негентропія класу  $0$  буде

$$H_0 = -\sum_1^1 1 \ln 1 = 0; \quad (5.4)$$

негентропія довільного класу  $j$  буде

$$H_j = -\sum_1^{k_j} p_{ij} \ln p_{ij}, \quad (5.5)$$

де  $k_j$  — повна кількість груп у класі  $j$ :

$$p_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_j} \quad (5.6)$$

де  $n_{ij}$  — кількість наборів параметрів у групі  $i$  класу  $j$ ,  $n_j$  — повна кількість текстів класу  $j$ .

Негентропію класу наборів параметрів, що містять параметри з набору  $1$ , позначимо  $H_m$ , де  $m$  — повна кількість параметрів у наборі  $1$ . Стан класу  $m$  аналогічний стану класу  $0$ , тому що всі набори параметрів цього класу “стають” у наборі  $1$  однаковими. Звідси:

$$H_m = -\sum_1^1 1 \ln 1 = H_0 = 0. \quad (5.7)$$

Літературні джерела свідчать, що розподіл величин  $H_j$  по класах для різних випадків добре апроксимується нормальним (гауссовим) розподілом (Попов, 2001).

Припускаємо, що існує спосіб оцінки ступеня впливу сукупностей параметрів, відібраних з визначених груп, на зміну поглядів тренерів і спортсменів на поставлену проблему створення моделі інтегральної підготовленості. Приблизно цю зміну можна оцінити збільшенням чи зменшенням “кількісної і якісної сторін інформаційних показників”, тобто переходом набору 1 у якийсь набір 2.

Позначимо цю зміну  $\Delta S_{\langle t \rangle}$ .  $\Delta S_{\langle t \rangle}$  — кількість нових параметрів, що з’явилися в “інтегральній моделі підготовленості”, плюс кількість параметрів, взятих тренером з “інтегральної моделі підготовленості” після аналізу параметрів великого масиву, що містить деякий набір параметрів  $\langle t \rangle$  з набору 1.

Зазначену ситуацію можна змодельовати так:

$$\Delta S_{\langle t \rangle} \sim \sum_1^m p_{\langle t \rangle j} H_j, \quad (5.8)$$

де

$$p_{\langle t \rangle j} = \frac{n_{\langle t \rangle j}}{n_{\langle t \rangle}}, \quad (5.9)$$

тут  $n_{\langle t \rangle}$  — кількість наборів параметрів, що містять параметри  $\langle t \rangle$  з набору 1 у класі  $j$ ,  $n_j$  — повна кількість наборів параметрів різних сторін підготовленості, що містять параметри моделі інтегральної підготовленості  $\langle t \rangle$ ,  $\sim$  — знак пропорційності (5.8).

Використовуючи правило (5.8), інформаційна система забезпечення спортивної діяльності здатна щонайкраще змінювати погляд тренера чи спортсмена на проблему створення моделі інтегральної підготовленості. Робота такої системи дійсно спрямована на підтримку прийняття найбільш об’єктивних рішень в умовах невизначеності тренувальної і змагальної практики.

Отож, можемо припустити, що правильне рішення буде найбільш ймовірним, якщо фахівцеві у галузі спорту, додатково надати інформацію зі стратегії, що ґрунтується на правилі (5.8).



Для ефективного проведення тренувального та змагального процесів доводиться фіксувати і аналізувати велику кількість параметрів, які впливають на формування спортивних досягнень. При цьому тренери мають урахувати усі ці фактори і приймати рішення, які дозволяли досягати максимального результату.

Нами розглядається метод видобування знань на основі класифікації даних, а також пропонується застосування цього методу для підтримки прийняття рішень в стрілецьких видах спорту.

Постановка задачі класифікації даних

Метод класифікації даних складається з двох основних етапів (Нап, Kamber, 2000). На першому етапі здійснюється аналіз даних, що зберігаються в базі даних, і будується модель, яка для кожному об'єкту визначає відповідну мітку класу, до якого цей об'єкт належить. Сукупність об'єктів, за яким створюється класифікаційна модель, називається навчальним набором.

Побудована модель подається деяким способом представлення знань, переважно у формі дерев рішень або класифікаційних правил. Класифікатор може мати як детермінований характер, коли для кожного об'єкту точно визначається один клас, так і недетермінований, коли об'єкт відноситься до кількох класів з певним розподілом деяких мір невизначеності (наприклад, підтримки, ступеня довіри тощо).

На другому етапі створена класифікаційна модель використовується для класифікації нових об'єктів. Сукупність цих об'єктів називається тестовим набором даних.

Розглянемо формальну постановку задачі класифікації даних. Нехай маємо навчальний набір даних  $L$ , який складається з кортежів  $t \in L$ , а також множину класів  $C$ , яка складається з міток класів  $c_i \in C, i = 1, \dots, m$ . Для кожного кортежу з навчального набору відомо, до якого класу він належить, тобто, кортежі мають структуру  $\langle A, c \rangle$ , де  $A$  – атрибути, що описують об'єкт,  $c$  – мітка класу. Крім того, задано тестовий набір даних  $T$ , для кортежів якого не відомо, до якого класу вони належать. Потрібно: 1) на основі навчального набору побудувати відображення  $K: L \rightarrow C$  у формі знань, яке кожному кортежу  $t$  навчального набору  $L$  ставить у відповідність мітку  $c$  з множини класів  $C$ ; 2) кожному кортежу  $t$  тестового набору  $T$ , використовуючи відображення  $K$ , поставити у відповідність мітку  $c$  з множини класів  $C$ .

*Метод класифікації на основі індукції дерев рішень.*

Побудова класифікаційної моделі здійснюється у такій послідовності (Fayyad, Piatetsky-Shapiro, Smyth, Uthurusamy, 1996):

*A. Вибірка даних.*

На першому етапі здійснюється вибірка даних із бази даних, що становитимуть навчальний набір. При цьому особа, яка приймає рішення, чи експерт аналізує предметну область та формує множину параметрів, які описують об'єкт дослідження і можуть впливати на вихідне рішення. У результаті вибірки створюється відношення, котре називається *таблицею рішень*, зі структурою типу  $R(A,D)$ , де  $A$  – набір атрибутів-факторів, значення яких впливають на формування рішення,  $D$  – набір атрибутів рішення.

Як приклад розглянемо виявлення факторів, що впливають на результат стрільби, та прогнозування на основі цього результатів наступних змагань. Структура таблиці рішень має такий вигляд:

Код

Дата турніру

Погодні умови

Характеристики лука

Характеристики стріли

“Підігнаність” лука

Майданчик для стрільби

Наповненість трибун

Результат у “гладкій” стрільбі і по дистанціях

Результат в олімпійському колі

Результат у командній стрільбі

Учасники команди

Особистий тренер

Команди – суперники

Суддя технічної комісії

Результат змагань (місце).

Атрибут “Результат стрільби” є атрибутом рішення, а усі решта – характеристиками різних сторін підготовленості.

### *Б. Приготування даних*

На цьому кроці здійснюється поповнення даних з невизначеностями, опрацювання аномальних даних, дискретизація числових величин та виділення із загального набору параметрів підмножини суттєвих факторів.

Після вибірки даних частина кортежів таблиці рішень може містити невизначені або пропущені значення. Окрім того, деякі значення певного атрибута можуть різко відрізнятися від решти значень. Для коректного виконання алгоритму побудови дерева рішень усі невизначеності та аномалії потрібно або усунути з таблиці рішень, або довизначити і згладити їх на основі статистичного аналізу значень атрибута (Боровиков, 2003).

Для зменшення кількості можливих значень числових атрибутів та побудови дерева рішень на загальнішому рівні агрегації даних здійснюється дискретизація числових величин (Han, Kamber, 2000). При цьому числовий домен атрибута розбивається на сукупність інтервалів, і кожне значення атрибута у таблиці рішень замінюється на відповідний інтервал.

Одним із критеріїв якості отриманих знань є їх цілковите розуміння особою, що приймає рішення (Fayyad et al., 1996). Тому важливо, щоб дерево рішень мало досить просту структуру. Одним із способів досягнення цього є виділення серед атрибутів-характеристик тих, що найбільше впливають на вихідне рішення. Цей крок здійснюється за допомогою методів факторного аналізу (Иберла, 1980).

### *В. Побудова дерева рішень та набору класифікаційних правил*

На цьому кроці виконується алгоритм ID3 побудови дерева рішень (Quinlan, 1986). Алгоритм виконується у такій послідовності:

1. Створюється початковий вузол дерева.
2. Якщо усі кортежі навчального набору належать до одного класу, то вузол визначається як листовий, і йому присвоюється мітка класу.
3. Інакше, алгоритм використовує інформаційний приріст для визначення атрибута, на основі котрого добудовується дерево (Лапутин, 1986).
4. Для кожного значення вибраного атрибута формується гілка дерева і кортежі навчального набору, що залишилися, розділяються на відповідні підмножини.

5. Алгоритм виконується рекурсивно для побудови піддерева на основі набору атрибутів, що залишилися; при цьому атрибути, які вже задіявалися під час побудови дерева не розглядаються.

6. Алгоритм зупиняється при настанні однієї з таких умов:

- усі коротезі навчального набору, що залишилися, належать до одного класу;
- для побудови дерева рішень використані усі атрибути;
- для побудови дерева використані усі коротезі навчального набору.

На основі побудованого дерева рішень формується набір класифікаційних правил типу “ЯКЩО <атрибут>=<значення>, ТО <результат змагань>=<значення>”.

Підсумовуючи викладене підкреслимо, що:

1. Розробка і впровадження нових інформаційних технологій у навчально-тренувальний та змагальний процеси - найважливіші стратегічні завдання, спрямовані на вдосконалення системи спортивної підготовки. Перспективними є проекти з розробки спеціального програмного забезпечення, призначеного для автоматизованого збору, зберігання і аналізу даних комплексного контролю з можливістю управління тренувальним процесом спортсменів; з розробки систем автоматизованого моделювання, проектування і прогнозування стану організму спортсменів, перевірки адекватності розробленої моделі у серіях обчислювальних експериментів для розв'язання завдань управління тренувальним процесом на різних етапах багаторічної підготовки і в системі річного тренувального циклу.

2. Використовуючи шеннонівське правило негентропії, теоретично обґрунтовано, що інформаційна система забезпечення спортивної діяльності здатна змінювати погляд тренера чи спортсмена на проблему створення моделі інтегральної підготовленості. Робота такої системи спрямована на підтримку прийняття найбільш об'єктивних рішень в умовах невизначеності тренувальної і змагальної практики.

3. Запропонований в ході виконання дослідження метод видобування знань на основі класифікації даних дозволяє тренерові або спортсменові визначати вплив різноманітних факторів на результат змагань і приймати рішення щодо формування складу команди та вибір тактики майбутніх змагань.

## Технічні засоби та вимірювальні системи вдосконалення технічної майстерності лучників

Вимірювальна система чи не основна інформаційна ланка в контурі керування об'єктом дослідження, що здійснює збирання, опрацювання та передачу інформації про об'єкт управління. Проведення заходів щодо надійності функціонування об'єкта, відсутність повних апріорних відомостей про зовнішні впливові фактори, необхідність якомога повнішої ефективності здійснюваних досліджень висуває вимоги дедалі більшої гнучкості в роботі системи. Потреба в опрацюванні значної частини інформації вимірювання безпосередньо місць тренувань та змагань спортсменів накладає на систему ряд обмежень, пов'язаних із жорстким лімітом енергетичних ресурсів, обсягів запам'ятовувальних та реєструючих засобів, потужностей обчислювальних алгоритмів, маси та габаритів використовуваної апаратури (Поспелов, Ириков, Курилов, 1985; Сыч, 1986).

Перелічені фактори зумовлюють потребу підвищення автономності системи інформаційного забезпечення, висувають принципово нові вимоги щодо організації оперативного, раціонального та цілеспрямованого збирання, опрацювання та обміну значних і безперервно наростаючих масивів інформації, оперативного оцінювання стану організму спортсмена, його спеціальної підготовленості тощо. Ці – тенденції забезпечуються вимірювально-обчислювальними комплексами, оснащеними однією або кількома спеціалізованими чи універсальними машинами, що можуть контактувати з віддаленими абонентами вимірювально-обчислювальної мережі (Загоруйко, Тимченко, 1999; Ivakhiv, 1998; Вельган, Віблій, Івахів, 1998).

Ускладнення обслуговуваних об'єктів, а отже, й поставлених перед багатоканальними системами завдань, підвищення вимог до ефективності їхнього функціонування водночас ускладнює і проектування систем, а іноді й виключає застосування аналітичних методів. Одним із основних етапів проектування є системно-технічний, на якому здійснюється вибір структури системи, визначення набору підсистем, їхніх параметрів та способів взаємодії, при цьому визначається і структура процесів, що відбуваються в системі, та їхні кількісні характеристики (Zaden, 2000).

Дещо інше значення має поняття технічних засобів. Технічні засоби в спорті - це пристрої, системи, комплекси й апаратура, що застосову-

ються для тренувального впливу на різні органи і системи організму, для навчання й удосконалювання рухових навичок, а також для одержання інформації у процесі навчально-тренувальних занять з метою підвищення їхньої ефективності.

На даний час є низка класифікацій технічних засобів у спорті: за призначенням, структурою, принципом дії, формою навчання і контролю, логікою роботи і тощо. На рис. 5.1 показана класифікація технічних засобів за призначенням, на рис. 5.2 – за структурою.

За принципом дії технічні засоби поділяються на світлотехнічні, звукотехнічні, електромеханічні, цифрові моделюючі, кібернетичні та ін.

За формою навчання і контролю їх можна поділити на засоби індивідуального, групового і потокового використання.

За логікою роботи технічні засоби можуть бути з лінійною чи розгалуженою програмою, тобто вони можуть впливати як на окремі органи і системи, так і бути комбінованими. Залежно від характеру сигналів зворотного зв'язку технічні засоби можуть бути з альтернативним вибором рухової дії і з вільним конструюванням програми відповіді.

Існує безліч видів тренувальних пристроїв і тренажерів за педагогічною спрямованістю і конструкторським вирішенням: з регульованим зовнішнім опором, імітаційні, полегшені лідирування, керованої взаємодії та ін.

Раціональне застосування технічних засобів дає можливість:

- 1) цілеспрямовано розв'язувати питання керування навчально-тренувальним процесом спортсменів і більш ефективно проводити навчання техніки спортивних вправ;
- 2) розширити коло засобів і методів, застосовуваних у фізичній, технічній, тактичній, морально-вольовій і теоретичній підготовці спортсменів;
- 3) дотримуватися принципу відповідності спеціальних вправ основним змагальним рухам, завдяки чому не тільки розвиваються фізичні якості, але й одночасно удосконалюється технічна майстерність;
- 4) використовувати ефект сполучення режимів роботи м'язів додання та поступання, з урахуванням специфіки рухів основної спортивної вправи;

- 5) цілеспрямовано розвивати основні чи специфічні групи м'язів, що визначають успіх у даному виді спорту;
- 6) застосовувати вправи не тільки локального характеру, що сприяють зміцненню слабких ланок м'язової системи спортсменів;
- 7) вибірково впливати на визначені м'язові групи з урахуванням фаз рухів там, у котрих необхідний прояв максимальних зусиль;
- 8) багаторазово повторювати складнокоординаційні вправи у заданому режимі;
- 9) відновлювати у м'язовій пам'яті у всіх деталях основні фази спортивної вправи;
- 10) чітко дозувати навантаження.

Як вже зазначалося, важливим і перспективним елементом контролю за технічною підготовленістю спортсменів є розробка автоматизованих систем контролю біомеханічних характеристик техніки.

Аналіз літературних джерел показав, що у дослідженнях специфічних процесів під час виконання технічних дій лучників реєструвалися характеристики кінематики окремих фаз виконання пострілу, статичного положення тіла спортсмена і окремих біоланок, часових інтервалів виконання окремих фаз пострілу, фізіологічних процесів організму спортсмена.

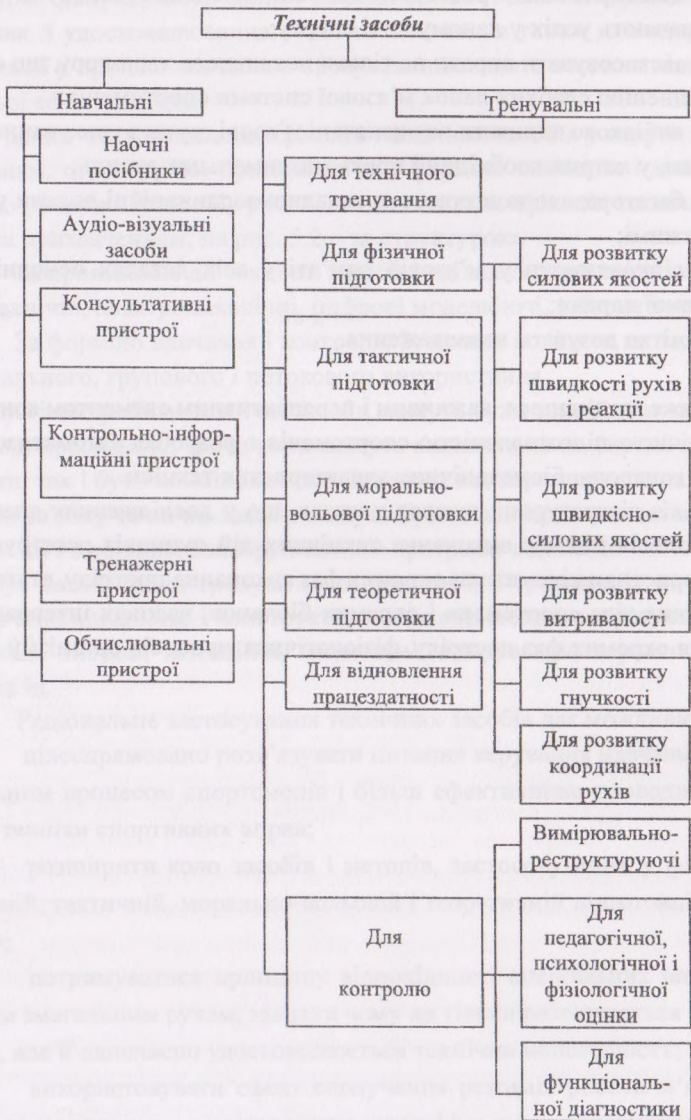


Рис. 5.1. Класифікація технічних засобів за призначенням



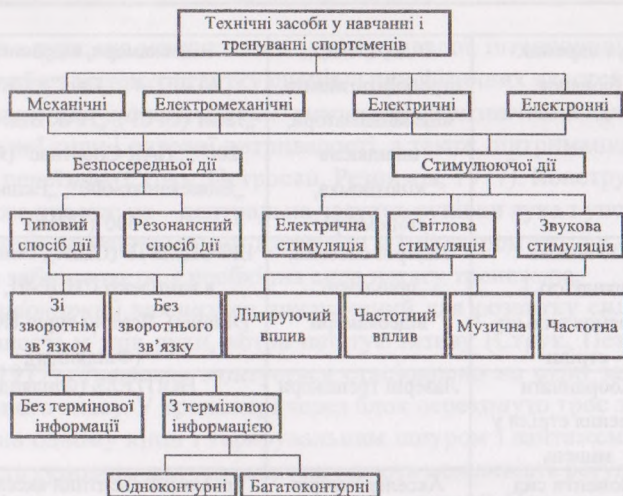


Рис. 5.2. Класифікація технічних засобів за структурою

Спеціалістами розроблено низку універсальних технічних засобів (ТЗ), котрі дають змогу здійснити комплексний контроль технічної підготовленості за окремими підсистемами.

Розглянемо підсистему біомеханічних параметрів і можливих технічних засобів контролю, що застосовуються у стрільбі з лука.

В табл. 5.1 наведено основні біомеханічні параметри, котрі підлягають реєстрації в спортивній стрільбі з лука, а також методи реєстрації і типи використовуваних приладів.

Опрацювання інформативних біомеханічних параметрів дозволяє створити індивідуальні біомеханічні моделі пострілу з лука, а також оперативно контролювати точність (одноманітність) виконання пострілу.

Таблиця 5.1

Параметри, методи реєстрації і типи використовуваних приладів

№ ПЛП	ПАРАМЕТРИ КОНТРОЛЮ	МЕТОД ВИМІРЮВАНЬ	ТИП ПРИЛАДУ
1	Максимальне зусилля натягу лука	Динамографія	Тензодавачі, тензометричні установки
2	Початкова поза спортсмена	Фотографування, відеозйомка	Фотоапарати, відеокамери

3	Рух окремих біолонок	Відеозйомка, стробоскопозйомка, відеоаналізатори, швидкісна кінозйомка, гоніометрія	Відеокамери, відеосистеми „АТЛЕТ-4”, „Світ”, „СКС-ІМ”, „Темп”(СРСР), „НАК Відеометрікс-200”, „НАК Спортнас” (Японія), „Біомекенікс-600”, „Екшнмастер-500”(США)
4	Початкова швидкість і напрямок вильоту стріли	Лазерні системи, швидкісні відеокамери	ЕРРОЦМЕТР (США), сейсмодавачі в комплекті СИПР-01, НАК (Японія). Лазерні тири: НОПТЕЛЬ (Фінляндія),
5	Координати влучення стріли у мішень	Лазерні тренажери	НОПТЕЛЬ (Фінляндія),
6	Моменти сил системи „лук-стрілець”	Акселерометрія	Трьохкомпонентний акселерометр 4321 „Бриль і К’єр”(Данія), акселерометри МП-1, В34-3, Д-14, АНС-014

Аналіз опублікованих джерел з проблем застосування тренажерних пристроїв в стрільбі з лука свідчить, що за своїм призначенням їх умовно поділяють на такі групи:

- для розвитку спеціальних фізичних якостей лучників;
- для опанування і вдосконалення окремих елементів техніки стрільби з лука;
- для коригування помилок лучників;
- комплексні, для найбільш точного імітування пострілів зі спортивного лука.

Розглянемо докладніше кожен групу тренажерів.

#### **Тренажери для розвитку спеціальних фізичних якостей лучника.**

Для успішного оволодіння технікою стрільби з лука суттєве значення має розвиток спеціальних силових якостей (сили, силової витривалості) різних груп. Ряд авторів вказують на те, що використання тренажерів в тренувальному процесі впорядковує режим роботи м'язів, розвиває необхідні фізичні якості шляхом цілеспрямованого впливу на них, поліпшуючи між'язову координацію (Агашин, Горбачев, Кузьма, 1983). При цьому не виникає закріплення окремих специфічних помилок техніки

стрільби з лука, що може статися у разі тривалої, інтенсивної тренувальної стрільби з метою розвитку спеціальних фізичних якостей.

*Переносний індивідуальний тренажер* призначений для розвитку спеціальної сили і силової витривалості, а також підтримання їх за умов зборів і переїздів (Струк, Петросян, Резников, 1977). Конструкція тренажера дуже проста: це – центральна частина руківки лука з упором і з прикріпленими до неї гумовими джгутами й імітатором тятиви. Пружністю джгутів забезпечується необхідна сила натягу тренажера.

*Стаціонарний тренажер* призначений для розвитку сили і силової витривалості м'язів руки, котра натягує тятиву (Струк, Петросян, Резников, 1977). Тренажер монтується стаціонарно на стіні залу, тирю чи навчального класу. У тренажері через блок перекинута трос з імітатором тягиви на одному кінці і тарирувальним шнуром і вантажем на іншому. Наявність гумового джгута і вантажу дають можливість регулювати силу і пружність тренажера при розтягуванні „тятиви”. При цьому можна нарошувати опір по мірі розтяжки тренажера, що відповідає умовам, які мають місце в реальному луці.

*Стаціонарний комплексний тренажер для розвитку спеціальних силових якостей*, а також вдосконалення роботи м'язів плечового поясу при випуску. Конструкція тренажера дещо відрізняється від описаного вище. Замість імітатора тягиви може бути використана тятива спортивного лука, що точніше відповідає реальним умовам. Сила натягу тягиви може регулюватися.

*Тренажер „лук-динамометр”* може бути використаний для розвитку максимальної сили групи м'язів, котрі натягують тятиву, для розвитку силової витривалості і точності відтворення заданого зусилля і довжини натягу. Використання вимірювальних приладів (динамометр з індикатором і лінійка) дозволяє тренеру отримувати термінову інформацію під час роботи з тренажером (Струк, Петросян, Резников, 1977). Це робить корисним його використання у контролі фізичного стану спортсмена.

*Тренажер для розвитку точності переміщень правої руки стрільця* дозволяє поєднувати навчання і вдосконалення техніки стрільби з розвитком силових якостей правої руки. Його конструкція аналогічна до рамочного тренажера у комплексі „Здоров'я”. Однак використання пристроїв термінової інформації про напрямок тяги дозволяє підвищити ефективність його застосування, а також дає можливість контролювати процес навчання спортсменів (Агашин, Горбачев, Петросян, Романова, 1983).

Ще один лук-тренажер призначений для розвитку спеціальних фізичних якостей. Тут є можливість змінювати силу лука, використовуючи додаткові вантажі, реєструвати на самописці переміщення стріли при натягуванні лука. Тренажер дозволяє отримувати ергографи, що допомагає об'єктивно оцінювати рівень підготовленості спортсмена (Бударин, 1986).

Серед тренажерів, які розвивають спеціальні силові якості слід відмітити також лук-тренажер Ю.М. Погосяна, О.Д.Бударіна, В.П.Агакаряна.

**Тренажери для вдосконалення окремих елементів техніки стрільби з лука.** Стрільба з лука належить до технічно складних видів спорту. Тому особливе значення надається опануванню правильних технічних прийомів стрільби на початковій стадії навчання. Використання тренажерів скорочує час формування динамічного стереотипу, підвищує інтенсивність і ефективність тренування. Як наслідок – прискорюється процес становлення техніки стрільби (Haywood K.M., Lewis C.F., 1996; Kidwell J., 2004; Sapp R., 2003).

*Тренажери для вдосконалення постави стрільця.* Електромеханічний кінематограф призначений для: оволодіння статичною позою спортсмена-стрільця, тренування і контролю одноманітності її відтворення, отримання термінової інформації про порушення пози і помилки у стрільбі (Струк, Петросян, Резников, 1977). Прилад складається з низки гоніометричних давачів, закріплених на осях суглобів. Термінова інформація про кути суглобів і їх переміщення виводиться на самописець.

*Тренажер пози* дозволяє усунути дію зовнішніх сил натягу лука на біоланки спортсмена (Агашин, Горбачев, Петросян, Романова, 1983). Це дає можливість на початковому етапі досягнути правильного статичного положення спортсмена, вміння одноманітно відтворювати позу, розвинути властивість тривалий час утримувати позу. Конструктивно тренажер виконаний у вигляді розтягнутого лука з можливістю регулювання величини розтягу відповідно до індивідуальних антропометричних показників спортсмена.

*Променевий тренажер* призначений для інтегральної оцінки техніки, що включає в себе оцінку правильності відтворення пози, „дотягу”, завалу лука, відводу тятиви з площини пострілу (Калиниченко, Прохоров, 1986). Променевий тренажер реєструє точку прицілу і її зміщення під час обробки пострілу. Конструктивно тренажер виконаний у вигляді лазерної насадки на спортивний лук в комплекті з екраном. Може бути вико-

ристаний гелій-неоновий лазер ЛГ-78, закріплений на луці (Калініченко, 1995). Додатково може бути запропоновано два пристрої для контролю за одноманітністю підготовчої пози, засновані на звуковій і світловій індикації орієнтації монохроматичного променя відносно просторового положення лучника (Калініченко, 1986).

*Тренажери для контролю просторового положення лука.* Тренажер для навчання утримання вертикального положення лука під час стрільби призначений для контролю одного з найважливіших елементів техніки – завалу лука, тобто його відхилення від вертикалі (Агашин, Горбачев, Петросян, Романова, 1983). Прилад складається з давача кутового положення і електронного блоку живлення зі стрілочним індикатором з градуйованою шкалою (одиниця вимірювання – градус). Габарити приладу 70x15x15 мм і його 50 г дозволяють його закріплювати на руківці лука, не заважаючи спортсменові виконувати постріл. У разі необхідності запис кутових переміщень лука можна вести на самописці. Точність зміни нахилу лука  $\pm 0,1^\circ$ .

*Тренажер вертикальності* пропонується для усунення виявлених помилок кутового положення лука. Він складається з давача вертикальності (електронного рівня) положення лука з двома сигнальними лампочками, які показують у який бік завалений лук. Таким чином, цей прилад обладнаний точною індикацією, що підвищує ефективність його використання (Агашин, Горбачев, Петросян, Романова, 1983).

*Деякі інші тренажери.* Для оцінки особливостей зорового сприйняття під час прицілювання призначений прилад, що імітує приціл лука і рухому мішень (Калініченко, 1986). Пристрій призначений для дослідження особливостей зорового сприйняття у стрільбі з лука, вибору оптимальних варіантів проекції тятиви, оптимізації форм і розмірів прицілів.

*Пристрої для коригування помилок, а також для усунення неадекватних умовно-рефлекторних зв'язків.* Серед цих пристроїв слід згадати різного роду роз'єднувачі – пристрої, які розривають кінематичний ланцюжок (лук – руки – плечовий пояс) лучника незалежно від його волі (за таймером, або за бажанням тренера). Такого роду тренажер – роз'єднувач конструкції М.О. Калініченка (1986) – рекомендується до використання як для початківців, так і для кваліфікованих спортсменів.

*Луки – тренажери.* Серед зразків стрілецької амуніції є декілька тренажерів, які дозволяють імітувати весь постріл з лука в безпечних умовах (без вильоту стріли). Подібні тренажери можна успішно застосовувати в

домашніх умовах, в переїздах – для підтримання спортивно-технічних навичок, для розминки, і з іншою метою, оскільки вони дозволяють найточніше відтворювати реальні постріли.

Прикладом найпростішого вітчизняного тренажера може послужити пристрій, сконструйований А.Холодовим. Тренажер складається з лука зі стрілою, яка продягнута крізь полицку-кільце і закріплена гумовими амортизаторами щоб не вилітати з лука (Шитов, 1981).

За допомогою іншого подібного тренажера можна проводити тренування у відпустці, розминку на змаганнях (Axford R., 1996; Wise L., Wert L., 1992). Тренажер виконаний у вигляді насадки на лук. Використовуючи принцип повітряного насоса, коли розігнана пластикова стріла не вилітає, а гальмується накопиченим повітрям. Довжина стріли до 30” (76 см). Металевий наконечник на стрілі у взаємодії з магнітом дозволяє імітувати клікерне приспособлення. Вартість тренажера складає десяту частину від вартості спортивного лука.

Найдосконалішим тренажером цього класу слід визнати приставку до лука. В цьому тренажері для погашення швидкості стріли використовується пневматичне гальмо. Використання сенсорних контактів дозволяє імітувати установку клікера. Лазерне наведення і електронна мішень дозволяють автоматично протягом 5с визначити точку прицілювання в момент пострілу. В тренажері використовується таймер для контролю часу пострілу. Враховуючи невелику масу, можливість розміщення тренажера на будь-якому „бойовому” лукові, він успішно може знайти застосування як для навчання, так і для вдосконалення спортивної майстерності, а також популяризації стрільби з лука в умовах, коли відсутня можливість створити спеціальний лучний стрілецький тир (Ruis S., Stevenson C., 2003).

Для контролю та тренування елементів наводки та прицілювання збірна команда України використовує подібний до вище описаного лазерного тренажера, який можливо використовувати протягом тренувань чи навіть контрольних стрільб, тобто в умовах наближених до змагальних.

В.П.Горобцем (1983) розроблений і впроваджений у спортивну практику прилад для вимірювання часу польоту стріли. Мілісекундомір запускається і зупиняється від сигналів інерційних давачів. Проведені вимірювання часу польоту стріли на дистанціях 30, 50, 60, 70 і 90 метрів. Встановлено, що середня швидкість стріли становить 50-80 м·с<sup>-1</sup>. З використанням цього приладу розроблено методику відбору стріл з близькими характеристиками.

### **Діагностика кінематичних параметрів переміщення точки прицілювання в стрільбі з лука з використанням оптико- електронних комп'ютерних пристроїв**

Контроль – один з невіддільних елементів системи управління підготовкою спортсменів. Тому, найважливішим стратегічним завданням спортивної науки є розробка і упровадження нових інформаційних технологій в процес спортивної підготовки. Перспективними є проекти із розробки: спеціального програмного забезпечення, призначеного для автоматизованого збору, зберігання і аналізу даних комплексного контролю з можливістю здійснювати управління тренувальним процесом спортсменів; систем автоматизованого моделювання, проектування і прогнозування стану організму спортсменів, перевірки адекватності розробленої моделі в серіях обчислювальних експериментів для вирішення завдань управління тренувальним процесом стрільців.

Автоматизація спортивної діяльності знайшла своє віддзеркалення і в автоматизації методів наукових досліджень: з'явився новий методологічний напрям – комп'ютерна діагностика. Не зважаючи на те, що використання обчислювальної техніки в процесі проведення наукових експериментів висуває до фахівців нові вимоги, різко зросла інформаційна складова дидактичних процедур. Використання комп'ютерної діагностики в системі комплексного контролю і управління підготовкою спортсменів дозволяє, по-перше, забезпечити виконання метрологічних вимог до проведення експерименту, підвищити змістовну валідність методик; по-друге, значно скоротити часові витрати на проведення досліджень; по-третє, різко підвищити можливість подальшого застосування методів багатовимірного математичного аналізу даних (Іванов, 1987).

Важливим є те, що комп'ютерна діагностика та суміжні з нею автоматизовані системи управління дозволяють глибше зрозуміти внутрішні закономірності складнокоординаційних рухових дій, створюють необхідні умови стимулювання аналітико-синтетичної діяльності та ефективного вдосконалення технічної майстерності, що практично неможливо у разі звичайної організації процесу навчання та вдосконалення.

Вагоме значення для стрілецького спорту у реалізації зазначеної теорії відіграє оптико-електронний тренажерний пристрій для контролю рухових дій під час прицілювання – SCATT. Цей електронний тренажер

здатний фіксувати не лише координати пробоїни на мішені, а й увесь процес пострілу у вигляді траєкторії прицілювання (тобто переміщення певної точки зброї щодо мішені). Траєкторія відображається на екрані комп'ютера. Аналіз траєкторії дозволяє зрозуміти отриманий результат пострілу, виявити помилки, що виникли у процесі прицілювання й обробки спуску гачка та випуску стріли. Тренажери SCATT призначені для проведення тренувань у приміщеннях від 4 до 12 метрів з використанням практично будь-якого виду стрілецької зброї.

Основна перевага стрілецьких тренажерів SCATT закладена в можливості значного збільшення обсягу об'єктивної інформації для стрільця про техніку виконаного пострілу. У звичайних умовах тренування єдиною об'єктивною інформацією є пробоїна в мішені. Всю іншу інформацію можна розцінити як інформацію суб'єктивного характеру. Правильна оцінка такої суб'єктивної інформації залежить від практичного досвіду стрільця і його психофізіологічних характеристик. Тренажери SCATT відображають на екрані комп'ютера точну й об'єктивну траєкторію прицілювання на мішені під час виконання пострілу (у реальному часі) і реєстрацію з високою точністю вартості пробоїни (рис.5.3).

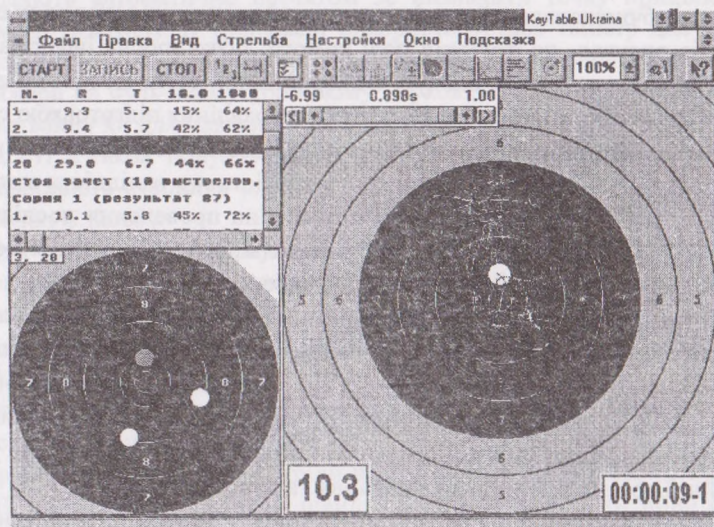


Рис. 5.3. Загальний вигляд основного вікна програми Scatt



Електронно-оптичний комплекс SCATT дозволяє проводити комп'ютерну діагностику якості прицілювання стрільців з різних видів зброї. Прицілювання належить до основних елементів техніки стрільби, який безпосередньо впливає на формування спортивного результату. Проте у зв'язку із ускладненим візуальним контролем без спеціальних технічних приладів прицілювання в стрільбі ступінь вивченості його є низьким. Контрольованість будь-якого процесу зумовлюється наявністю корисної інформації, що надходить від керованого об'єкту до керуючого, в нашому випадку — від стрільця до тренера. Але тренеру надходить тільки, в кращому разі, суб'єктивний відбиток реальної картини прицілювання. Наочно тренер може проконтролювати окремі складові елементи процесу прицілювання, не враховуючи інтегрального показника і, тим більше, частоту помилок у тих складових, котрі формують загальний вектор викиду снаряду.

В тренувальному процесі стрільців з лука електронно-оптичний комплекс SCATT використовується рідко, що зумовлено специфікою такого виду спортивної стрільби у порівнянні з іншими. Щоб розширити можливості

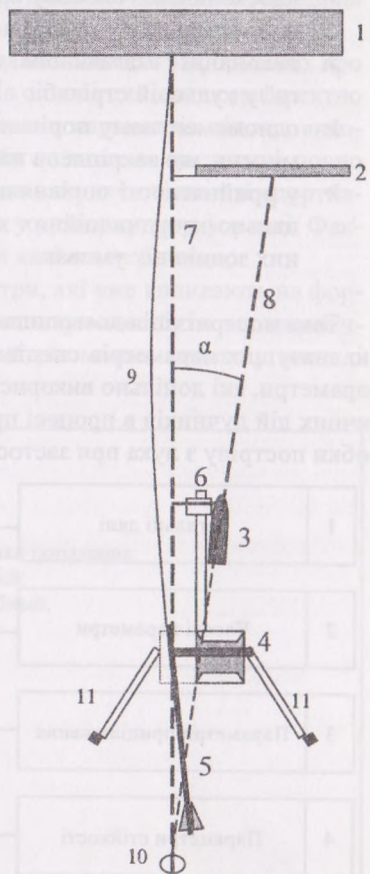


Рис. 5.4. Схема закріплення оптичного датчика електронно-оптичного комплексу SCATT на луці (вигляд зверху), де:

- 1 – мішень на щиті; 2 – електронна мішень SCATT; 3 – оптичний датчик SCATT; 4 – руківка лука; 5 – стріла; 6 – приціл лука; 7 – лінія прицілювання; 8 – напрямок променя оптичного датчика; 9 – траєкторія польоту стріли; 10 – око лучника; 11 – система стабізаторів руківки лука;  $\alpha$  – кут між лінією прицілювання і променем оптичного датчика.

під час використання комплексу SCATT у практиці лучників запропоновано інший науково-методичний підхід, котрий полягає у:

- вдосконаленні способу кріплення оптичного давача на планці вивносного прицілу лука (рис.5.4);
- виконанні "змагального" пострілу з лука на відміну від "холостого" у кульовій стрільбі;
- одномоментному порівнянні результативності під час стрільби у мішень, що закріплена на щиті та у електронну мішень;
- у прийнятності порівняльного аналізу техніко-тактичних та спеціально-координаційних характеристик під час стрільби при різних зовнішніх умовах.

Така модернізація дозволила суттєво розширити можливості контролю значущих параметрів спеціальної координації лучників. Розглянемо параметри, які доцільно використовувати для аналізу якості техніко-тактичних дій лучників в процесі прицілювання та у завершальній фазі обробки пострілу з лука при застосуванні приладу SCATT.

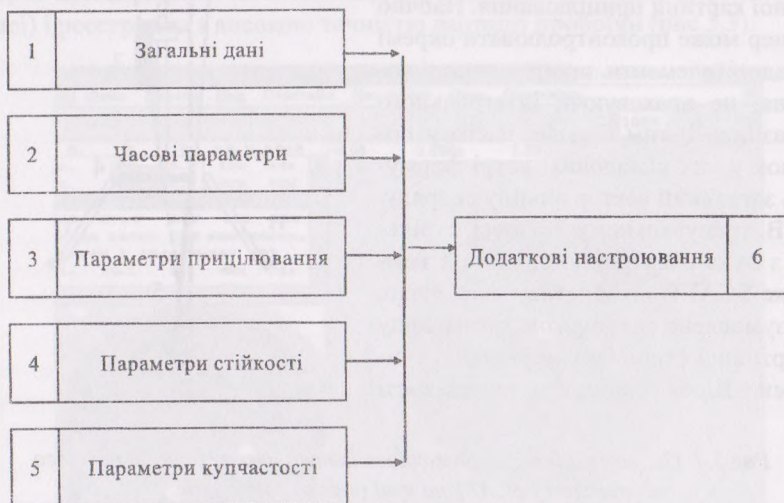


Рис.5.5. Блок-схема показників SCATT

Після виконання серій пострілів комп'ютерна програма системи SCATT видає оброблені дані умовних влучень. Виділимо кілька блоків

узагальнених показників умовних влучень – це: загальні дані; часові параметри; параметри власне прицілювання; параметри спеціальної стійкості (координації); параметри купчастості; додаткові дані настроювання SCATT (рис.5.5).

Як видно з рис.5.6. блок загальних даних містить інформацію про виконання стрілецької вправи в цілому. На основі цих даних некоректно говорити про внутрішні зв'язки кінематичних параметрів під час виконання техніко-тактичних дій стрільців. Ми не можемо достатньо повно аналізувати рівень спеціалізованої навички виходячи тільки зі спортивного результату, навіть якщо він подається у розгорнутому форматі. Фактично це кінцева мета, шляхів досягнення якої ми не бачимо.

У блоці № 2 подаються часові параметри, які вже впливають на формування самого результату, хоча рівень впливу може бути неоднозначний. Графічне зображення часових параметрів можна подати у вигляді часового графіку (рис. 5.7).

Количество зачетных выстрелов:
Результат целый:
Результат дробный:
Средний результат выстрела:
Изменение результата при смещении средней точки попадания:
Результат с учетом установленного разброса целый:
Результат с учетом установленного разброса дробный:
.....
Время стрельбы:
Среднее время выстрела:
Стабильность темпа:
.....
Поперечник стрельбы:
Стабильность прицеливания:
Точность прицеливания:
.....
Средняя устойчивость в 10.0:
Средняя длина траектории:
.....
Коэффициент эллипсности (для выстрелов):
Коэффициент эллипсности (для траекторий):
.....
Установленный разброс пуль:
Длина анализируемого куска траектории до выстрела:

Рис. 5.6. Реальна картина показників системи SCATT

Часовий графік – це діаграма, в якій висота стовпчика – це результат влучень, а відстань між стовпчиками – проміжок часу між пострілами. Даний графік дозволяє оцінювати такий параметр, як стабільність темпу стрільби.

До найінформативніших параметрів серії пострілів належать показники блоку 3 (див. рис.5.5). Точність прицілювання, стабільність прицілювання і поперечник стрільби виражаються у міліметрах і характеризують геометрію влучень. Так, точність прицілювання засвідчує зміщення середньої точки влучення під час виконання вправи відносно центру мішені. Цей показник показує, наскільки добре стрілець підготувався до залікових пострілів під час виконання пробних (чи вмє робити поправки в прицілі); коректність і своєчасність здійснення поправок вже під час залікової стрільби.

Стрелковий тренажер СКАТТ Інтервали  
 Стрелок: Дронів Олег Тренер: невідомо  
 Стрелкове упрямлення: Smallbore Pistol 50 meters (20 выстрелов 175) Дата: 9/4/2 1:15:58  
 Коментарий:

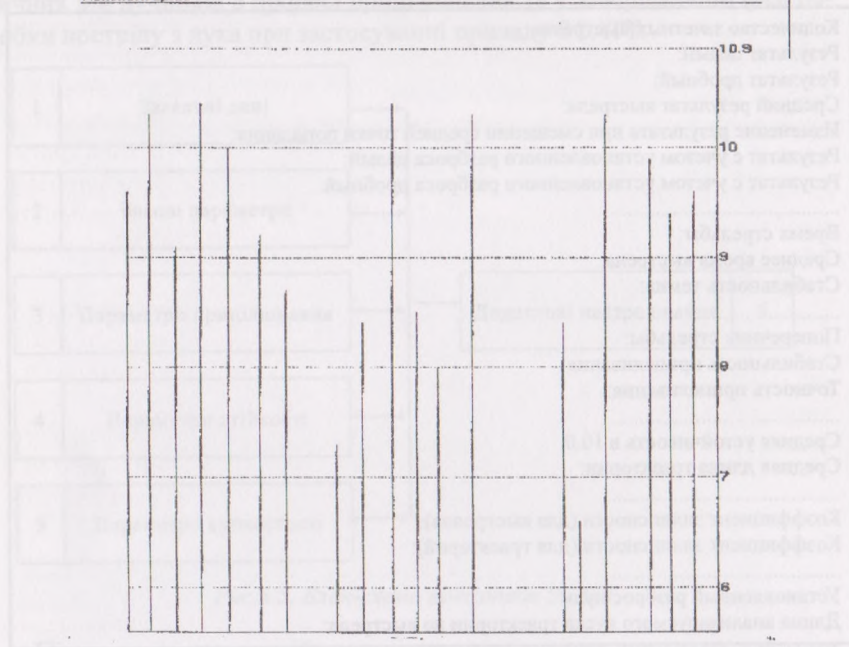


Рис.5.7. Зразок темпо-ритмової структури виконання вправи

Показник стабільності прицілювання характеризує зміщення точки влучення. Іншими словами, йдеться про характеристику розсіювання серії чи вправи в цілому.

Поперечником стрільби є показник відстані (відрізка) між найвіддаленішими точками влучення під час виконання стрілецької вправи. Такий показник показує величину відривів від середньої точки влучення.

Показники блоку мають між собою тісні, але непрямолінійні зв'язки. Так, з упевненістю можна констатувати факт безпосереднього негативного впливу величини поперечника стрільби на показники стабільності прицілювання і опосередковано на точність прицілювання. Стабільність прицілювання впливає на поперечник стрільби, але такий вплив на показник точності прицілювання може бути відсутній. Водночас, точність стрільби безпосередньо залежить як від величини поперечника стрільби, так і від стабільності прицілювання.

Блок 4 (рис.5.5) визначений двома параметрами: середньою стійкістю у зоні 10.0 і середньою довжиною траєкторії прицілювання. Дані параметри характеризують не сам факт влучення, а механізм наведення зброї та формування результату конкретного пострілу і вправи взагалі. Слід звернути увагу на те, що ці показники відображаються різними величинами. Так, середня довжина траєкторії прицілювання в міліметрах, а середня стійкість в 10.0 у процентах. При цьому середня довжина траєкторії має три складові: горизонтальну (x), вертикальну (y) та загальну (xy). Загальна величина завжди є меншою від суми горизонтальної та вертикальної. Це свідчить про складний характер руху руки і зброї у вертикальній площині.

Показник середньої стійкості в 10.0 показує, який відсоток шляху траєкторії знаходився в межах 10.0 за певний проміжок часу до виконання пострілу. Довжину шляху задають при встановленні додаткових настроювань 6 (див. рис.5.5).

Слід сказати, що параметри блоку 4 можуть не мати безпосереднього впливу на спортивний результат. Вони мають індивідуальний характер і суттєві під час аналізу техніко-тактичних дій стрільців високої кваліфікації (МС і вище).

Також зауважимо, що у разі виходу точки прицілювання за межі мішені з наступним поверненням її туди перша частина траєкторії не враховується навіть за умови потрапляння в зону аналізу при виставленні "довжини частини траєкторії до пострілу" в додаткових настроюваннях 6 (рис.5.5).

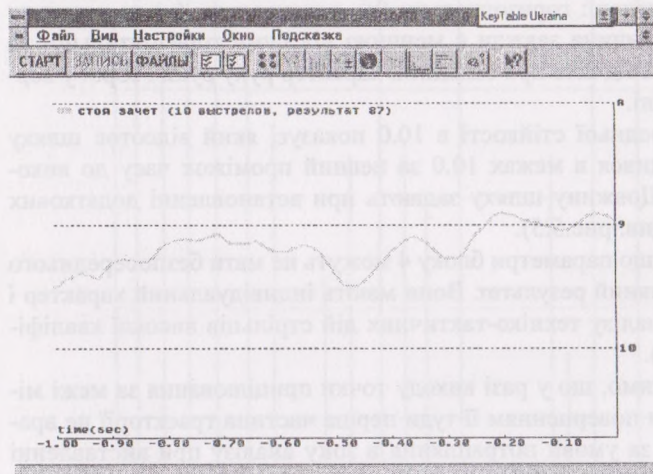
Параметри блоку 5 (рис.5.5) певною мірою повторюють перший показник блоку 3.

Коефіцієнт еліпсності описує умовний еліпс влучення, який залежить як від поперечника стрільби, так і від стабільності прицілювання. Коефіцієнт еліпсності для пострілів відображає ступінь співвідношення висоти до довжини еліпса влучення (відношення малої півосі еліпса до великої). Аналогічне значення відображає і коефіцієнт еліпсності для траєкторії. Перше значення є первинним і по суті формує друге значення коефіцієнта.

Дані коефіцієнти можуть вказувати як на особливості техніки виконання пострілу, так і на певні помилки. Вони виражаються у значних відхиленнях коефіцієнтів еліпсності від одиниці. Коефіцієнти еліпсності — безрозмірні величини. Вони можуть суттєво відрізнятись при використанні різних типів зброї.

Важливим і високоінформативним показником для визначення рівня стрілецької майстерності є динаміка переміщення точки прицілювання по мішені. У програмі “SCATT” таке переміщення називається графіком координації (рис.5.8).

Особливості аналізу координації спортсмена-стрілця при виконанні пострілу у заключній фазі полягає у наступному. На графіку “Координація” по осі



Х відзначений час рівний 1 секунді до моменту пострілу, по осі В — відхилення від центра мішені, а крива показує середнє відхилення всіх траєкторій прицілювання від центра мішені.

Рис. 5.8. Крива координації

## Контроль та моделі коливальних процесів у складних біомеханічних системах стрільби з лука

Підготовка спортсмена, здатного показати високий рівень досягнень, є результатом тісної взаємодії просторової мережі різноманітних соціальних, педагогічних, біологічних, технічних та інших не врахованих явищ, об'єднаних кінцевою метою – перемогою у змаганнях.

Специфіка стрілецьких видів спорту пов'язана з використанням зброї. Спортивний результат, в цьому випадку, залежить не тільки від рівня підготовленості спортсмена і якості зброї, але й від узгодженості процесів, що відбуваються у цих двох підсистемах (Заневский и др., 1988).

Тому, існує потреба розробки механізмів погодження, які б дозволили синхронізувати процеси та стани різних рівнів організації підготовленості лучника. Таке завдання є вкрай складне на сьогодні для теорії та практики спорту. Одним із варіантів розв'язання зазначеної проблеми є створення міжрівневих моделей взаємозв'язків організації підготовленості на основі впровадження акселерометричного інформаційно-вимірювального комплексу та інтерпретації відповідних кінематичних параметрів складної біомеханічної системи (Образцов, Ханин, 1989; Виноградський, 2001).

Для кількісного кінематичного аналізу в ході виконання роботи нами розроблено акселерометричний інформаційно-вимірювальний комплекс (рис.5.9).

На руківці лука встановлені п'єзоелектричні акселерометричні давачі  $A_x, A_y, A_z$  типу АНС 014-03, параметри котрих (чутливість  $10 \pm 3,0 \text{ мВ} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-1}$ , власна частота 2 кГц, діапазон робочих частот 1...125 Гц, діапазон прискорень  $0,5 \dots 300 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ , невеликі габарити діаметр  $19 \times 14 \text{ мм}$  та маса – 30 г) у комплекті з узгоджувальними пристроями (УП) забезпечують необхідний діапазон вимірювання прискорень та рівень вихідного електричного сигналу, пропорційний прискоренню руху руківки лука у напрямку основної складової вектора швидкості польоту стріли, а також у вертикальній та поперечній площинах. Далі через багатоканальний мультиплексор МП сигнали передаються на вхід швидкодіючого паралельно-послідовного аналого-цифрового перетворювача АЦП, а тоді через спеціальний інтерфейс ІФ у цифровому вигляді на персональний комп'ютер ПК, де проводиться збереження даних, їх аналіз, обробка та візуалізація у реальному часі. У разі необхідності числові дані, графіки, акселерограми можуть бути виведені на друкуючий пристрій ДП (рис.5.10).

Спеціально розроблена програма аналізу цифрових масивів дозволяє отримувати дані амплітудного і частотного спектрального аналізу (рис.5.11).

Для визначення загальних закономірностей оптимізації функціонування системи “лучник-лук” аналізувалися цифровий масив даних опису акселерометричних осциляцій (Уидроу, Стирнз, 1989).

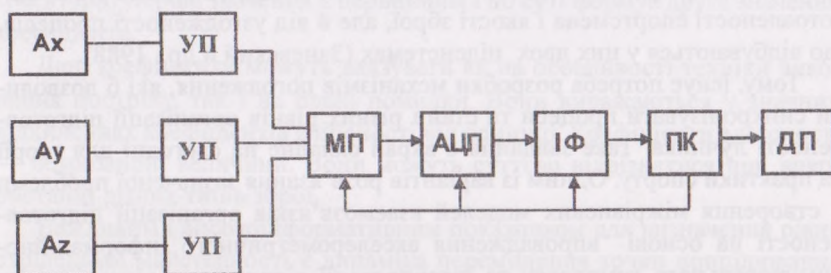


Рис.5.9. Структурна блок-схема акселерометричного інформаційно-вимірювального комплексу контролю кінематичних параметрів системи “лучник-лук”, де:  $A_x$ ,  $A_y$ ,  $A_z$  – акселерометричні давачі для визначення взаємоперпендикулярних складових вектору прискорення руківки лука; УП – узгоджувальні пристрої; МП – мультиплексор; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; ІФ – інтерфейс; ПК – персональний комп'ютер; ДП – друкуючий пристрій.

До уваги бралися максимальні та мінімальні значення (амплітуда) трьох компонент вектора прискорення при перетворенні потенційної енергії пружних елементів лука в кінематичну енергію стріли; частотні характеристики на різних часових проміжках збудження та затухання акселерометричних коливань; часові параметри протяжності періодичних коливань визначеної амплітуди.

Експериментальними чинниками виступали змінні параметри техніки виконання змагальної вправи (тип затиску руківки лука, варіант захоплення тятиви та її звільнення); конфігурація системи стабілізаторів лука (розподілена маса системи, кути з'єднання ланок системи, розподілена жорсткість); характеристики тятиви (пружність, матеріал, кількість ниток); різниця в синхронності передачі плечима лука імпульсу сили стріли.



Загальним критерієм ефективності роботи системи “лучник–лук” є спортивний результат. Проте враховуючи значну кількість чинників (якісно та кількісно визначених та таких, які, на сьогодні, не мають чіткого цифрового вираження, наприклад, опис психічних станів та процесів), що формують результат у стрільбі з лука, постає потреба введення додаткових критеріїв оцінювання ефективності роботи системи “лучник–лук”. Теоретичний аналіз, емпіричні дані засвідчують про наявність як вимушених (цілком природних і умовно нейтральних), так і збиваючих (паразитних) коливань лука під час пострілу. Цілком зрозуміло що неможлива безвартна передача енергії пружних елементів лука стрілі. Певна частина енергії залишається не переданою стрілі, що виражається в наявності коливальних рухів лука. І якщо вектор переміщення руківки лука під час власне пострілу не співпадатиме з вектором вильоту стріли відбувається негативна корекція вильоту стріли, що, очевидно, призводить до зміщення точки влучення і погіршення спортивного результату. Величину не переданої стрілі енергії та ефективність роботи системи стабілізаторів лука опосередковано можна визначити шляхом аналізу модуля величини прискорення після виконання пострілу та часу затухання великоамплітудних коливань руківки лука. Проведений аналіз виявив, що найпростішими інформативними параметрами, в даному випадку, є максимальна амплітуда прискорення та час її зменшення до рівня 0,1 від максимального по кожній з координат.

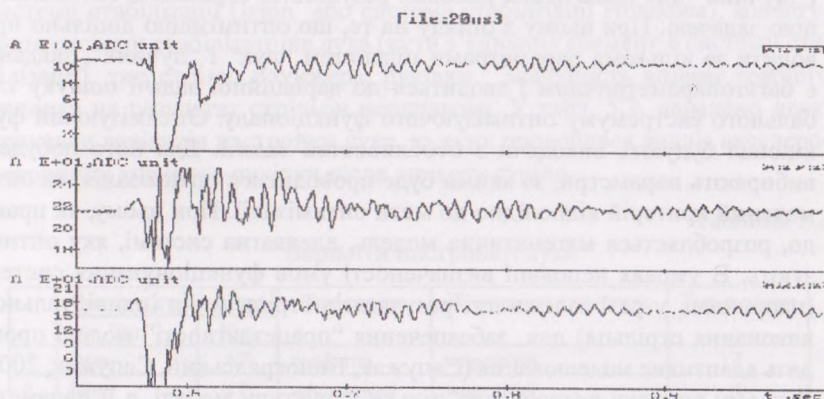


Рис. 5.10. Трикомпонентна акселерограма вібрації руківки лука

Отже є потреба чіткого диференціювання складових прискорень (а отже і переміщень) відповідно до напрямку руху стріли протягом її взаємодії з елементами лука. Якщо початок переміщення руківки лука в площині відмінній від площини руху стріли на етапі внутрішньої траєкторії відбувся швидше від часового моменту від'єднання стріли від тятиви, то можемо стверджувати про збиваючий вплив компонентів такого переміщення (прискорення). При цьому знаючи, що середня тривалість взаємодії лука зі стрілою при виконанні власне пострілу становить 0,014с, передбачаємо критичні моменти, котрі можуть виникнути під впливом психічного напруження під час змагань. Йдеться про передбачення ступеня надійності функціонування системи “лучник–лук” у відповідальні моменти. Проведений аналіз виявив, що найбільш інформативними параметрами, в даному випадку, є максимальна амплітуда прискорення та час її зменшення до рівня 0,1 максимального по кожній з координат.

Експериментальні дані засвідчили про складність побудови групових моделей інтегральної підготовленості лучників високої кваліфікації при взаємодії виконання специфічних функцій підсистем “лучник” і “зброя”. Продуктивним є варіант створення індивідуальних оптимізаційних моделей підготовленості. Механізм створення таких моделей полягає в практичному застосуванні варіаційних параметрів складових систем та підсистем.

З математичної точки зору, задача вибору параметрів підсистем “лук” і “лучник” для досягнення високих результатів стрільби є оптимізаційною задачею. При цьому з огляду на те, що оптимізацію доцільно проводити за кількома параметрами підсистем “лук” і “лучник”, завдання є багатопараметричним і зводиться до варіаційної задачі пошуку глобального екстремуму оптимізуючого функціоналу. Оптимізуючий функціонал будують виходячи з особливостей задачі. Для його побудови вибирають параметри, за якими буде проводитися оптимізація, та оптимальний критерій відповідно до мети оптимізації. При цьому, як правило, розробляється математична модель, адекватна системі, яку оптимізують. В умовах неповної визначеності умов функціонування системи (наприклад, у разі залежності результатів стрільби від індивідуального виконання стрільця) для забезпечення “працездатності” моделі проводять адаптивне моделювання (Сапужак, Виноградський, Сапужак, 2000). В цьому випадку розробляють тільки структуру моделі, а її параметри вибираються за експериментальними результатами в процесі “навчання моделі”. Відмітимо, що для “правильної” оптимізації важливою є повнота вимірюваних даних про систему, яку оптимізують.

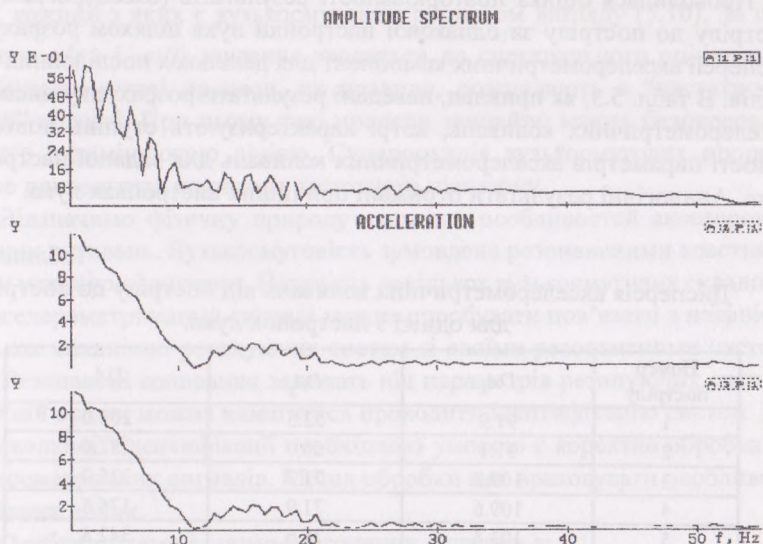


Рис.5.11. Амплітудний і частотний спектральні аналізи акселерограми

Для підтвердження коректності акселерометричних досліджень проводилися записи серій трьохкомпонентних акселерограм вібрації руківки лука за різних варіантів його настройки. При цьому змінювалися: тип системи стабілізації (Iston або система стабілізації Новікова), конфігурація системи стабілізаторів лука (кути з'єднання елементів системи стабілізації), тип стріли, плунжера, руківки. Значущість впливу кожного чинника на результат стрільби неоднакова. У табл. 5.2. наведено деякі приклади варіантів настройки лука, за яких проводився аналіз акселерометричних коливань руківки після вильоту стріли.

Таблиця 5.2

Варіанти настройки лука

	Система стабілізації		Тип стріли	Жорсткість плунжера	Тип руківки
	Тип	Кут			
1.	Iston	45°	графітна	жорсткий	1
2.	Iston	45°	алюмінієва	жорсткий	1
3.	Новікова	45°	алюмінієва	жорсткий	2
4.	Новікова	45°	графітна	м'який	2
5.	Новікова	30°	алюмінієва	жорсткий	1

Проводилася оцінка повторюваності результатів (акселерограм) від пострілу до пострілу за однакової настройки лука шляхом розрахунку дисперсії акселерометричних компонент для декількох послідовних пострілів. В табл. 5.3, як приклад, наведені результати розрахунку дисперсії акселерометричних коливань, котрі характеризують ступінь повторюваності параметрів акселерометричних коливань для заданої настройки лука. Аналогічні результати отримані при інших настройках лука.

Таблиця 5.3  
Дисперсія акселерометричних коливань від пострілу до пострілу для однієї з настройок лука.

Номер пострілу	$DA_x$	$DA_y$	$DA_z$
1	97.9	52.5	201.0
2	91.1	66.0	282.0
3	109.2	71.7	335.0
4	109.6	71.9	176.5
5	103.4	76.6	342.8

Експерименти показали достатню ступінь повторюваності параметрів акселерометричних коливань від пострілу до пострілу для  $A_x, A_y$  компонент. Це свідчить про можливість використання їх для ідентифікації параметрів настройки лука. Крім того, показники дисперсії коливань акселерометричних компонент можуть служити інформаційними параметрами настройки лука. Акселерограми за своїм характером є затухаючими коливальними процесами з наявністю шумів. Якщо абстрагуватися від затухаючого характеру коливань, то акселерометричний сигнал можна представити у вигляді суперпозиції вузькосмугових процесів. Як правильно вузькосмуговий процес представляється у вигляді (Вайнштейн, Вакман, 1983):

$$u(t) = a(t)\cos\varphi(t) \quad (5.10)$$

де  $a(t)$  – миттєва амплітуда,  $\varphi(t)$  – миттєва фаза,  $\omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt}$

– миттєва частота. В цьому випадку аналіз акселерограм зводиться до представлення (розкладання) початкового процесу у вигляді складо-

вих, кожний з яких є вузькосмуговим процесом вигляду (5.10). За постійних  $a(t)$  і  $\omega(t)$  завдання зводиться до спектрального оцінювання.

Вузькосмугові процеси, як правило, розглядають в “частотно-часовій” області. При цьому такі процеси звичайно мають безперервний спектр з домінуючою лінією. Суперпозиція вузькосмугових процесів може привести до широкого частотного діапазону.

Відзначимо фізичну природу вказаних особливостей акселерометричних коливань. Вузькосмуговість зумовлена резонансними властивостями механічної системи. Наявність декількох вузькосмугових складових в акселерометричному сигналі можна спробувати пов’язати з наявністю кількох механічно резонуючих систем зі своїми резонансними частотами. Резонансні коливання залежать від параметрів резонуючих систем і на їхній основі можна намагатися проводити ідентифікацію систем. Для “правильної” ідентифікації необхідною умовою є коректна обробка акселерометричних сигналів. Метод обробки має враховувати особливості вихідних даних.

Особливостями акселерометричних сигналів є:

- затухаючий коливальний характер;
- відносно невеликий обсяг вибірки;
- зашумленість;
- можлива наявність у спектральній області дискретних ліній;
- ймовірність широкого спектрального діапазону та ін.

Ці особливості визначають вимоги до використовуваних алгоритмів обробки акселерограм.

Для аналізу отриманих акселерограм, як нестационарних випадкових процесів, адекватним математичним апаратом є застосування перетворення Гілберта та вейвлет-аналізу. Крім того для аналізу таких процесів розроблено ряд спрощених підходів, серед яких одним з найефективніших є метод Томсона (1982).

Основні труднощі вибору алгоритму спектрального аналізу тимчасового ряду за кінцевої вибірки процесу пов’язані з необхідністю забезпечення незміщеності, “згладженості” і стійкості оцінок за невеликих змін у вихідних даних. Виникнення складнощів можливе у разі короткої вибірки даних, змішаного спектру і широкого спектрального діапазону. Зміщеність оцінок залежить від довжини вибірки. У коротких вибірках зсув великий. Зменшення зсуву досягається шляхом використання в часовій області різних “вікон” даних. Застосування вікон даних у часовій

області може позначатися на дисперсії оцінок, що характеризує “згладженість” спектру. “Згладжування” спектру забезпечує достовірність оцінки в тому сенсі, що її дисперсія не зростає у разі збільшення обсягу вибірки. “Згладжування” коректно проводити тільки у тому випадку, коли відомо, що істинний спектр “гладкий”, тобто не має яскраво виражених дискретних ліній.

Часто спектральний аналіз проводять шляхом застосування вікон даних в часовій області у розрахунку спектральних оцінок на першому етапі і “згладжування” отриманого спектру на другому.

Розглянемо результати аналізу акселерограм методом Томсона та його модифікації.

Метод Томсона розрахований на роботу з малими вибірками і використовує спеціальні вікна, котрі забезпечуються незміщеністю, стійкістю і “згладженістю” спектральних оцінок. Застосування алгоритму особливо ефективно для даних, котрі можна представити у вигляді суперпозиції вузькосмугових процесів, при відносно невеликому об’ємі вибірки, деякій зашумленості, окремих пропусках, можливій наявності широкого спектрального діапазону і “змішаного” спектру.

Багатовіконний метод Томсона зводиться до визначення “незгасаючих” мод, залежних від резонансних частот підсистем системи “лук-стрілець”, віднімання впливу “незгасаючих” мод, розрахунку усереднених періодограм з ваговими функціями (“вікнами”) у вигляді витягнутого сфероїда, які оптимально сконцентровані в часовій і частотній областях. Аналогічний підхід, що полягає у визначенні і усуненні “циклічних трендів”, з подальшим розрахунком періодограм використовувався у випробуваннях віброзахисної платформи на станції “Мир” (Левтов, Романов, Иванов и др., 2001).

Враховуючи згасаючий характер акселерометричних коливань, видається доцільним на першому етапі визначити експоненціальний тренд, враховуючий цей затухаючий характер сигналів, усунути його, після чого застосовувати метод Томсона. Таким чином, даний підхід до аналізу акселерометричних коливань на основі методу Томсона зводиться до наступного:

Нехай  $\{x_i\}, i=0, \dots, 511$  - множина вимірних значень однієї з акселерометричних компонент.

1. Визначаємо і добуваємо експоненціальний тренд з вимірних даних.

Для цього методом якнайменших квадратів на основі множини  $\{x_i\}, i=0, \dots, 511$  будуємо криву  $q = A_1 + A_2(1 - e^{pt})/p$  (Хасин, Бурьян, Минков, Рафалович, 1996), на тлі якої методом Томсона буде аналізуватися процес:

$$y = x - \{\text{експоненціальний тренд}\}.$$

Параметри експоненціального тренду  $A_1, A_2, p$  можуть бути інформативними під час ідентифікації параметрів лука. В табл. 5.4 наведено значення параметрів  $A_1, A_2, p$  для перших компонент акселерограм при різних варіантах налаштувань параметрів лука, наведених в таблиці 5.2.

Таблиця 5.4

Параметри експоненціального тренда акселерограм

№ п/п	$A_1$	$A_2$	$p$
1.	-71.73	6.75	-0.092
2.	-63.01	4.68	-0.072
3.	-74.94	5.24	-0.068
4.	-56.05	2.37	-0.040
5.	-55.81	2.30	-0.039

Відмітимо мале значення коефіцієнта загасання  $p$  для п'ятого варіанту налаштування, коли кут між елементами стабілізатора дорівнював  $30^\circ$ . Це говорить про повільне загасання коливального процесу.

Після визначення експоненціального тренду проводиться його усунення, а потім застосовується метод Томсона.

Для мінімізації дисперсії вікна повинні бути ортогональними, а для мінімізації зсуву - максимально сконцентрованими в частотній області. Оптимальними вікнами, які задовольняють ці вимоги для сигналу кінцевої тривалості є функції витягнутого сфероїда. Ці ортогональні функції є власними функціями оператора локалізації, який обмежує тривалість функції і смугу. Як вікна, вони ідеально підходять для оцінювання спектру стаціонарних сигналів тому, що вони компактно зосереджені в часовій області і оптимально сконцентровані в частотній області. Крім того вони можуть застосовуватися при аналізі слабо нестаціонарних процесів. Метод Томсона включає також окрему попередню оцінку детермінованих синусоїдальних компонент (ліній).

2. Проводиться виявлення і виділення всіх значущих синусоїд (стаціонарних детермінованих дискретних компонент – ліній, що практично не затухають) для того, щоб отримати оцінку складової з безперервним спектром:  $\hat{y} = y - \{\text{синусоїди}\}$ .

3. Проводиться усереднювання “ортогональних” оцінок періодограм, із використанням функції витягнутого сфероїда  $\{v_k\}$ , як вікон даних:

$$\hat{P}_T(f) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \left| \int \hat{y}(t) v_k(t) e^{-2\pi jft} dt \right|^2. \quad (5.11)$$

4. Проводиться перерахунок оцінок спектру з урахуванням усунених гармонік.

Визначальними параметрами для методу Томсона є кількість “вікон”, котрі використовуються у разі усереднювання періодограм, а також співвідношення “час – ширина смуги частот”, яке задає вид “вікон”.

Для виявлення і виділення значущих синусоїд (дискретних ліній) розроблено F-тест Томсона, котрий полягає у такому. Перед тим, як виділити значущі синусоїди з вихідних даних, необхідно виявити їхню присутність і оцінити їхні параметри. Припустимо, що модель сигналу має вигляд:

$$x(t) = y(t) + \sum_i \mu(f_i) e^{2\pi j f_i t + \varphi_i}, \quad (5.12)$$

де  $y(t)$  – стаціонарний гаусівський випадковий процес з безперервним спектром і нульовим середнім значенням;  $\mu(f_i) e^{2\pi j f_i t + \varphi_i}$  ( $i = 1, \dots$ ) – набір дискретних ліній у спектрі початкового сигналу. Визначимо  $k$ -ий власний спектр  $\chi_k$  як перетворення Фур’є зважених початкових даних:

$$\chi_k(f) = \int_{(t)} x(t) v_k(t) e^{-2\pi jft} dt, \quad (5.13)$$

Очікуване значення на частоті  $f_i$  має вигляд:

$$E|\chi_k(f_i)| = \mu(f_i) V_k(0), \quad (5.14)$$

де  $V_k(f)$  – перетворення Фур’є функції вікна  $v_k(t)$ . Використовуючи



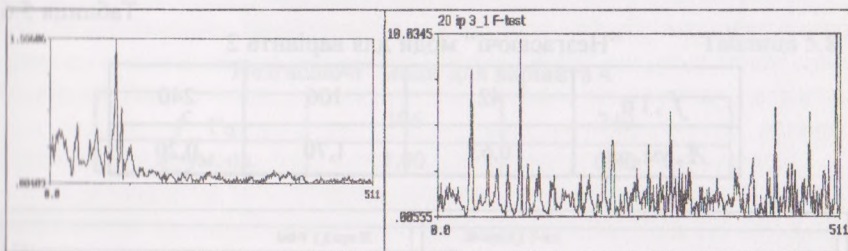
просту лінійну регресію, можна оцінити амплітуду  $\mu(f_i)$  кожної можливої синусоїди:

$$\hat{\mu}(f_i) = \frac{\sum_{k=0}^{K-1} V_k(0) \chi_k(f_i)}{\sum_{k=0}^{K-1} V_k^2(0)} \quad (5.15)$$

Визначаючи

$$F(f_i) = \frac{(K-1) |\hat{\mu}(f_i)|^2 \sum_{k=0}^{K-1} V_k^2(0)}{\sum_{k=0}^{K-1} |\chi_k(f_i) - \hat{\mu}(f_i) V_k(0)|^2} \quad (5.16)$$

вважаємо, що синусоїда присутня на частоті  $f_i$ , якщо  $F(f_i)$  перевищує пороговий рівень значущості. Відзначимо, що із зростанням порогу зростає вірогідність пропуску синусоїди, із зменшенням зростає вірогідність “помилкового” визначення синусоїди.



а

б

Рис. 5.12. Спектр першої компоненти акселерограм (а) і значущі гармоніки (б) для першого варіанту настройки параметрів лука (див. табл. 5.2) після видалення експоненціального тренду

На рис. 5.12 – 5.16 і в табл. 5.5 – 5.9 наведено результати обробки першої компоненти акселерограм після віднімання експоненціального тренда методом Томсона з використанням за усереднюванні періодограм дев'яти вікон (сфероїдальних функцій) і співвідношення “час – ширина смуги частот”, що дорівнює 4,5, для різних варіантів настройок лука (див. табл. 5.2). Під кожним малюнком у вигляді таблиці наведені значущі частоти (дискретні лінії), визначені за допомогою F-тесту Томсона з порогом, при якому вірогідність пропуску нижча за 2%.

Таблиця 5.5

“Незгасаючі” моди для варіанта 1

$f$ , Гц	42	106
$A$ , ум. од.	0,62	1,55

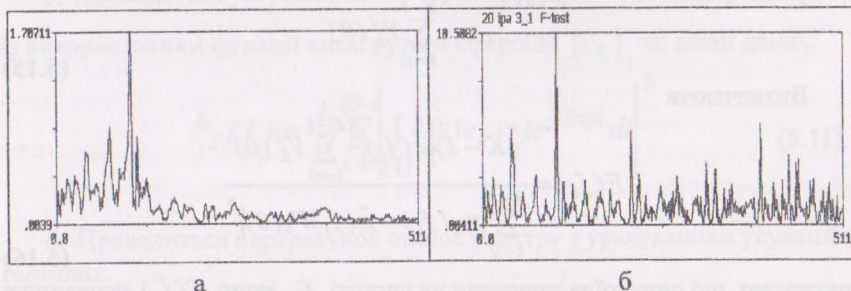


Рис. 5.13. Спектр першої компоненти акселерограм (а) і значущі гармоніки (б), для другого варіанта настройки параметрів лука (див. табл. 5.2) після видалення експоненціального тренду

Таблиця 5.6

“Незгасаючі” моди для варіанта 2

$f$ , Гц	42	106	240
$A$ , ум. од.	0,63	1,70	0,20

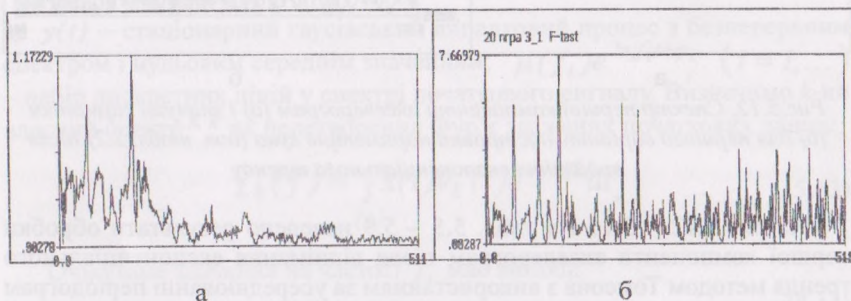


Рис. 5.14 Спектр першої компоненти акселерограм (а) і значущі гармоніки (б), для третього варіанта настройки параметрів лука (див. табл. 5.2.) після видалення експоненціального тренду

Таблиця 5.7

“Незгасаючі” моди для варіанта 3

$f, \text{Гц}$	42	85	106	213	240
$A, \text{ум. од.}$	1,30	0,60	1,70	0,10	0,40

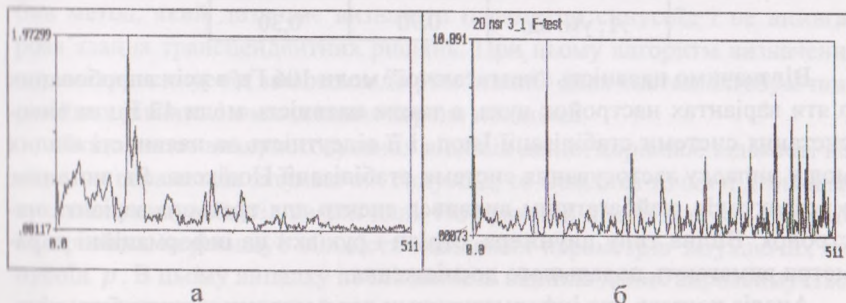


Рис. 5.15 Спектр першої компоненти акселерограм (а) і значущі гармоніки (б), для четвертого варіанту настройки параметрів лука (див. табл. 5.2) після видалення експоненціального тренду.

Таблиця 5.8

“Незгасаючі” моди для варіанта 4

$f, \text{Гц}$	106	240
$A, \text{ум. од.}$	1,90	0,50

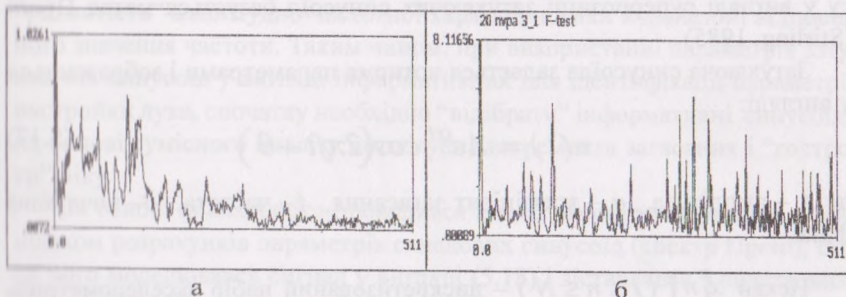


Рис. 5.16. Спектр першої компоненти акселерограм (а) і значущі гармоніки (б), для п'ятого варіанту настройки параметрів лука (див. табл. 5.2) після видалення експоненціального тренду

Таблиця 5.9

“Незгасаючі” моди для варіанта 5

$f$ , Гц	106	240
$A$ , ум. од.	0,70	0,30

Відзначимо наявність “незгасаючої” моди 106 Гц в усіх апробованих п’яти варіантах настройок лука, а також наявність моди 42 Гц за використання системи стабілізації Iston і її відсутність за наявності вищих мод у випадку застосування системи стабілізації Новікова. Як впливає з розрахунків, найбагатшим виявився спектр для третього варіанта настройок. Вплив типу плунжера, стріли і руківки на інформаційні параметри вимагають подальшого дослідження.

Аналіз показав, що інформативними параметрами можуть бути кількість дискретних ліній в спектрі акселерограм, місце їхнього розташування, співвідношення між амплітудами тощо.

Крім того, проведений аналіз засвідчив про досить стійкий характер результатів обробки даних від однієї реалізації до іншої для заданої настройки лука, що може служити запорукою успішного застосування використовуваних алгоритмів для побудови і ідентифікації факторної моделі “лук–стрілець”.

Простішою моделлю нестационарного затухаючого коливального процесу є суперпозиція затухаючих синусоїд. На зображенні процесу у вигляді суперпозиції затухаючих синусоїд базується метод Проні (Stirling, 1985).

Затухаюча синусоїда задається чотирма параметрами і зображається у вигляді:

$$u(t) = Ae^{\alpha t} \cos(2\pi ft + \theta), \quad (5.17)$$

де  $A$  – амплітуда,  $\alpha$  – коефіцієнт загасання,  $f$  – частота,  $\theta$  – початкова фаза.

Нехай  $x[n]$  ( $1 \leq n \leq N$ ) – дискретизований набір акселерометричних даних з інтервалом  $T$ . Представимо  $x[n]$  у вигляді суми затухаючих синусоїд:

$$\hat{x}[n] = \sum_{k=1}^p A_k e^{[\alpha_k(n-1)T]} \cos[2\pi f_k(n-1)T + \theta_k], \quad (5.18)$$

де  $1 \leq n \leq N$ ,  $T$  – інтервал відліків,  $p$  – кількість косинусоїд,  $A_k$  – амплітуда,  $\alpha_k$  – коефіцієнт загасання,  $f_k$  – частота,  $\theta_k$  – початкова фаза  $k$ -ої косинусоїди.

Визначення параметрів синусоїд є трудомістким процесом і зводиться до розв’язання системи трансцендентних рівнянь. Проні розробив метод, який дозволяє визначати параметри синусоїд і не вимагає розв’язання трансцендентних рівнянь. При цьому алгоритм визначення параметрів синусоїд зводиться до розв’язання двох систем алгебраїчних лінійних рівнянь і знаходження кореня полінома.

Якщо число використовуваних відліків даних дорівнює кількості невідомих параметрів затухаючих синусоїд, то можлива точна підгонка затухаючих синусоїд під наявні дані. На практиці число відліків даних  $N$ , як правило, перевищує кількість невідомих параметрів затухаючих синусоїд  $p$ . В цьому випадку послідовність відліків даних апроксимується сумою затухаючих синусоїд за методом якнайменших квадратів.

За наявності шумів для більш точної підгонки досліджуваного сигналу і моделі у вигляді суперпозиції затухаючих синусоїд рекомендується брати велику кількість синусоїд. В цьому випадку виникає проблема розділення “інформативних” синусоїд (зумовлених резонансними властивостями системи) і синусоїд, які з’являються унаслідок наявності шумів. Звичайно “інформативним” синусоїдам властивий малий декремент загасання і “гострий пік” на амплітудно-частотній характеристиці в діапазоні відповідного значення частоти. Для синусоїд, поява яких зумовлена наявністю шумів, характерний великий коефіцієнт загасання і “розмитість” амплітудно-частотної характеристики в діапазоні відповідного значення частоти. Таким чином, при використанні параметрів затухаючих синусоїд у вигляді інформативних для ідентифікації параметрів настройки лука, спочатку необхідно “відібрати” інформативні синусоїди на основі сумісного аналізу амплітуди, декремента загасання і “гостроти” піку.

На основі викладеного проводився аналіз акселерометричних даних шляхом розрахунків параметрів складових синусоїд (спектр Проні), після чого моделювався сигнал у вигляді (5.18) і зіставлявся з початковим. На рис.5.17 приведений спектр Проні і результати зіставлення початкового сигналу і змодельованого на основі (5.18) для першої компоненти акселерограм при різних варіантах настройки лука (див. табл. 5.2).

Приведені на рис.5.17, б осцилограми початкового і змодельованого на основі (5.18) сигналів свідчать про достатньо високу точність апроксимації початкового сигналу суперпозицією синусоїд у вигляді (5.18). (Відзначимо, що на рис.5.17, б накладено два графіки: початкового і змодельованого сигналів. Ці графіки практично збігаються. Деяка розбіжність спостерігається тільки на завершальному етапі, коли коливання практично вляглися). У наведених оцінках спектральних характеристик (рис.5.17 а) можна виділити області з гострими і розмитими піками. Розмиті піки в більшості випадків зумовлені наявністю шумів, в той час, як гострі - резонансними властивостями системи.

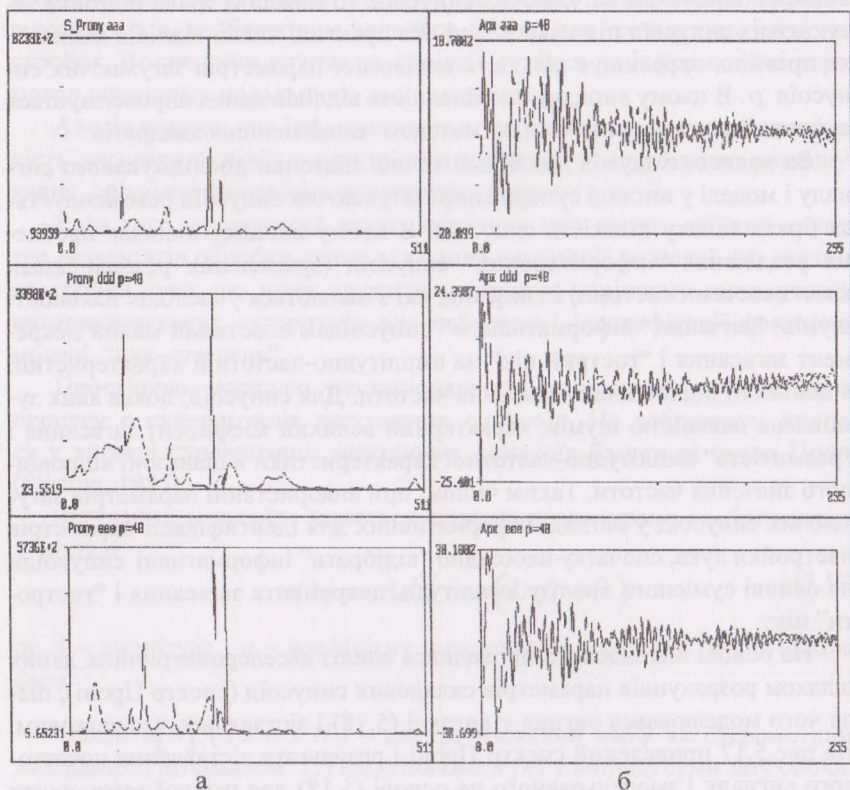


Рис.5.17. Спектр Проні (а) і результати зіставлення початкового сигналу і змодельованого на основі (8) (б) для різних варіантів настройки лука

У табл. 5.10 наведено варіанти параметрів затухаючих синусоїд для різних варіантів настройки лука.

Аналіз наведених в таблиці даних розрахунків показав, що найбільш ймовірно такі моди зумовлені властивостями системи (вказана частота у відн. од.): для варіанта **I** – 0,081, 0,124, 0,170, 0,220; для варіанта **III** – 0,079, 0,122, 0,203, 0,220; для варіанта **IV** – 0,086, 0,104, 0,146, 0,219. Відзначимо істотну різницю (на порядок і більше) декременту загасання для цих мод. В той же час за амплітудою такої відмінності не спостерігається,

Таблиця 5.10

Параметри затухаючих синусоїд для різних варіантів настройки лука

Варіант	Частота, × 500 Гц	Декремент загасання, с <sup>-1</sup>	Амплітуда, відн. од.	Фаза, рад.
<b>I</b>				
1.	0,0	-0,021	3,60	0,0
2.	0,019	-0,060	10,49	1,90
3.	0,034	-0,079	11,44	-1,04
4.	0,060	-0,046	2,95	1,76
5.	0,081	-0,013	3,09	0,94
6.	0,096	-0,099	11,97	0,281
7.	0,124	-0,014	1,15	-0,70
8.	0,143	-0,047	7,39	-2,44
9.	0,170	-0,017	1,54	-2,34
10.	0,197	-0,069	8,21	3,11
11.	0,203	-0,013	6,91	-0,55
12.	0,220	-0,013	3,66	-0,36
13.	0,249	-0,031	2,23	1,47
<b>III</b>				
1.	0,018	-0,055	7,73	1,55
2.	0,043	-0,310	50,91	1,96
3.	0,047	-0,029	0,48	1,34
4.	0,079	-0,009	2,55	2,14
5.	0,098	-0,105	12,14	-2,46
6.	0,122	-0,016	1,51	0,29
7.	0,144	-0,034	4,44	-0,85
8.	0,169	-0,032	2,23	-0,83
9.	0,203	-0,012	4,37	1,09
10.	0,220	-0,007	1,52	0,81

11.	0,228	-0,160	20,48	-2,58
12.	0,246	-0,052	2,20	0,11
<b>IV</b>				
1.	0,017	-0,017	1,47	2,30
2.	0,036	-0,065	13,58	-0,42
3.	0,066	-0,057	5,91	-2,77
4.	0,086	-0,024	3,07	2,88
5.	0,104	-0,021	5,15	1,81
6.	0,129	-0,074	5,96	1,19
7.	0,146	-0,013	1,61	2,22
8.	0,170	-0,030	4,54	-1,77
9.	0,202	-0,110	25,66	1,71
10.	0,203	-0,014	7,98	-1,72
11.	0,219	-0,007	3,46	-1,50
12.	0,247	-0,034	1,58	0,07

що свідчить, з одного боку, про практичну незастосовність Фур'є-аналізу для таких коливальних процесів, а з іншого, - про великий рівень шумів у процесі, що вимірюється. Як бачимо, відділення мод, зумовлених властивостями системи, від мод, зумовлених шумами, вдалося здійснити завдяки використанню декременту загасання як інформативного параметру. Таку процедуру можна розглядати, як своєрідну фільтрацію, здійснювану в процесі розрахунку, аналог якої важко придумати при Фур'є-аналізі.

Відзначимо, що при розробці проблемно-орієнтованих інформаційно-вимірювальних комплексів розрізняють два завдання з точки зору їх спрямування: 1) інтегральна (сумарна) експрес-оцінка стану досліджуваної системи; 2) детальне визначення вектора станів.

Стосовно завдання розробки засобів і методик оцінки якості настройки лука з урахуванням індивідуальної техніки виконання пострілу спортсменом в процесі тренування або змагань, для інтегральної експрес-оцінки можливим є застосування параметрів домінуючої складової спектру Проні, якими, наприклад, для наведених варіантів налаштувань є параметри затухаючої синусоїди, відповідної частоті в діапазоні 0,22... ум.од. У цьому випадку, чим більшою є амплітуда цього складника, тим більше енергії передається луковій в процесі стрільби і тим меншою є швидкість вильоту стріли.

Подальше дослідження доцільно проводити у напрямку використання більшої кількості інформативних параметрів, побудови факторної мо-



делі системи “лук–стрілець”, на основі чого проводити оптимізацію цієї складної біомеханічної системи.

### **Імпульсна електромагнітна система контролю якості спортивного лука**

Для вдосконалення процесів функціонування складних біомеханічних систем формату „лучник–лук–мішень” особливу увагу необхідно скеровувати на вибір параметрів лука відповідно до індивідуальної спортивної техніки кожного спортсмена.

Однією з основних характеристик лука є початкова швидкість стріли, яка впливає на стабільність польоту, а отже на купчастість влучання. З іншого боку, вона характеризує ефективність використання енергії пружних елементів лука. Отже, швидкість вильоту стріли та її стабільність протягом тривалого часу і в різних кліматичних та метеорологічних умовах можна вважати інтегральним показником якості спортивного лука.

Проте у сучасній практиці підготовки спортсменів–лучників підгонка здійснюється переважно емпіричними методами без використання технічних засобів об’єктивного контролю кінематичних параметрів зброї. Для розв’язання цієї актуальної проблеми був розроблений пристрій визначення часових рухових параметрів спортсменів–лучників (Виноградський, Пятков, 1999), котрий дозволяє вимірювати час прольоту стріли через встановлену на прицілі лука оптронну пару і наближено визначати початкову швидкість. Незважаючи на принципове розв’язання основного завдання, пристрій має суттєвий недолік – він порушує динамічний баланс елементів лука і, крім того, може створювати психологічний дискомфорт для спортсмена.

Враховуючи викладене вище, як один з можливих варіантів визначення початкової швидкості стріли пропонується застосувати автоматизовану систему, вимірювальні давачі котрої встановлюються перед луком.

За основу взято імпульсну систему неруйнівного контролю, що використовувалася для розв’язання практичних завдань дефектоскопії виробів та матеріалів, інтроскопії (Жук, Петрушин, Пугач і др., 1989).

До складу системи (рис.5.18) входять: генератор (1), збуджуючий (2) та вимірювальний (3) контури, схема компенсації гармонійних завад (4), пристрій відносних вимірювань (5), аналого-цифровий перетворювач (6), інтерфейс (7), схема формування керуючих сигналів (8) та персональний комп’ютер (9).

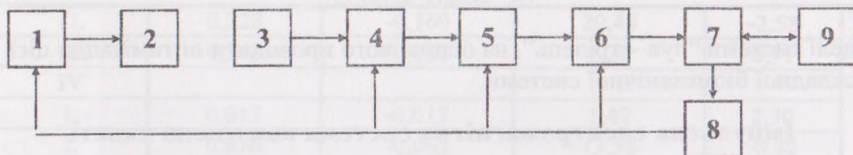


Рис. 5.18. Структурна схема імпульсної електромагнітної системи контролю якості спортивного лука

Система працює так. Відповідно до керуючих сигналів з персонального комп'ютера генератор формує імпульси, що подаються у збуджуючий контур, внаслідок чого створюється електромагнітне поле. Сигнал, що наводиться у вимірювальному контурі в загальному випадку має вигляд:

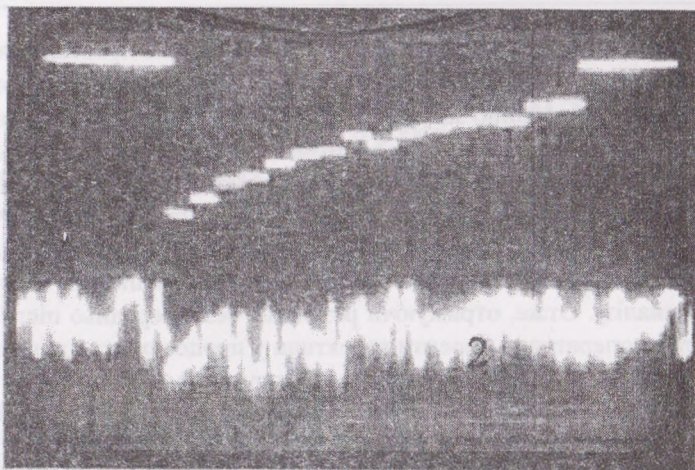
$$U_{\Sigma}(t) = U_n(t) + U_r(t) + U_{cs}(t) + U_b(t) + U_k(t), \quad (5.19)$$

де  $U_n(t)$  – сигнал, наведений збуджуючим імпульсом;  $U_r(t)$  – завада промислової частоти;  $U_{cs}(t)$  – імпульсна синхронна завада, зумовлена відгуком на збудження конструкційних елементів системи та спортивного спорядження;  $U_b(t)$  – випадкова (шумова) завада;  $U_k(t)$  – корисний сигнал, наведений збуджуючим імпульсом у стрілі під час прольоту через контури.

Оскільки амплітуда корисного сигналу  $U_k(t)$  є значно меншою за інші зазначені складові, то необхідно провести обробку сумарного сигналу з метою ослаблення завад.

Робота вимірювальної ланки синхронізована так, щоб отримувати корисний сигнал після закінчення імпульсу збудження, тим самим позбавляючись від його дії. Промислова завада усувається у схемі компенсації шляхом додавання гармонійного сигналу однакової з  $U_r(t)$  амплітуди, але з протилежною фазою.

Після компенсації сигнал подається на пристрій відносних вимірювань, який дозволяє повністю компенсувати постійні зміщення і низькочастотні дрейфи, імпульсні синхронні та випадкові (шумові) завади (Драбич, Сапужак, Цема, 1990). Про високу завадостійкість пристрою відносних вимірювань свідчать експериментальні дані, отримані на діючому макеті пристрою, реалізованому у 16-канальному варіанті. При цьому, на фоні шуму, дисперсія котрого приблизно вдвоє перевищує максимальне значення корисного сигналу, останній виділяється достатньо чітко (рис. 5.19).



*Рис. 5.19. Фотографія осцилограм ускладнених шумовою завадою сигналу (2) та виділеної з нього пристроєм відносних вимірювань інформаційної складової (1)*

На виході пристрою, як видно з рисунка, формується сигнал у вигляді послідовності дискрет, амплітуда яких відповідає різниці синхронних рівнів корисної складової під час прольоту стріли.

Далі сигнал подається на аналого-цифровий перетворювач, котрий, за експериментальними даними, повинен забезпечувати динамічний діапазон не менше  $0.3 \cdot 10^5$ , тобто 16 розрядів (в т. ч. знак), час перетворення не більше 1 мкс. Інтерфейс забезпечує передачу даних в комп'ютер, а також сигналів синхронізації та керування пристроями системи у зворотному напрямку. Спеціально розроблений пакет прикладних програм є основою функціонування системи та виконує попередню обробку та математичний аналіз даних. Таким чином, за ввімкнення системи завади компенсуються і корисний сигнал відсутній. Останній створюється тільки внаслідок прольоту стріли через контури і передається в комп'ютер у цифровому вигляді.

Математичний аналіз відповідних дискрет різницевих сигналів дозволяє отримувати характерні огинаючі, прямо пов'язані з особливостями стріли та її швидкістю. Провівши експериментальні дослідження з вико-

ристанням оптронного приладу вимірювання швидкості, встановлюються еталонні профілі для кожного типу стріл. Крім того, використовуючи апарат аналізу монотонно затухаючих сигналів, до яких відносяться отримані різниці величини, можна визначити характерний для кожного типу стріл параметр за допомогою інтегрального перетворення, що базується на багаторазовому інвертуванні (Кусый, Сапужак, Цема, 1991). За параметром затухання сигналу та еталонними профілями визначається початкова швидкість стріли, для чого розроблено спеціальні алгоритми експрес-аналізу. Отже, отримуючи результат безпосередньо після пострілу, можна оперативно вносити корективи у процес підгонки лука.

Використання персонального комп'ютера, крім основних функцій, пов'язаних з керуванням системою і реалізацією процедур аналізу отриманих результатів, дає можливість накопичувати останні в поєднанні з описом відповідних змін елементів регулювання зброї для створення бази даних. Вона може бути покладена в основу розробки алгоритмів оптимізації процесу вибору і підгонки луків.

## РОЗДІЛ 6

# МОДЕЛІ СПЕЦІАЛЬНОЇ ФІЗИЧНОЇ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТРІЛЬЦІВ ВИСОКОЇ КВАЛІФІКАЦІЇ

### Регресійно-кореляційні моделі компонентів спеціальної фізичної підготовки кваліфікованих лучників

Цілком зрозуміло, що стрільба з лука відноситься до тих видів спорту, яким притаманна точність дозування м'язових зусиль і просторова точність спеціалізованих рухів. В таких видах спорту для прогресу технічної майстерності необхідне створення певного «запасу потужності» моторного потенціалу, тобто розвиток рухових здібностей до рівня, що перевищує той, який об'єктивно необхідний для вирішення рухового завдання. Цим забезпечується можливість певної варіативності при виконанні спортивних рухів без побоювання вийти за межі існуючого моторного потенціалу (Запорожанов, 1988; Ровний, 2002).

Аналіз публікацій результатів наукових досліджень свідчить, що технічна майстерність лучників характеризується такими показниками: як точність відтворення заданого зусилля (м'язова чутливість), що відображає здатність до управління м'язовими зусиллями, а також відношенням максимальної сили м'язів до сили лука (Калиниченко, 1986; Ровний, 2000). Існують обґрунтовані дані, що такі показники залежать від спортивної кваліфікації лучників. Так, у МСМК, в середньому, помилка відтворення заданого зусилля в 6 раз менша, ніж у новачка. Зусилля, що прикладаються до тятиви становлять приблизно 1/3 від максимальної сили МСМК, а у початківців даний показник є більшим від 1/2. Подібна тенденція спостерігається і у відношенні часу виконання змагального пострілу до максимального часу утримання лука в натягнутому стані.

Результати попередніх досліджень виявляють характерну особливість, яка полягає в тому в тому, що величина кореляційної залежності

між показниками розвитку сили, силової витривалості і спортивним результатом із ростом спортивної майстерності зменшується. Зазначене свідчить про те, що рівень спеціальної фізичної підготовленості висококваліфікованих стрільців з лука використовується далеко не повністю, а межі «запасу потужності» не мають визначених значень. Звідси, постає потреба перегляду підходів до пошуку та уточнення високоінформативних параметрів для визначення рівня розвитку спеціальної фізичної підготовленості стрільців з лука високого класу.

Звідси, однією з основних проблем сучасного спорту є раціоналізація використання моторного потенціалу спортсмена для вирішення конкретного рухового завдання. Зростання спортивного результату забезпечується, щонайменше, двома чинниками: підвищенням рівня спеціальної фізичної підготовленості спортсмена і його здатністю так організувати свої рухи, щоб якомога повніше реалізувати моторні можливості. З іншого боку, вдосконалення спортивної техніки буде плідним і ефективним тільки в тому випадку, коли воно передбачає формування біомеханічно доцільної структури рухів, відповідно до реального рівня фізичної підготовленості спортсмена. Отож, завжди стоїть питання відповідності рівнів розвитку окремих фізичних якостей та рухових навичок, а також доцільність їх подальшого вдосконалення. Також необхідно акцентувати увагу на застосуванні принципу провідного чинника фізичної підготовленості, оскільки він відіграє ключову роль у визначенні рухового потенціалу в спеціалізованому виді рухової діяльності. Подані діалектичні протиріччя були і залишаються актуальними в системі підготовки висококваліфікованих спортсменів (Запорожанов, 1988; Ивойлов, 1986; Лапутин, 1986; Платонов, 2004). Найбільш рельєфно дана проблема виступає у складнокоординаційних видах спорту, яким є стрільба з лука.

Щоб визначити рівень спеціальної фізичної підготовленості кваліфікованих стрільців використовувалася система тестів, яку умовно можна розділити на чотири блоки (рис.6.1). До першого блоку включалися тестові вправи для визначення максимальної сили м'язів плечового поясу у різних площинах в робочій стійці лучника. Другий блок використовувався для визначення силової витривалості із застосуванням особистої зброї. При такому тестуванні виконувалася вправа для виявлення максимальної кількості натягувань лука правою та лівою рукою. Третій блок складався з вправ спрямованих для визначення статичної витривалості з використанням лука. Вправи четвертого блоку застосовувалися для встановлення рівня розвитку спеціалізованих пропріоцептивних відчуттів лучників (силова диференціація).

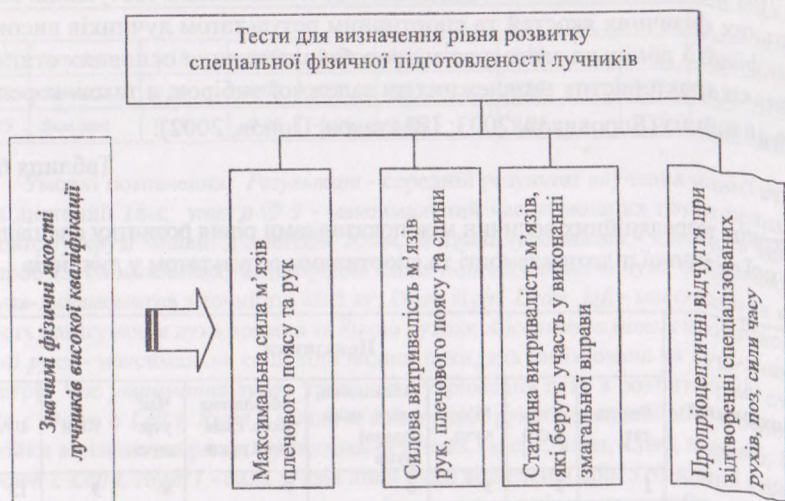


Рис. 6.1. Блочна структура системи тестів

В оптимальному варіанті контроль за станом спеціальної підготовленості був би найбільш ефективним, якщо можна було б контролювати всі параметри із заданою ступінню точності. Але з огляду на велику кількість параметрів, складність, і неможливість реєстрації у деяких випадках, контроль потрібно здійснювати за сукупністю основних параметрів.

Але на практиці, визначення рівня спеціальної підготовленості за сукупністю основних параметрів викликає значні труднощі. Звідси виникає завдання вибору основних параметрів, які визначають реальний рівень спеціальної підготовленості з певною вірогідністю Р:

$$P(v) = \frac{\sum_{i=1}^v k_i z_i}{\sum_{i=1}^m k_i z_i}, \quad (6.1)$$

де,  $k_i$  – величина, яка визначає вагу  $i$ -го параметра;  $z_i$  – символ  $i$ -го параметра;  $m$  – загальна кількість параметрів;  $v$ , кількість параметрів, які контролюються.

Для визначення щільності зв'язків між показниками тестування спеціальних фізичних якостей та спортивним результатом лучників високої кваліфікації доцільно застосувати способи визначення основних статистичних характеристик незалежних та залежної вибірок, а також кореляційний аналіз (Боровиков, 2003; Шестаков, Попов, 2002).

Таблиця 6.1

Матриця кореляційних величин між показниками рівня розвитку спеціальної фізичної підготовленості та спортивним результатом у лучників

Показники		Показники							
		Результат	Утр. в Ø 9	М'яз. чутол.	Абсолютна макс. сила правої руки	Абсолютна макс. сила лівої руки	Час утр. лука	UP R	UP L
		1	2	3	6	7	8	9	13
1	Результат	-	<u>0.53</u>	<u>0.29</u>	<u>0.38</u>	<u>0.34</u>	<u>0.48</u>	<u>0.31</u>	<u>0.35</u>
2	Утр. в Ø 9	<u>0.53</u>	-	-0,14	0,06	0,09	<u>0.71</u>	-0,05	0,01
3	М'язова чутолвість	0,23	-0,14	-	-0,11	<u>-0.32</u>	-0,17	-0,23	0,19
4	Draw right	-0,17	0,25	0,16	-0,15	-0,04	<u>0.45</u>	-0,23	0,14
5	Draw left	-0,01	0,09	0,04	0,14	0,23	0,23	0,21	0,25
6	Абсолютна макс. сила правої руки	<u>0.38</u>	0,06	-0,11	-	<u>0.92</u>	<u>0.32</u>	<u>0.84</u>	<u>0.88</u>
7	Абсолютна макс. сила лівої руки	<u>0.34</u>	0,09	<u>-0.32</u>	<u>0.92</u>	-	<u>0.45</u>	<u>0.85</u>	<u>0.86</u>
8	Час утримання лука	<u>0.48</u>	<u>0.71</u>	-0,17	<u>0.32</u>	<u>0.45</u>	-	0,19	<u>0.31</u>
9	Up r	<u>0.31</u>	-0,05	-0,23	<u>0.84</u>	<u>0.85</u>	0,19	-	<u>0.96</u>
10	Down r	0,09	-0,10	<u>-0.41</u>	<u>0.78</u>	<u>0.77</u>	0,15	<u>0.88</u>	<u>0.88</u>
11	Left r	0,18	-0,05	-0,23	<u>0.82</u>	<u>0.85</u>	0,20	<u>0.94</u>	<u>0.91</u>
12	Right r	0,13	-0,15	-0,18	<u>0.88</u>	<u>0.81</u>	0,12	<u>0.91</u>	<u>0.95</u>
13	Up l	<u>0.35</u>	0,01	-0,19	<u>0.88</u>	<u>0.86</u>	<u>0.31</u>	<u>0.96</u>	-
14	Down l	0,11	-0,20	-0,26	<u>0.78</u>	<u>0.77</u>	0,14	<u>0.84</u>	<u>0.85</u>
15	Left l	0,16	-0,01	-0,16	<u>0.77</u>	<u>0.75</u>	0,21	<u>0.92</u>	<u>0.93</u>
16	Right l	0,19	-0,01	-0,16	<u>0.73</u>	<u>0.73</u>	0,22	<u>0.88</u>	<u>0.91</u>



МОДЕЛІ СПЕЦІАЛЬНОЇ ФІЗИЧНОЇ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ СТРІЛЬЦІВ ВИСОКОЇ  
КВАЛІФІКАЦІЇ

17	Sum right	0,18	-0,09	<u>-0,30</u>	<u>0,85</u>	<u>0,84</u>	0,17	<u>0,97</u>	<u>0,95</u>
18	Sum left	0,20	-0,07	-0,21	<u>0,83</u>	<u>0,82</u>	0,22	<u>0,94</u>	<u>0,96</u>
19	Sum total	0,19	-0,08	-0,26	<u>0,85</u>	<u>0,84</u>	0,19	<u>0,96</u>	<u>0,96</u>

Умовні позначення: *Результат* - середній результат влучення однієї стріли на дистанції 18м; *упр. в Ø 9* - максимальний час утримання точки прицілу в жовтому крузі мішені діаметром 20мм; *м'язова чутливість* - кількість вдалих спроб (з 10 можливих) відтворення сили індивідуального лука за допомогою лука-динамометра з точністю  $\pm 0,5$  кг; *Draw right, Draw left* - максимальна кількість натягування лука правою та лівою рукою; *Абсолютна макс. сила правої (лівої) руки* - максимальна сила відповідної руки, яка зафіксована на луці-динамометрі; *Час утримання лука* - тривалість утримання лука в розтягнутому стані; *Up r, Dawn r, Left r, Right r* - сила м'язів правої руки відведеної вбік з основної стійки в різних напрямках прикладання зусиль (вверх, вниз, вліво, вправо); *Up l, Dawn l, Left l, Right l* - сила м'язів лівої руки відведеної вбік з основної стійки в різних напрямках прикладання зусиль (вверх, вниз, вліво, вправо); *Sum right, Sum left* - сума модулів сили м'язів правої, лівої рук у чотирьох напрямках; *Sum total* - сума модулів сили м'язів обох рук у чотирьох напрямках.

Як видно з таблиці 6.1, із 18 показників, які безпосередньо чи опосередковано могли б впливати на результат влучення, всього 7 показників (в таблиці такі показники кореляції виділені жирним шрифтом) мають достовірний вплив на нього, при умові проведення тестування на великих за обсягом вибірках ( $n > 100$ ) та виборі рівня статистичної значимості  $p < 0,05$ . Тому в шапці таблиці подаються значимі спеціальні фізичні якості лучників, а в першому стовпчику - всі дані педагогічного тестування. Зазначимо, що найбільший взаємовплив спостерігається між результатами тестування тривалості утримання точки прицілювання в центрі мішені та точністю влучення ( $r = 0,53$ ). Дещо менший вплив має показник статичної витривалості при виконанні вправи - максимальний час утримання лука у розтягнутому стані ( $r = 0,48$ ). Таке легко пояснити, оскільки в основі першої "спеціалізованої" вправи лежить інша, до певної міри, простіша з координаційної точки зору. Варто зауважити, що не виявлено значущої позитивної дії суми абсолютних сил м'язів верхніх кінцівок на спортивний результат у стрільців високої кваліфікації (таблиця 6.1). Але прояв силових якостей м'язів як правої так і лівої рук, виявлених під час тестування при підніманні заслуговує на увагу з огляду

на його значимість ( $r=0,31$ ;  $r=0,35$ ). Побудуємо статистичні моделі проявів силових зусиль м'язів в чотирьох напрямках вертикальної площини (вправо, вліво, вгору, вниз) при вихідному положенні основної стійки стрільця з лука (рука, що утримує лук витягнута вперед). Отже для побудови векторограм силових компонент м'язів плечового поясу та рук використовувалися 8 вправ, за допомогою яких існує можливість контролю максимальних зусиль у чотирьох напрямках для лівої та правої рук.

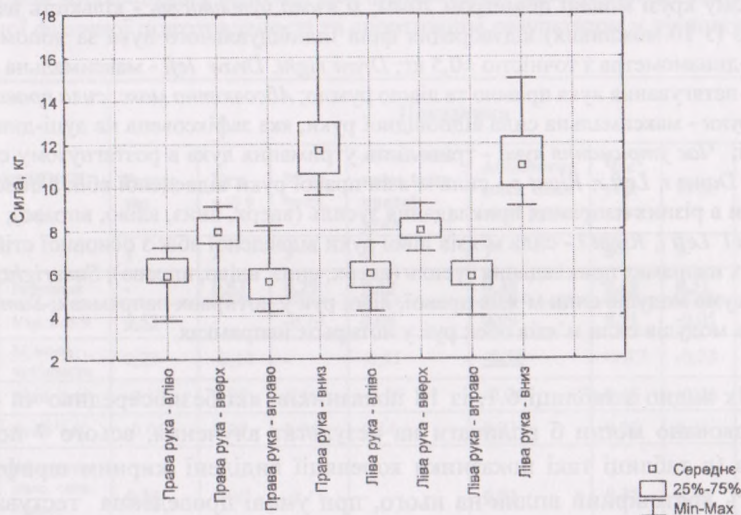


Рис.6.2. Вектограма сил м'язів правої та лівої руки у жінок

З огляду на неоднозначний внесок у спортивний результат показників векторів максимальної сили при виконанні зазначених тестових вправ, виникла наукова необхідність визначення загальних закономірностей в ході побудови силових вектограм у чоловіків та жінок (рис.6.2 та рис.6.3). Виявлено, що як в жінок так і чоловіків – стрільців з лука високої кваліфікації, викристалізуються практично однакові співвідношення між показниками різноспрямованих силових векторів. Найбільші середні значення м'язових зусиль зареєстровано при опусканні як правої так і лівої рук. Таку тезу можна пояснити тим, що складови-

ми елементами формування згаданого показника, окрім іншого, є і сила тяжіння. Проте найцікавішим є те, що легко розпізнаються інші величини, які характеризують силу м'язових скорочень при підніманні, де сила тяжіння змінює величину впливу на зворотну. Незважаючи на це, як при тестуванні рівня розвитку м'язів правої руки так і лівої при підніманні, зареєстровано середні показники, що суттєво відрізняються від інших фіксованих показників. Звідси попередній висновок про те, що спеціалізована професійна діяльність лучників здійснює вагомий вплив на розвиток м'язів правої та лівої кінцівок, які беруть участь в роботі при підніманні та утриманні рук у зафіксованому положенні. Отже, спостерігається і зворотній процес.

Побудуємо математико-статистичну модель залежності спортивного результату лучників від показників рівня розвитку спеціальних фізичних якостей. Модель являє собою рівняння множинної регресії з відповідними стандартизованими та нестандартизованими коефіцієнтами. Залежною змінною виступила величина середньої вартості стріли на дистанції 18м. На першому етапі побудови моделі у якості незалежних змінних вибрано 7 показників, які мають значимий вплив на спортивний результат. В подальшому кількість предикторів може бути змінено залежно від логіки уточнення та верифікації моделі. Запропоновано наступну математичну формулу розрахунку спортивного результату:

$$\begin{aligned} \text{Результат} = & 9,09 + 0,036 (\text{упр. в } \emptyset 9) + 0,016 (\text{м.чум.}) - \\ & 0,008 \text{ Max } r + 0,005 \text{ Max } l + 0,016 \text{ Tame draw} - 0,016 \text{ Up } r + 0,051 \text{ Up } l \quad (6.2) \end{aligned}$$

де, *Результат* – середній результат влучення однієї стріли на дистанції 18м; *упр. в  $\emptyset$  9* – максимальний час утримання точки прицілу в жовтому крузі мішені діаметром 20мм; *м.чум.* – кількість вдалих спроб (з 10 можливих) відтворення сили індивідуального лука за допомогою лука–динамометра з точністю  $\pm 0,5$  кг; *Max r* і *Max l* – максимальна сила правої та лівої рук, яка зафіксована на лугі–динамометрі; *Tame draw* – тривалість утримання лука в розтягнутому стані; *Up r*, *Up l* – сила м'язів правої і лівої руки відведеної вбік з основної стійки при прикладанні зусиль вгору.

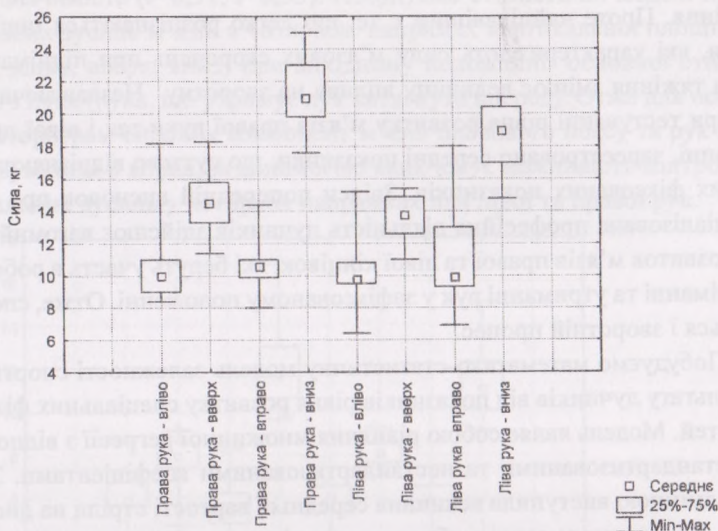


Рис.6.3. Вектограма сил м'язів правої та лівої руки у чоловіків

Аналізуючи формулу (6.2) можна переконатись у тому, що величини нестандартизованих коефіцієнтів у більшості предикторів є невеликими. Винятками є тільки коефіцієнти при показникові часу утримання лука у жовтому колі мішені та показник при показникові сили м'язів, які беруть участь у підніманні та утриманні лівої руки ( 0,36 та 0,51, відповідно). Проте останній показник є статистично не значимим при  $p=0,05$ . Значення коефіцієнта детермінації становить майже  $R=0.612$ , що засвідчує про помірну ступінь наближеності лінії регресії до даних спортивного результату і про відповідну можливість отримання якісного прогнозу (рис.6.4).

З метою підвищення адекватності регресійної моделі було поділено вибірки на основі статевої ознаки, а також використано процедуру покрокового включення показників спеціальної фізичної підготовленості до правої частини рівняння для його спрощення. В результаті виявилось, що лінія регресії для жінок може мати вигляд:

$$\text{Результат} = 8,66 + 0,05 \text{ утр, в } \varnothing + 0,027 \text{ Tate draw} + 0,051 \text{ Up}_1 \quad (6.3)$$

Як бачимо рівняння лінії регресії (6.3) суттєво спростилося, а степінь наближення зріс до  $R = 0.713$ . При включенні додаткових доданків у праву частину рівняння точність практично не збільшується, а складність його розв'язання підвищується помітно.

Було виконано аналогічні процедури і щодо чоловіків - лучників високої кваліфікації. Отримано наступне рівняння:

$$\text{Результат} = 9,00 + 0,044(\text{м.чут.}) + 0,023 \text{ Max } I + 0,0443 \text{ Up } I \quad (6.4)$$

Зауважимо, що значення коефіцієнту детермінації становить для даного математичного виразу 0,624, що нижче за відповідне значення у жінок, але дещо вище ніж для всіх спортсменів разом. Виходячи з вище наведеного, зроблено попередній висновок про те, що для підвищення точності розрахунків з інтерполяції чи екстраполяції значень спортивної результативності лучників високої кваліфікації, доцільно використовувати різні математико-статистичні моделі взаємозв'язків між показниками спеціально-фізичної підготовленості та середньою вартістю влучень у мішень.

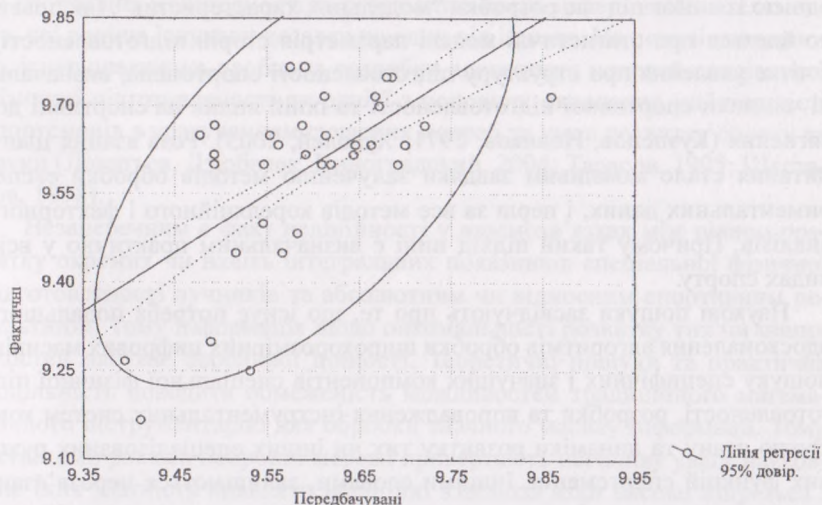


Рис. 6.4. Співвідношення фактичних та передбачуваних (лінія регресії) показників спортивної результативності у лучників високої кваліфікації

### Моделі спеціальної фізичної підготовленості стрільців з використанням нейронних мереж

Значне число фахівців у галузі спорту вищих досягнень акцентують увагу на створенні моделей “найсильніших спортсменів”. При цьому ці моделі мають важливі педагогічні функції, а саме:

- методичну: з'ясування правильності обраної методики тренування, враховуючи ступінь досягнення поставлених педагогічних завдань, відповідно до нормативних вимог;
- прогностичну: діагностування досягнення спортсменом визначеного рівня, необхідного для переходу до розв'язання складніших тренувальних завдань;
- контрольну: визначення рівня спеціальної підготовленості спортсменів;
- порівняльну: виявлення відмінностей між спортсменами залежно від показаних результатів.

Більшість науковців протягом тривалого часу сходяться на думці, що однією із вимог під час розробки “модельних характеристик”, (як правило йдеться про статистичні моделі параметрів сторін підготовленості), є чітке уявлення про структуру підготовленості спортсмена, визначальні чинники спортивної підготовленості та їхній вплив на спортивні досягнення (Кузнецов, Новиков, 1971; Худолей, 2005). Розв'язання цього питання стало можливим завдяки залученню методів обробки експериментальних даних, і перш за все методів кореляційного і факторного аналізів. Причому такий підхід нині є визначальним практично у всіх видах спорту.

Наукові пошуки засвідчують про те, що існує потреба подальшого вдосконалення алгоритмів обробки широкорозмірних цифрових масивів, пошуку специфічних і значущих компонентів спеціальної фізичної підготовленості, розробки та впровадження інструментальних систем контролю стану та динаміки розвитку тих чи інших спеціалізованих рухових функцій спортсменів. Іншими словами, залишаються нерозв'язане питання створення ефективних, з педагогічної точки зору, моделей спеціальної фізичної підготовленості.

Аналіз останніх наукових праць з проблем моделювання складних систем в спорті підтверджує тенденції використання найновіших алго-

ритмів обробки різновекторної та значної за обсягом інформації. Зокрема, з'явилися перші спроби використання теорії нейронних мереж в ході моделювання процесів навчання руховим навичкам в спорті (Шестаков, 2004). Також вказується на перспективність використання гібридних інтелектуальних систем під час моделювання нейробіонічних систем саморозвитку в ході побудови моделі поведінки спортсмена (Редько, 2001; Тарасов, 1995; Турчин, 2000).

Отже, раціонально структурована, формалізована та оперативно надана спеціалізована інформація є основною передумовою коректності управлінських рішень щодо системи підготовки спортсменів. В той же час, моделі спеціальної та загальної фізичної підготовленості спортсменів високої кваліфікації є невід'ємним елементом такого інформаційного забезпечення. Але аналіз якості інформаційного забезпечення спортивної діяльності засвідчує, в більшості випадків, про розрізненість, неструктуризованість, практичну або теоретичну малозначимість та, найголовніше, відсутність визначеного механізму його інтеграції в єдину систему спортивної підготовки. При цьому під інтеграцією розуміємо процес взаємного доповнення, для розв'язання завдань з підвищення рівня спортивної майстерності та результативності, інформаційних елементів, які раніше існували незалежно один від іншого. На основі наведеного, існує практична проблема розробки адекватних моделей спеціальної фізичної підготовленості як однієї з основних складових майстерності спортсменів з урахуванням сучасних потреб та умов розвитку спорту та науки (Лопат'єв, Дзюбачек, Виноградский, 2004; Тарасов, 1995; Шестаков, 1998).

Незаперечним є факт нелінійності у взаємозв'язках між рівнем розвитку окремих чи навіть інтегральних показників спеціальної фізичної підготовленості лучників та абсолютним чи відносним спортивним результатом. Тому інформація щодо оптимальності розвитку тих чи інших якостей набуває особливої цінності. Теоретичні пошуки та практична доцільність доводить обмеженість можливостей традиційного математичного інструментарію для обробки значного масиву інформації. Тому останніми роками нейронні мережі привертають особливу увагу науковців. Їхня здатність виявляти нелінійні взаємозв'язки високо цінується і застосовується для розв'язання найрізноманітніших завдань. Найпоширенішими з них є моделювання динамічних систем, обробка сигналів і розробка систем контролю. Протягом останнього десятиріччя теорія

нейронних мереж активно розвивалася і багато задач їх проектування, навчання і визначення чисельних значень знайшли свій практичний розв'язок. Узагальнюючи зауважимо, що нейронні мережі увійшли до практики скрізь, де потрібно вирішувати завдання прогнозування, класифікації або управління.

Розглядаючи причини поширення вказаного методу можна констатувати таке. Нейронні мережі – перспективний метод моделювання, що дозволяють відтворювати надзвичайно складні залежності. Зокрема, нейронні мережі нелінійні за своєю природою. Протягом тривалого часу лінійне моделювання було основним методом моделювання у спорті, оскільки для нього добре розроблені процедури оптимізації. В завданнях, де використання лінійної апроксимації є некоректним (а таких налічується більшість), цінність лінійних моделей є сумнівною. Окрім сказаного, нейронні мережі можуть впоратися з “прокляттям розмірності”, що практично заперечує лінійні залежності і характеризується великою кількістю вхідних та вихідних змінних

Також перевагою нейронних мереж є те, що вони навчаються на прикладах. Тренер подає на входи нейронної мережі значущі для педагогічного процесу дані, а потім запускає алгоритм навчання, який автоматично сприймає структуру даних. При цьому від тренера, звичайно, потрібен набір практичних чи евристичних знань про те, як доцільніше підготувати дані, вибрати потрібну архітектуру мережі та інтерпретувати отримані результати. Загалом використання нейронних мереж є доступним для широкого кола фахівців.

Особливо важливе значення слід надавати можливостям нейронних мереж в ході прогнозування динаміки розвитку та поведінки складних біомеханічних систем. В даному разі прогнозування процесу розвитку спеціальної фізичної підготовленості лучників високої кваліфікації обумовлено каузальною формою відповідної моделі нейронної мережі. На наш погляд, підготовленість слід розглядати як стан системного динамічного та нелінійного характеру розвитку з частково прихованою структурою. Звідси проаналізуємо властивості нейронних мереж, які підкреслюють можливість ефективного моделювання взаємозалежностей у стані підготовленості стрільців. До їх числа відносяться:

1. Здатність нейронних мереж здійснювати багатопараметричний прогноз динаміки стану спеціальної фізичної підготовленості



лучників, урахувуючи емерджентність прогнозованих процесів спортивної підготовки.

2. Оперативність прогнозування стану підготовленості лучників. Висока оперативність досягається на основі максимального розпаралеленості процесу обробки спеціалізованої інформації.
3. Нечутливість до недоліку апіорної інформації про параметри підготовленості шляхом компенсації інформації, котрої бракує, з бази прецедентів – статистичних моделей попередніх експериментальних даних.
4. Можливість обробки даних, представлених в різнотипних шкалах вимірювання параметрів спеціальної фізичної підготовленості, яка здійснюється зведенням до однієї логічної шкали без втрати оперативності та якості прогнозування, оскільки продуктивність нейронних мереж практично не залежить від числа параметрів спеціальної підготовленості, записаних в пам'яті нейронних мереж.
5. Здатність вирішувати слабо формалізовані задачі (наявність якісної, а не кількісної інформації про підготовленість), тобто виявлення не очевидних аналогій.
6. Наявність голографічності, що полягає у збереженні властивостей неронної мережі у разі руйнування випадково вибраної частини нейронної мережі. Як наслідок, виявляється висока надійність нейронних мереж і толерантність результатів прогнозу стану спеціальної підготовленості  $Y_{it+1}$  до спотворень і перешкод у вхідних векторах змін величин параметрів підготовленості  $X_i$ .
7. Здатність до донавчання. Інформація, що надходить, на вхід нейронних мереж про поточні параметри  $X_i$ , може бути врахована шляхом її донавчання використовуючи властивості пластичності міжнейронних з'єднань деяких типів нейронних мереж. При цьому немає необхідності в створенні нової моделі, адекватної новим тенденціям розвитку складових стану спеціальної фізичної підготовленості.
8. Можливість прогнозування стрибків і подій, що не спостерігалися раніше в експериментальній вибірці параметрів підготовленості лучників, що досягається активізацією інтелектуальних властивостей нейронних мереж, а саме вибором або синтезом нейронних мереж такого типу, які здатні створювати прототип і узагальнювати тенденції розвитку стану підготовленості за їхньою подібністю в минулому.

Враховуючи наведені аргументи створимо ряд нейронних мереж, входами котрих є відібрані параметри спеціальної фізичної підготовленості відповідно до процедур і логічних суджень описаних вище, а саме: максимальний час утримання точки прицілу в жовтому крузі мішені діаметром 20мм; кількість вдалих спроб (з 10 можливих) відтворення сили індивідуального лука за допомогою лука-динамометра з точністю  $\pm 0,5$  кг; максимальна сила правої та лівої рук, яка зафіксована на луці-динамометрі; тривалість утримання лука в розтягнутому стані; сила м'язів правої і лівої руки відведеної вбік з основної стійки при прикладанні зусиль вгору.

Таблиця 6.2

Порівняльний аналіз властивостей нейронних мереж під час моделювання параметрів спеціальної фізичної підготовленості лучників високої кваліфікації

№	ТИП	ПОМИЛКА	К – СТЬ ВХОДІВ	К–ТЬ ПРИХОВАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	ЯКІСТЬ
1	MLP	0,132	7	8	0,824
2	MLP	0,131	7	1	0,839
3	MLP	0,131	7	8	0,907
4	MLP	0,131	7	8	0,812
5	MLP	0,129	7	8	0,904
6	MLP	0,128	7	8	0,795
7	MLP	0,118	7	3	0,821
8	MLP	0,115	7	3	0,895
9	MLP	0,107	7	5	0,803
10	<b>MLP</b>	<b>0,092</b>	7	5	<b>0,892</b>

Результати свідчать (табл.6.2), що розв'язання завдань класифікації даних, котрі є параметрами стану спеціальної фізичної підготовленості, доцільно подавати за допомогою нейронних мереж у формі багатощарових перцептронів (MLP). В цьому випадку кожний елемент мережі буде зважену суму своїх входів з поправкою у вигляді доданку, а далі пропускає розраховане значення через функцію передачі. Спочатку на вхід перцептроні подаються значення семи параметрів стану підготовленості, а на виході – спортивний результат. Надалі відбувається “навчання” мережі, що

полягає у підгонці моделі до введених даних на вході та виході. Помилку для конкретної нейронної мережі визначаємо шляхом “прогону” всіх наявних зафіксованих показників спостережень і порівняння вихідних значень мережі з цільовими (правильними) значеннями. Тобто покроково просуваємося в бік зменшення помилки. В таблиці 6.2 зазначається, що у всіх представлених нейронних мережах на вході зазначається сім показників, що свідчить про коректність відбору на попередніх етапах експерименту. Натомість розрізняється кількість прихованих елементів у нейронних мережах. Відзначимо низькі значення помилок та високі – у якості мереж. Найоптимальніший варіант виділено в таблиці 6.2, а його архітектуру зображено на рисунку 6.5. Можемо стверджувати про те, що така модель може правильно кваліфікувати чи прогнозує близько 90% спостережень. Звідси попередній висновок про те, що моделі зазначеного типу коректніше описують стан спеціальної фізичної підготовки лучників у порівнянні з регресійними моделями, аргументами котрих є ті ж параметри.

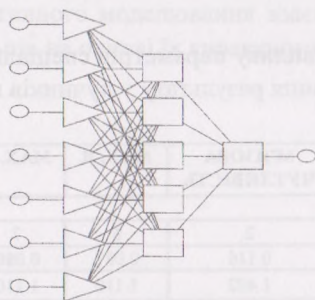


Рис. 6.5. Архітектура трьохшарового перцептрон моделі спеціальної фізичної підготовки лучників

Видається за доцільне визначити вагомість того чи іншого показника підготовки лучників у створенні зазначеної моделі. Для цього скористаємося Neural Network. Дані було розділено на дві вибірки: навчальну і контрольну. Визначено три показники для кожної змінної, котрі можуть характеризувати їх місце у формуванні спортивного результату: помилка, відношення і ранг (табл.6.3). Значення помилки засвідчує про те, яким буде якість мережі, у разі виключення визначеного показника з числа вхідних змінних. Очевидним є те, що більш важливим для класи-

фікації чи прогнозування є високі значення вхідних показників мережі. Тому підкреслимо, що найвагоміший вплив на формування кінцевого спортивного результату має значення тривалості утримання прицілу у жовтому колі мішені, а за ним йде рівень диференціації відчуттів м'язової сили у лучників.

Показники відношення, що характеризують пропорцію між значеннями помилки конкретного показника та основної помилки мережі, є більшими за одиницю, що вказує на правильність добору семи незалежних змінних. Усунення якого-небудь з семи зазначених показників спеціальної підготовленості погіршує якість нейронної мережі.

У стрічці рангів (табл.6.3) показники проранжовано в порядку зменшення помилки. Відзначимо практичну відповідність у ранжуванні показників двох вибірок: навчальної і контрольної, що підкреслює стабільність у роботі отриманої нейронної мережі – трьохшарового перцептрону.

Таблиця 6.3

Аналіз чутливості впливу параметрів спеціальної фізичної підготовленості на формування результату у лучників високої кваліфікації

ПОКАЗНИК	УТР. В Ø 9	М'ЯЗОВА ЧУТЛИВІСТЬ	MAX. R	MAX. L	TAKE	UP R	UP L
<i>Навчальна вибірка</i>							
Ранг	1	2	6	7	3	5	4
Помилка	0.185	0.116	0.087	0.086	0.107	0.091	0.105
Відношення	2.387	1.492	1.110	1.110	1.386	1.181	
<i>Контрольна вибірка</i>							
Ранг	1	2	6	7	5	3	4
Помилка	0.137	0.132	0.099	0.095	0.101	0.103	0.102
Відношення	1.388	1.442	1.081	1.033	1.103	1.127	

Умовні позначення: *утр. в Ø 9* - максимальний час утримання точки прицілу в жовтому крузі мішені діаметром 20мм; *м'язова чутливість* - кількість вдалих спроб (з 10 можливих) відтворення сили індивідуального лука за допомогою лука-динамометра з точністю  $\pm 0,5$  кг; *Max. R, Max. L* - максимальна сила правої (лівої) руки, що зафіксована на луці-динамометрі; *Take* - тривалість утримання лука в розтягнутому стані; *Up r, Up L* - прикладена вверх максимальна сила м'язів правої (лівої) відведеної вбік руки.

На основі ранжування як навчальної так і контрольної груп виділимо три блоки спеціальних фізичних якостей лучників за вагомістю їх ролі у досягненні кращого спортивного результату. До першого блоку, котрий має найістотніший вплив на формування спортивної результативності лучників високої кваліфікації віднесемо здатність до тривалого утримання точки прицілу в жовтому крузі мішені та рівень розвитку силової диференціації при імітації змагальної вправи. До другого боку потрапили вияви: максимальних силових можливостей м'язів плечового поясу правої та лівої руки (що утримує лук) у змагальній стійці у напрямку спрямованому вертикально вгору; спеціалізованих силових статичних можливостей. До третього – демонстрація максимальних силових показників правої та лівої руки під час натягування лука-динамометра. Отож результати дослідження доводять перспективність використання алгоритмів функціонування нейронних мереж для прогнозування поведінки складних систем у спорті. Основні властивості нейронних мереж надають можливість ефективного моделювання взаємозалежностей у стані підготовленості стрільців на основі їх коректного застосування.

# РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ У ПРАКТИЦІ ПІДГОТОВКИ ЛУЧНИКІВ ВИСОКОЇ КВАЛІФІКАЦІЇ

### **Вдосконалення побудови тренувального процесу лучників високої кваліфікації з використанням засобів моделювання.**

Планування тренувальних навантажень, розробка планів та програм спеціальної підготовки, а отже і прогнозування дидактичних ефектів від них знаходяться в полі пильної уваги багатьох фахівців (Баландин В.И., 1986 та ін, 1986; Запорожанов В.А., та ін, 1987; Шустин Б.Н., 1995). У наукових роботах розглядається широкий спектр цієї проблематики. До аспектів, що вивчаються, включені питання від визначення дефініцій процесу прогнозування у фізичному вихованні та спорті до практичних прийомів реалізації планів спеціальної підготовки. Проте, значна кількість наукових праць має однобокий характер, висвітлюючи ту чи іншу проблему моделювання тренувального процесу спортсменів відірвано, оскільки мало коли спостерігається тісний взаємозв'язок між теоретичними положеннями та практикою застосування .

Сучасний стан розвитку інформаційних та комп'ютерних технологій розкриває нові можливості у точності та оперативності моделювання тренувальних педагогічних дій. Традиційні методи екстраполяції чи експертних оцінок при прогнозуванні змін спортивного результату тепер виглядають громіздкими та неточними. Тому аналіз стану наукового і методичного забезпечення спортивної та тренувальної діяльності підтверджує актуальність порушеного питання про запровадження ефективніших методів моделювання тренувального процесу спортсменів.

Втім, з'явилися нові підходи до аналізу тенденцій розвитку стрільби з лука у світі. Вони спонукають до запровадження і новітніх програмних

продуктів під час планування тренувальних навантажень лучників високої кваліфікації (Боровиков В., 2003; М.П. Шестаков, та ін., 2002).

Побудову тренувального процесу спортсменів – стрільців з лука, в багатьох випадках, доцільно представляти процесом моделювання та прогнозування, як його складової частини. Вірогіднісний характер поведінки складних педагогічних систем, до яких належить спортивна підготовка, висуває особливі вимоги до їхнього моделювання (Лисенков А. Н., 1990). Ці вимоги включають пошук таких форм співвідношення складних педагогічних систем з моделями, які б дозволили аналізувати їх поведінку з урахуванням різновекторних впливів дидактичних дій та “стохастичного” середовища. Дослідження складних систем спортивної підготовки пов’язане з постановкою і розв’язанням багатоаспектних завдань, що поєднують в собі, з одного боку, безперервність і дискретність, а з іншого – детермінованість, випадковість і невизначеність. Спроби подолати цю складність здійснюються в двох напрямках: 1) шляхом розробки спеціальних методів і алгоритмів, що враховують характер вірогідності поведінки системи, а також 2) використанням загальнонаукових підходів дослідження: системно-структурного, вірогіднісно-оптимізаційного тощо.

Ще однією найважливішою особливістю моделювання складних дидактичних систем є неповнота початкових даних (Лисенков А. Н., 1979). Тому значущість моделювання складних стохастичних систем постійно зростає. Як правило, отримати, при цьому, повний опис випадкових функцій за допомогою багатовимірного розподілу вектора відліків цих функцій практично неможливо. Тому, ефективною видається така постановка задачі моделювання: перехід від однозначного визначення величин вихідних параметрів моделі до побудови області їхніх значень, що відповідають вхідним даним. Такий загальний підхід дозволяє використовувати математичні методи, за допомогою яких можна провести як аналіз розподілу випадкових величин, так і планування експерименту по отриманню цих величин, виходячи з вимог до точності характеристик.

Враховуючи перелічені аспекти моделювання під час планування тренувального процесу спортсменів, зокрема – стрільців з лука, сформульована актуальність пошуку та застосування адекватних способів формалізації та алгоритмізації параметрів педагогічних завдань та дій.

Моделювання динаміки стану підготовленості лучників зводиться до формалізації опису зміни значущих показників підготовленості спортсмена протягом визначеного відрізка часу спеціальної підготовки. Мо-

дель динаміки параметрів стану підготовленості визначає ефективність спортивного тренування. З фізіологічної точки зору, модель відзеркалює закономірності протікання адаптаційних процесів організму спортсмена до спеціальних навантажень, а з педагогічної точки зору – закономірності становлення спортивної майстерності.

Щоб забезпечити створення необхідних умов для ефективного переходу з поточного стану підготовленості стрільця в запланований, процес тренування умовно розчленовують за часовою ознакою на ряд структурних елементів. При визначенні їхньої тривалості, переважної спрямованості і взаємозв'язку один з одним виходять із завдань підготовки, календаря змагань, закономірностей довготривалої адаптації і становлення спортивної майстерності, віку, кваліфікації, стажу спортсмена та ряду інших чинників (Баландин В.И., 1986 та ін, 1986).

Теоретично обґрунтованим і практично перспективним для планування системи підготовки високкваліфікованих спортсменів є застосування математичних методів планування експерименту.

Математичне планування багатофакторних експериментів – новий кібернетичний підхід до організації і проведення педагогічних експериментальних досліджень в спорті. Система спортивної підготовки представляється кібернетичною моделлю «чорної скриньки», яка характеризується набором вхідних чинників  $x$  і вихідних показників  $y$ . Основними задачами багатофакторних експериментів є: пошук найістотніших чинників, що впливають на показники  $y$ ; побудова адекватних моделей залежності типу  $y = f(x_1, \dots, x_k)$  в певних часових рамках системи підготовки; елімінування впливів на показники  $y$  зі сторони некерованих чинників. Використання сучасної методології планування багатофакторних експериментів дозволяє в значній мірі формалізувати процес дослідження та побудови системи спортивної підготовки, скоротити число педагогічних випробовувань і час їх проведення, отримати найповнішу інформацію з експериментів у вигляді математичних моделей, придатних для кількісної оцінки впливу чинників, знаходження оптимальних режимів, контролю і управління процесом спеціалізованої підготовки стрільців. Найбільш доцільно з точки зору простоти розрахунків і інтерпретації даних використовувати ортогональні плани з невеликим числом контрольних точок, включаючи звичайні плани  $2^k$ , ортогональні композиційні плани, а також багаторівневі ортогональні і квазіортогональні плани (Боровиков В., 2003).



Щоб проаналізувати кількісний вплив чинників на показники спортивної результативності лучників, побудувати моделі апроксимацій, які були б придатними для оптимізації педагогічного управління системою підготовкою стрільців високої кваліфікації, використано такі методи і плани моделювання:

- плани  $2^k$  для аналізу чутливості зміни спортивного результату, процедури відсіювання і на їх основі – виділення найістотніших чинників досягнення результативності;
- методи побудови квадратичних моделей дидактичного процесу для адекватного опису системи спортивної підготовки лучників протягом певного часу;
- процедури планування педагогічного експерименту з використанням економних багаторівневих планів для вивчення кількісних і якісних чинників в умовах неповноти управлінської інформації.

Плани повного факторного експерименту типу  $2^k$  і моделі із взаємодіями чинників, що беруться до уваги, використовувалися щоб виявити нову необхідну інформацію, недоступну при застосуванні традиційного однофакторного педагогічного дослідження. Подання результатів експерименту типу  $2^k$  у вигляді моделі є зручним для інтерпретації впливу дидактичних методів, побудови графічних одно- і двофакторних залежностей, проведення інтерполяційних і екстраполяційних розрахунків.

Важливе значення в практиці побудови тренувального процесу лучників у підготовчому періоді мають величини інтенсивності навантаження стрілецькою підготовкою (1 фактор) та співвідношення стандартизованих пострілів до загальної кількості пострілів (2 фактор) протягом підготовчого періоду у лучників високої кваліфікації. Таке практичне завдання можна розв'язати використовуючи факторний план  $2^2$  щоб визначити адекватність моделі першого порядку.

Зрозуміло, що в спортивній практиці існують верхні та нижні межі коливання величини значень зазначених факторів. Так, коефіцієнт відношення стандартизованих пострілів до загальної кількості пострілів може бути в межах 0,2 – 0,9. Іншими словами, від 20 до 90% всіх пострілів в спеціальному підготовчому періоді річного циклу може виконуватиметься у режимі контрольної стрільби по мішені (на результат). Хоча середнє значення дорівнює приблизно коефіцієнту 0,5, тобто 50%. Величина інтенсивності виконання цілісного пострілу у визначений вище період річної підготовки знаходиться в межах від 1 до 3 пострілів за хвилину.

В моделі першого порядку обидва визначених фактори вступають у комбінації один з одним у верхніх та нижніх значеннях. Проте виявилося, що модель буде адекватною лише для певного відрізка значень факторів і неадекватною для всієї множини значень цих факторів. Отже залежність між величинами факторів і спортивним результатом буде нелінійною. Щоб уникнути цієї неадекватності вирішено застосувати центральний композиційний план і використати модель другого порядку.

Першим кроком реалізації такого експериментального плану є побудова матриці, що складається з даних інтенсивності виконання спеціалізованого стрілецького навантаження, ступеню наближеності до цілісної змагальної вправи (стандартність) та зміни спортивного результату лучників із врахуванням кількості стрільців (дослідів), розмаху та кроку показників вибірок (табл.7.1).

Таблиця 7.1

Матриця плану двохфакторного педагогічного експерименту

Лучники (випадки)	Відношення стандартизованих пострілів	Інтенсивність стрілецького навантаження	Приріст середнього результату
1	0.3	1	0.1
2	0.3	3	-0.2
3	0.9	1	-0.1
4	0.9	3	0.2
5	0.2	2	-0.1
6	1.0	2	0.1
7	0.6	1	-0.1
8	0.6	3	-0.1
9	0.6	2	0.3
10	0.6	2	0.2
11	0.3	1	-0.2
12	0.3	3	-0.1
13	0.9	1	0
14	0.9	3	0.1
15	0.2	2	-0.1
16	1.0	2	0.1
17	0.6	1	0
18	0.6	3	-0.1
19	0.6	2	0.25
20	0.6	2	0.2

Другим кроком реалізації центрального композиційного плану є оцінювання моделі другого порядку на основі аналізу даних з таблиці дисперсійного аналізу (табл.7.2) та графіками (рис.7.1, 7.2, 7.3). Із табл. 7.2

впливає, що статистично значущими (рівень  $p < 0,05$ ) є два квадратичні члени та рівень лінійної взаємодії стандартності та інтенсивності: стандартність (1Q), інтенсивність (2Q) та взаємодія (1L+2L). У перелічених показників рівень значущості є меншим за 0,05 (в табл.7.2, виділено). Проміжними висновками можуть бути положення про суттєвість впливів на спортивний результат тільки квадратичних значень показників, які досліджуються, або в умовах лінійної сумісної дії обох факторів. Щоб визначити наскільки модель адекватно описує експериментальні дані застосовувався тест втрати узгодженості. Оскільки  $p$ -значення додаткового тесту більше від 0,05 ( $0,07 > 0,05$ ), модель другого порядку є адекватною для опису зміни спортивної результативності лучників на дію визначених чинників педагогічного спрямування.

Таблиця 7.2

## Показники дисперсійного аналізу двохфакторних залежностей

Фактори	Сума квадратів	Частота	Середньо квадратичні значення	F - критерій	p
(1L) Стандартність (лінійний ефект)	0.0431	1	0.0431	4.534	0.0514
(1Q) Стандартність (квадратичний ефект)	<b>0.0821</b>	<b>1</b>	<b>0.0821</b>	<b>8.637</b>	<b>0.0107</b>
(2L) Інтенсивність (лінійний ефект)	0.0264	1	0.0264	2.782	0.1174
(2Q) Інтенсивність (квадратичний ефект)	<b>0.1578</b>	<b>1</b>	<b>0.1578</b>	<b>16.601</b>	<b>0.0011</b>
Взаємодія 1L і 2L	<b>0.0450</b>	<b>1</b>	<b>0.0450</b>	<b>4.733</b>	<b>0.0471</b>
Втрата узгодженості	0.0612	3	0.0204	3.122	0.0070
Чиста помилка	0.0718	11	0.0065		
Загальна сума квадратів	0.4523	19			

Діаграма карти Паретто також вказує на факт наявності значущих ефектів з боку дії чинників, що розглядаються (рис.7.1). Відповідні колонки перетинають вертикальну лінію, що виражає 95%-у вірогідність.

На основі використання графіку поверхні відгуку визначено область значення факторів, в якій ріст спортивного результату є максимальним (рис.7.2). Ця поверхня має екстремум, що приблизно дорівнює 0,8 “інтегральності пострілів” та 2,1 “інтенсивності стрільби”.

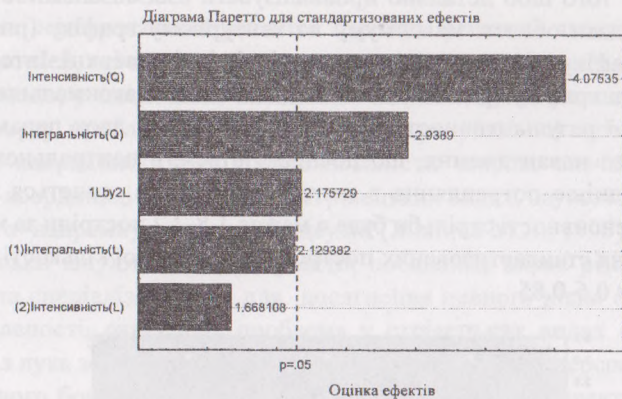


Рис. 7.1. Діаграма Паретто з визначення значимості ефектів дії педагогічних чинників на спортивний результат

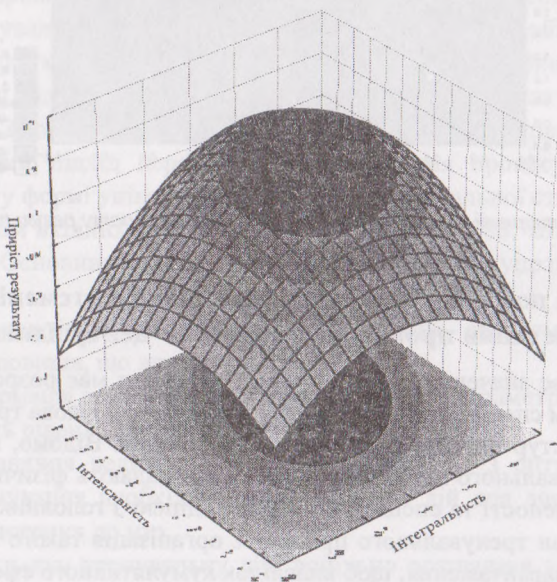


Рис. 7.2. Підігнана поверхня відгуку зміни спортивного результату лучників на експериментальні фактори

Окрім того щоб детально проаналізувати взаємозалежності доцільно розглядати області максимуму на контурному графіку (рис.7.3). На такому графіку зручно досліджувати різні рівні поверхні. Інтенсивність кольору на графіку (рис.7.3) дозволяє визначити максимальний приріст спортивної результативності при умові виконання двох параметрів педагогічного навантаження, що досліджуються, в центральному еліпсі. Найвірогідніше потрапляння в центральний еліпс станеться коли значення інтенсивності стрільби буде в межах 1,8-2,2 постріли за хвилину, а відношення стандартизованих пострілів до загальної кількості пострілів становити 0,6-0.85.

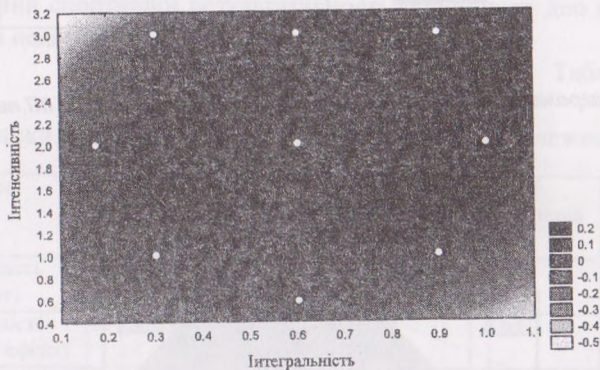


Рис.7.3. Контурний графік підігнаної поверхні приросту результату лучників

### Методика побудови процесу підготовки спортсменів на основі використання процедур симплексно-центроїдних планів

Особливе значення для спортивної практики має розробка адекватних програм спеціалізованих занять і змістовна побудова триваліших часових структур процесу підготовки спортсменів. Відомо, що основний зміст тренувального процесу спортсменів складають фізичні вправи різної направленості та спеціалізованості. Однією з головних проблем під час побудови тренувального процесу є організація такого застосування фізичного навантаження, щоб внаслідок кумулятивного ефекту організм спортсмена вийшов на вищий рівень спеціальної підготовленості, що, в свою чергу, веде до росту спортивного результату. В практиці висококваліфікованих спортсменів широко використовуються тренування,

направлені на переважний розвиток окремих фізичних якостей та рухових здібностей, які визначають загальний рівень спеціальної підготовленості. І якщо, у циклічних, швидкісно-силових, дещо менше у ігрових видах спорту, проблематика використання тренувань чи часових циклів з різною направленістю та спеціалізованістю широко вивчається, то у складно-координаційних, а саме у стрілецьких видах, наукові дослідження з цього напрямку практично відсутні (Жилина М.Я., 1995).

Оскільки існують багато варіантів поєднання вправ різної направленості та спеціалізованості для досягнення певного рівня спеціальної підготовленості, окреслена проблема у стрілецьких видах спорту, і в стрільбі з лука зокрема, постає достатньо актуальною і перспективною.

З іншого боку, сучасний етап розвитку спортивної практики характеризується накопиченням великого обсягу емпіричної інформації, що утруднює її використання під час програмування тренувального процесу. Тому назріла гостра необхідність в розробці адекватної теоретичної моделі тренувальних навантажень у вигляді системи засобів, що мають визначену структуру і функції. При цьому модель повинна мати кількісний вираз, відповідати поточним задачам тренувального циклу, рівню кваліфікації спортсмена, бути ефективною для процесу управління.

Системний підхід передбачає представлення процесу підготовки спортсмена у формі універсальної багатофункціональної структури з великим числом вхідних параметрів (Іванова Л.С., 1988; Ширковец Е.А. та ін, 1999). Основними і невід'ємними компонентами управління такою системою є:

- комплекс інформації про об'єкт управління - спортсмена та умови середовища, що впливає на нього;
- інформація про початковий стан і динаміку параметрів, які визначають рівень підготовленості спортсмена;
- порівняння величин зазначених параметрів з оптимальними і формування необхідних управлінських дій для досягнення або наближення до них.

Тому будь-яку тренувальну дію доцільно розглядати з позиції системної реакції організму спортсмена на неї, виділяючи при цьому і такі параметри тренувальних програм як: величину, спрямованість, спеціалізованість, варіативність, тривалість циклів навантажень, попередній руховий досвід (Куликов Л.М. та ін., 1997; Платонов В.Н., 2004).

Важливим є те, що однією з ключових проблем управління є вибір оптимальних термінів зміни тренувальних режимів з різною спеціалізованістю. Існують наукові думки про те, що найімовірнішою реакцією на зростання спеціалізованості навантаження є перехід на новий, підвищений рівень рухових і функціональних можливостей спортсмена. Здатність організму спортсмена переключатися (біологічний тригер) на інший режим енергозабезпечення по досягненні квазістаціонарних станів є основою підвищення спортивної підготовленості. В основі біологічного тригеру лежать пускові процеси, які при достатній величині параметрів навантаження забезпечують стрибкоподібний перехід системи з одного стану в інший, функціонально більш високий. Новий якісний стан залежно від подальших режимів тренувальної діяльності може або стабілізуватися, або повертатися до початкового стану у відповідності із закономірностями розвитку рухових функцій.

Завдання цієї частини роботи полягає у вдосконаленні побудови системи підготовки лучників високої кваліфікації на основі використання симплексно-центроїдних планів та розробки відповідних математико-статистичних і графічних моделей розподілу педагогічних засобів тренування у процесі підготовки стрільців.

Первинним емпіричним матеріалом дослідження була зібрана інформація про рівень та динаміку розвитку визначених в попередніх дослідженнях значимих показників фізичних якостей лучників високої кваліфікації (Виноградський Б.А., 2005). До уваги бралися показники: максимального часу утримання точки прицілу в жовтому крузі мішені діаметром 20мм (утр. в  $\varnothing$  9), пропріорецептивної чутливості в умовах відтворення сили індивідуального лука за допомогою лука-динамометра (диференціація м'язової сили ("м'язова чутливість")); максимальної сили "провідної" руки (абсолютна макс. сила правої руки); максимального часу утримання лука в розтягнутому стані (час утримання лука).

Обробка цифрових масивів відбувалася на основі використання модуля планування і аналізу експерименту комп'ютерної програми STATISTICA 6.0 (Боровиков В., 2003). Застосовувався симплексно-центроїдний план із чотирма чинниками із заповненням додаткових внутрішніх точок. На основі стандартного побудованого плану організовано збір даних вказаних чотирьох показників динаміки спеціальної підготовленості.

Збір даних відбувався у 19 варіантах (на основі стандартного плану).

Механізм побудови системи підготовки лучників високої кваліфікації із використанням симплексно-центроїдних планів базується на новому алгоритмі вдосконалення планування з урахуванням розподілу обсягів фізичного навантаження за спеціалізованістю і направленістю та визначенні відповідних граничних умов його реалізації (рис.7.4).

Однією з умов є те, що часовими рамками запровадження алгоритму планування навантаження є спеціально-підготовчі періоди річного циклу, де паралельно вирішувалися кілька педагогічних завдань, як із розвитку значущих фізичних якостей лучників, а саме: спеціальної координації, спеціальної сили м'язів плечового поясу, силової витривалості м'язів верхніх кінцівок, так із вдосконалення технічної майстерності та росту спортивної результативності. Основним експериментальним чинником планування виступали варіанти розподілу обсягів фізичного навантаження за направленістю та спеціалізованістю при дотриманні таких умов: тривалість тренувальних занять і тренувального навантаження залишалася приблизно однаковою; загальна кількість змагальних пострілів не змінювалася; обсяг та інтенсивність навантаження на м'язи плечового поясу залишалися сталими; спеціалізованість педагогічних засобів тренування не зростала.

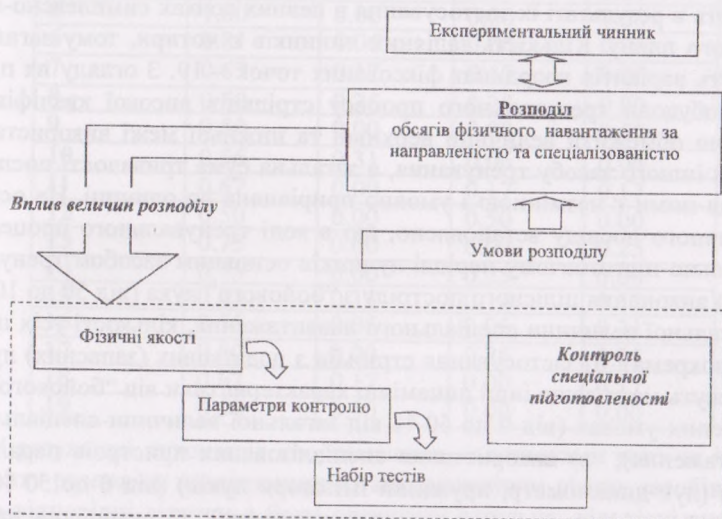


Рис. 7.4. Алгоритм вдосконалення планування тренувального процесу лучників з урахуванням розподілу обсягів фізичного навантаження за спеціалізованістю



Переважає більшість засобів тренування, які використовувалися протягом спеціально-підготовчого періоду, розподілено на чотири групи у відповідності з характером їх використання і спеціалізованістю, а саме:

А – стрільба з бойового лука;

В – стрільба з лука із зміненими динамічними параметрами (лук з різною силою);

С – використання спеціалізованих тренажерів (налокітника, нестійких платформ, лука-динамометра, пружинного імітатора);

Д – використання неспеціалізованих тренажерів.

Для контролю відгуків з боку організму спортсмена на експериментальний чинник, закладений під час планування навантажень, використовувався набір параметрів, основними умовами вибору яких було: їх відповідність фізичним якостям, що тестуються; статистична значущість при визначенні рівня розвитку спеціалізованих фізичних якостей спортсменів; доступність під час вимірювання.

Оскільки експериментальним чинником виступає план розподілу засобів тренування висококваліфікованих лучників в спеціально-підготовчому періоді річного циклу, скористаємося стандартним алгоритмом планування експерименту (Боровиков В., 2003). Враховуючи накладені умови використання засобів тренування доцільно з'ясувати зміни, що настають в результаті їх застосування в певних точках симплексно-центроїдного плану. Кількість задіяних чинників є чотири, тому загальна кількість варіантів координат фіксованих точок – 19. З огляду на практику побудови тренувального процесу стрільців високої кваліфікації доцільно обмежити величини верхньої та нижньої межі використання того чи іншого засобу тренування, а загальна сума тривалості послугування ними є незмінною і умовно прирівняна до одиниці. На основі практичного досвіду встановлено, що в ході тренувального процесу у спеціально-підготовчому періоді лучників основним засобом тренування є: а) виконання цілісного пострілу з “бойового” лука (від 50 до 100 % від загальної величини спеціального навантаження, кількості усіх пострілів, зокрема); б) застосування стрільби з додаткових (запасних) луків, які можуть мати дещо інші динамічні характеристики від “бойового” та в змінених умовах (від 0 до 50 % від загальної величини спеціального навантаження); в) використання спеціалізованих пристроїв паралельної дії (лук-динамометр, пружинні імітатори луків) (від 0 до 50 % від загальної величини спеціального навантаження); г) виконання навантажень зі неспеціалізованими тренажерами та без тренажерів, але для

вирішення спеціалізованих рухових завдань стрільців (від 0 до 50 %, відповідно). Загальна сума використання засобів зазначених у пунктах б, в і г не повинна перевищувати 50% від обсягу всієї тренувальної роботи. У такому випадку зберігаються всі умови розподілу обсягів фізичного навантаження, які зазначені вище. Абсолютне значення спеціальних навантажень є варіативним, але коливаються у межах 100 – 140 «умовних» постріли за тренування. В результаті сформовано 19 варіантів розподілу навантаження з використанням різних засобів у спеціально-підготовчому періоді у вигляді стандартних варіантів (табл. 7.3).

Таблиця 7.3

Варіанти розподілу спеціалізованих навантажень стрільців високої кваліфікації у спеціально-підготовчому періоді з використанням різних засобів

Варіанти побудови	Частка розподілу засобів тренування			
	А	В	С	Д
1	0.75	0.25	0.00	0.00
2	0.56	0.06	0.31	0.06
3	0.50	0.25	0.00	0.25
4	0.50	0.17	0.17	0.17
5	1.00	0.00	0.00	0.00
6	0.81	0.06	0.06	0.06
7	0.67	0.17	0.17	0.00
8	0.50	0.25	0.25	0.00
9	0.50	0.00	0.00	0.50
10	0.56	0.31	0.06	0.06
11	0.67	0.00	0.17	0.17
12	0.50	0.00	0.50	0.00
13	0.75	0.00	0.00	0.25
14	0.75	0.00	0.25	0.00
15	0.63	0.13	0.13	0.13
16	0.56	0.06	0.06	0.31
17	0.50	0.00	0.25	0.25
18	0.67	0.17	0.00	0.17
19	0.50	0.50	0.00	0.00

У результаті виконання спортсменами – лучниками того чи іншого варіанту розподілу навантаження з використанням різних засобів отримано відповідні відгуки з боку організму стрільця, кількісні значення зрушень котрих зафіксовано за допомогою 4-х тестів, визначених в умовах проведення педагогічного експерименту (табл. 7.4).

Таблиця 7.4

Зміни величин спеціальної підготовленості у залежності від варіантів розподілу спеціалізованих навантажень у висококваліфікованих лучників

Варіанти побудови	Утримання в $\varnothing$ 9, с	Диф. м'язової сили, раз	Максимальна сила, кгс	Час утримання, с
1	0.50	2.0	-4.5	-4.5
2	6.50	-1.0	5.5	2.5
3	-2.00	1.0	0.1	-0.5
4	1.50	-1.0	2.0	2.5
5	2.00	1.0	-6.0	-4.0
6	3.50	1.0	-2.5	-3.5
7	3.00	1.0	1.5	-1.0
8	5.00	-0.1	3.5	0.5
9	-1.00	-2.0	-1.0	5.5
10	0.50	1.0	1.0	-1.5
11	3.00	-1.0	1.0	1.5
12	7.00	-1.0	3.5	3.0
13	1.50	0.1	-2.5	2.0
14	6.00	0.1	0.5	2.5
15	0.50	0.1	2.5	1.0
16	-0.50	-1.0	1.5	3.5
17	2.50	-2.0	4.5	8.0
18	1.00	1.0	0.5	-7.0
19	-4.00	2.0	0.5	-8.0

Враховуючи зафіксовані показники з табл. 7.4 проаналізовано можливість створення відповідних моделей, що враховують кількісні показники впливів засобів тренування на зміни рівнів спеціальної підготовленості. Аналізувалися лінійні, квадратичні та кубічні моделі. Дослідження проводилися з використанням дисперсійного аналізу для цих моделей. Визначалися значимі моделі.

Під час вибору відповідних регресійних моделей, які пояснюють вплив різних варіантів планів спортивних тренувань на тривалість утримання точки прицілу в обмеженому колі мішені, виявилось, що значимі статистичні ефекти спостерігаються в лінійній моделі, оскільки р-значення суттєво менше за 0,05, а якість моделі знаходиться на високому рівні – коефіцієнт детермінації дорівнює 0,87.

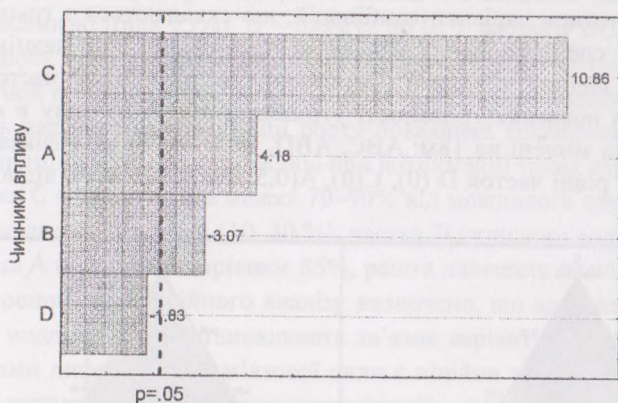


Рис.7.5. Діаграма Парето вагомості впливів різних варіантів розподілу спеціалізованих навантажень на показники тривалості утримання точки прицілу в межах габариту “дев’ять”

Під час розрахунку псевдокомпонент лінійної моделі змін часу утримання точки прицілу в межах габариту “дев’ять” (“жовтому” колі) мішені отримано результати, які свідчать про те, що 3-и з 4-х членів моделі мають значимі ефекти ( $p < 0,05$ ). Частки А і С позитивно впливають на зростання залежного значення моделі, В – негативно, а D, в цьому випадку, є незначущою. Проілюструємо сказане діаграмою Парето (рис.7.5).

Діаграма Парето є ефективним інструментом визначення того, які ефекти найбільше справляють вплив на залежну змінну. Ця діаграма показує стандартизовані коефіцієнти, відсортовані за абсолютною величиною. Очевидно, що лінійні ефекти чинників є найважливішими для визначення остаточного складу зазначених засобів спортивної підготовки стрільців.

Зважаючи на те, що в практичній діяльності протягом тренувальних занять використовуються значна кількість різноманітних засобів та методів впливу на організм спортсмена важливо прослідкувати їх взаємодію на той, чи інший показник спеціальної підготовленості. Адекватним засобом візуалізації зазначених впливів та умов є тернарні графіки, які доцільно використовувати під час дослідження зв’язків між кількома змінними, коли сума значень незалежних змінних є незмінною для всіх спостережень. Оскільки, в нашому конкретному дослідженні фігурують

4-и предиктори, то під час використання трьохосьових графічних моделей можливі чотири варіанти комбінацій, що складаються з трьох часток розподілу спеціалізованих навантажень стрільців, при незмінності мінімального впливу четвертої. Отримано такі комбінації часток під час впливу на показник тривалості утримання точки прицілу в межах “жовтого” кола мішені на 18м: ABC, ABD, BCD, ACD, при фіксації на мінімальному рівні часток D (0), C(0), A(0,5 або 50%), B(0), відповідно (рис.7.6).

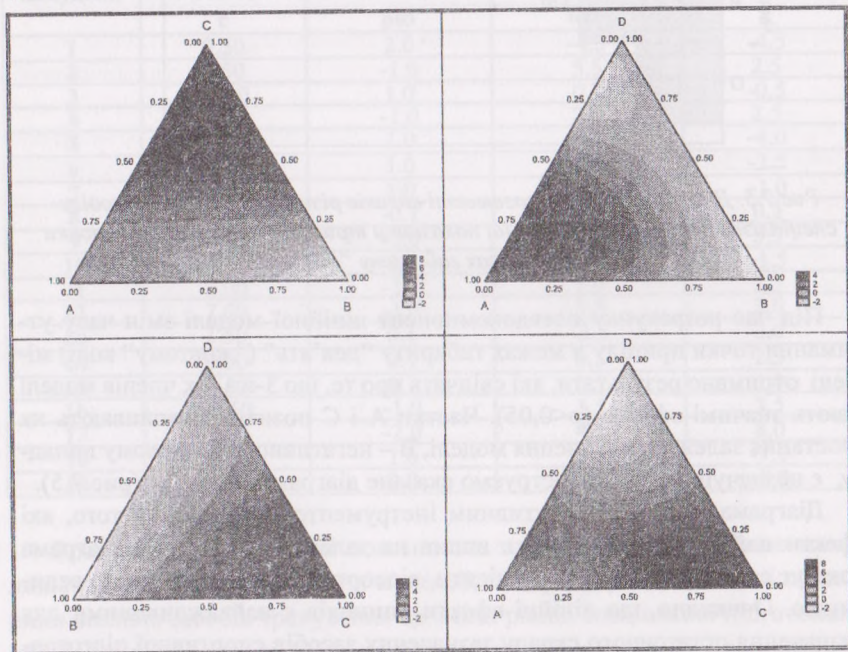


Рис.7.6. Зонні карти впливів різних варіантів розподілу спеціалізованих навантажень на показники тривалості утримання точки прицілу в “9”

З рис. 7.6 видно, що у варіанті ABC, ріст показника тривалості утримання точки прицілу в “9” максимально спостерігається у темній зоні, яка характеризується великими значеннями частки C (75–80% від максимального), практично мінімальними значеннями частки B (наближається до 0) та невеликим значенням частки A (20–25%). У варіанті ABD

спостерігаємо зворотну тенденцію: частка А є великою (близько 80%), D – невеликою (біля 15%), В – прямує до 0. У варіанті BCD ситуація є простішою, оскільки формування функції росту відбувається практично за рахунок компоненти С. Найскладнішим варіантом видається ACD, де існують два центри локалізації росту показника тривалості утримання точки прицілу в “9”. Вони можливі при дотриманні таких варіантів умов: а) частка С знаходиться в межах 70–90% від можливого свого значення, решта належить частці А (10–30 %), частка D суттєвого значення немає; б) частка А приблизно дорівнює 85%, решта належить частці D (15%).

На основі дисперсійного аналізу визначено, що адекватними значущими моделями, які встановлюють зв'язок варіантів планування з показниками диференціації м'язової сили є лінійна та квадратна ( $p < 0,05$  в обох випадках, а коефіцієнт детермінації – 0,98 та 0,97, відповідно). Згідно даних ефектів Парето найсуттєвіший вплив мають величини значень В і D (модуль приблизно дорівнює 8), але дія їх є протилежною (рис.7.7). Протилежними за напрямками впливів, але приблизно однако-вими за значеннями модулів є частки А і С (4,3 та – 4,0 – відповідно). На відміну від попередньої діаграми Парето (рис.7.5) виявлено значимість впливів одночасного застосування часток у варіантах CD (–3,2), BD (2,6), BC (–2,6). Отримані показники одночасного застосування різних педагогічних впливів є основою розробки методичних рекомендацій для вдосконалення планування процесу підготовки висококваліфікованих стрільців з лука.

Аналізуючи зображення на рис.7.8 зазначимо дещо простішу локалізацію змін показників диференціації м'язової сили у порівнянні з попереднім аналогічним рис. 7.6. Найпростішими для інтерпретації є нижні карти зон з варіантами BCD і ACD. Використання високих величин С і D призводитиме до падіння показника диференціації м'язової сили, що в свою чергу, характеризує спеціальні координаційні якості лучників. Основним засобом цілеспрямованого впливу виступають частки А і В у варіантах BCD і ACD (відповідно).

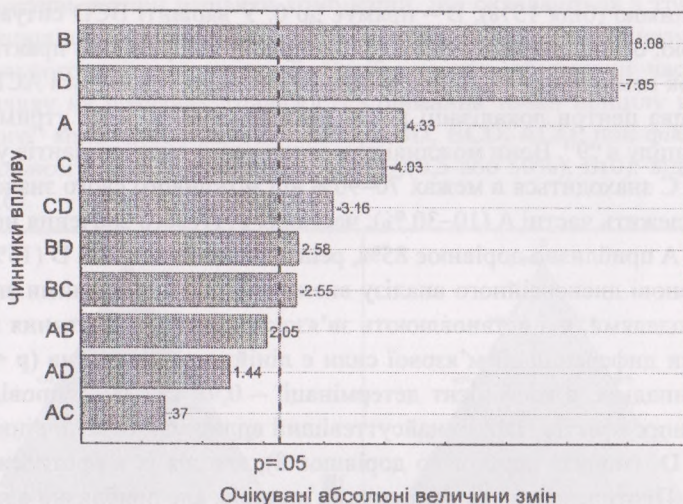


Рис. 7.7. Діаграма Парето вагомості впливів різних варіантів розподілу спеціалізованих навантажень на показники диференціації м'язової сили

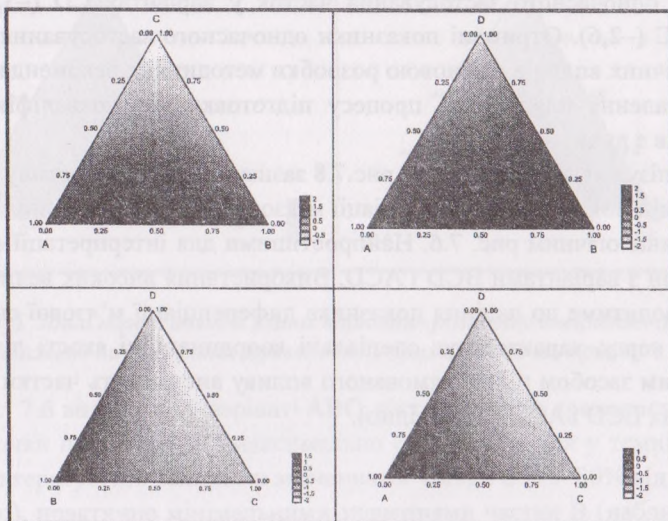


Рис. 7.8. Зонні карти впливів різних варіантів розподілу спеціалізованих навантажень на показники диференціації м'язової сили стрільців

У варіантах АВС і АВД формування росту показників диференціації м'язової сили відбувається в умовах взаємодії часток А і В. Високі значення показників С і D негативно відображаються на рості рівня спеціальної координації. Простежується локалізація зон максимальної ефективності запропонованих варіантів засобів тренування. У варіанті АВС така зона розташована близько середини основи трикутника, що відповідає величині 60–70% компоненти А та 30–40 компоненти В. У варіанті АВД існує зміщення ефективної зони у бік компоненти В, а межі значень А і В є широкі, від 0 до 70% у А та від 30 до 100% у В.

Дисперсійний аналіз вказує на доцільність використання лінійних моделей відображення залежностей змін максимальної сили м'язів рук від величин складових плану підготовки стрільців високої кваліфікації. Регресійні моделі вищих порядків не є значущими, оскільки розрахунковий показник  $r$  значно більший за 0,05.

Аналіз псевдокомпонент зазначеної регресійної моделі говорить про те, що частки А (-4,89) і С (6,12) мають значимі ефекти ( $p < 0,05$ ), хоча різні напрями впливів, а частки В і D є незначущими. Сказане підтверджується діаграмою Парето (рис.7.9).

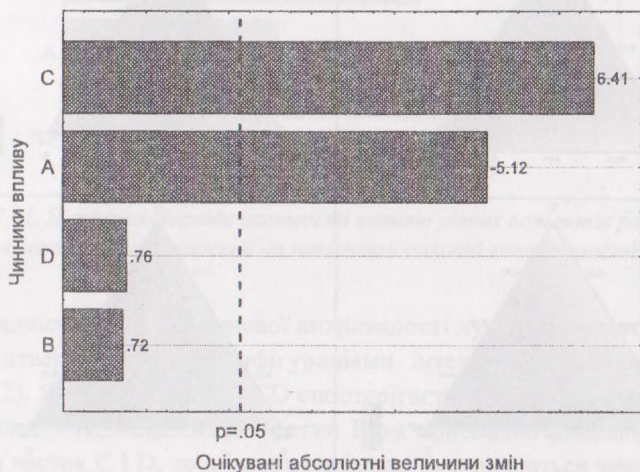


Рис. 7.9. Діаграма Парето вагомості впливів різних варіантів розподілу спеціалізованих навантажень на показники максимальної сили м'язів руки



Зонні карти впливів різних варіантів розподілу спеціалізованих навантажень на показники максимальної сили м'язів руки лучників яскраво підтверджують значний вплив чинника С. На тих картах, де фігурує чинник С темна зона росту показників максимальної сили м'язів зміщена в бік високих значень осі С (рис. 7.10). Найбільш характерно це проявляється у комбінаціях АВС та АСD. У варіанті ВСD зона максимального росту є більш розмитою, а при комбінації ABD вона зміщена до центру трикутника, що свідчить про доцільність використання всіх чинників впливу даного варіанту під час вирішення педагогічного завдання підвищення максимальної сили м'язів верхніх кінцівок. Цілком протилежний висновок впливає під час аналізу доцільності застосування чинника А, що відповідає педагогічному засобові – стрільбі з “бойового” лука. Використання великого за обсягами стрілецького навантаження з використанням “бойового” лука не сприяє проявам максимальної сили, а якщо враховувати зменшення відповідних часток інших засобів спеціалізованої спортивної підготовки, то отримуємо навіть падіння вказаного силового показника про що вказують світлі зони на рис. 7.10.

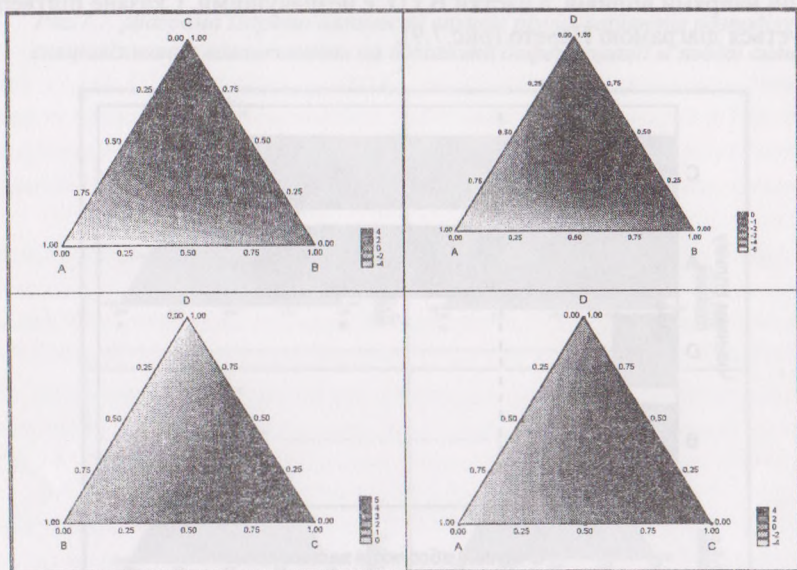


Рис. 7.10. Зонні карти впливів різних варіантів розподілу спеціалізованих навантажень на показники максимальної сили м'язів руки лучників

Під час формування спеціальної силової витривалості лучників характерним є те, що всі чинники, які аналізуються, мають значущий вплив на цей процес. Згідно з коефіцієнтами діаграми Парето зростання часток В і А негативно впливатиме на зміну показника силової витривалості (-5,22 і -3,22, відповідно), а часток D і C – навпаки, позитивно (4,47; 4,37, відповідно) (рис.7.11). Отже маємо найскладніший варіант педагогічних альтернатив при якому гостро постає питання комплексності та індивідуалізації тренувального процесу стрільців з визначенням пріоритетів на конкретному періоді річного циклу, стану спеціальної підготовленості спортсмена, тактичних та стратегічних завдань.

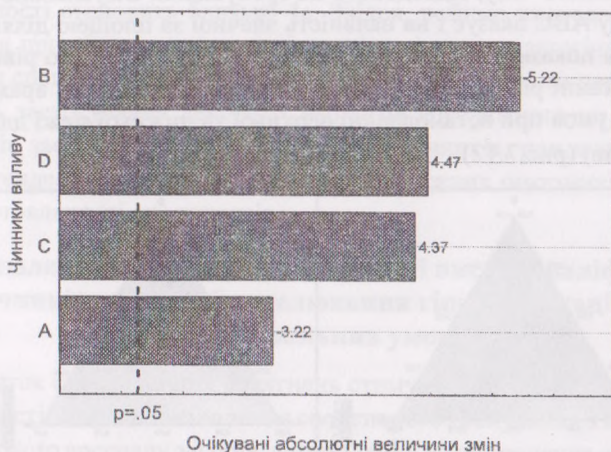


Рис. 7.11. Діаграма Парето вагомості впливів різних варіантів розподілу спеціалізованих навантажень на показники силової витривалості лучників

Складність розвитку силової витривалості лучників високої кваліфікації підтверджується і конфігураціями інтенсивних кольорових зон (рис.7.12). Якщо у варіанті BCD спостерігається ріст показника силової витривалості із зменшенням частки В та приблизно рівномірним розподілом часток С і D, то в інших варіантах зустрічаються значно складніша локалізація зон зміни визначеного параметру. Взаєморозташування інтенсивності кольорів на тернарному графіці ABC вказує на дві облас-

ті значень чинників, в яких приріст показника силової витривалості є максимальним. Перша область значень складових компонентів, при яких С наближається до 100 відносних відсотків, а В в межах від 0 до 20%. Друга область характеризується мінімальними значеннями В, а С і D розподіляються приблизно порівно. Слід не забувати і накладені початкові умови нижнього та верхнього значень чинників. Оскільки значення компоненти А знаходиться в межах від 0,5 до 1 (від 50 до 100%), а С від 0 до 0,5 (від 0 до 50%), то легко визначити, що у варіанті АВС друга область досягається використанням стрільби з “бойового” лука обсягом приблизно 75% та роботи на спеціалізованих тренажерах приблизно – 25% загального часу, відведеного на тренування. Візуалізація тетроїдного графіку АВС вказує і на наявність значної за площею ділянки, де є покращення показників силової витривалості при відносно рівномірному використанні різних засобів тренування (з відповідним врахуванням початкових умов при встановленні верхньої та нижньої межі для кожного з чинників) (рис.7.12).

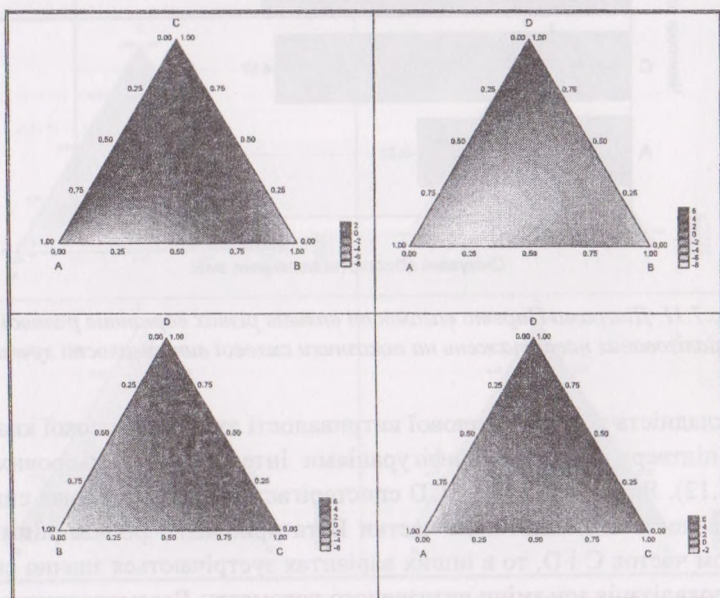


Рис. 7.12. Зонні карти впливів різних варіантів розподілу спеціалізованих навантажень на показники силової витривалості лучників

Зонний малюнок тернарного графіку ABD має яскраво виражену білу пляму, що характеризує зниження рівня показника спеціальної силової витривалості при умові високих значення компоненти A (близько 0,75-0,80), низьких значень компоненти B (близько 0,2), та практично відсутністю компоненти D (рис.7.12). Загалом, високі значення компоненти D відіграють однозначно позитивну роль в процесі вдосконалення силової витривалості стрільців. Проте спостерігаються варіанти застосування педагогічних засобів впливу при котрих можливі позитивні відгуки і при невисоких показниках D. Прикладом служить тетроїдний графік ACD (рис.7.12). Існує область, що характеризується координатами A – 0,65–0,85, C – 2,2–0,5, D – 0–0,1, де абсолютний приріст показника силової витривалості становить близько 4с. Звідси, робимо висновок про можливість, а при комплексному вирішенні декількох педагогічних завдань протягом спеціального підготовчого чи передзмагального періодів, і доцільність застосування декількох варіантів абсолютного чи відносного розподілів засобів спортивної підготовки лучників, при яких спостерігається тенденція зростання визначених залежних показників спеціальної підготовленості спортсменів.

### **Вдосконалення технічної майстерності висококваліфікованих лучників на основі моделювання гіпергравітаційних тренувальних умов**

Розвиток спорту вищих досягнень стимулює до пошуку інтенсивних шляхів постійного вдосконалення спортивного тренування з використанням широкого арсеналу засобів, направлених на підвищення якості підготовки спортсменів (Кашуба, Лапутин, 2003; Лапутин, 1996, 1999). Застосування методик з використанням гіпергравітаційних тренувань в різних видах спорту дає значущий позитивний ефект. Оскільки стрільба з лука належить до складнокоординаційних видів спорту і, крім того, вимагає від лучника високого рівня розвитку абсолютної сили м'язів плечового поясу та їх силової витривалості, постає дидактичне завдання паралельного вдосконалення зазначених характеристик. Основним педагогічним завданням є застосування такої інтенсивної, за своєю суттю, методики тренування, яка б не порушила міжкоординаційні зв'язки, вдосконалила динамічну та кінематичну структуру необхідних рухових дій, підвищивши надійність їх виконання.

Останніми роками в спортивній практиці отримала певне розповсюдження біомеханічна стимуляція у формі гравітаційного тренування. На сьогодні проблеми використання засобів та методів гравітаційного тренування в тренувальному процесі розглядалися в легкій атлетичі, кульовій стрільбі, волейболі та інших видах спорту, а автори наукових публікацій відзначають, що умови гіпергравітаційних впливів є ефективним стимулом підвищення функціональних можливостей спортсменів (Брижаний, 1999; Лайуни Шедли, 2001; Лапутин, Бобровник, 1999).

Вище наведене спонукало до створення ефективної методики використання гіпергравітаційних впливів з метою підвищення рівня функціональних можливостей і спортивної результативності кваліфікованих лучників на основі використання спеціальних костюмів з обтяженням.

В основі запропонованої методики лежить застосування пристрою, конструкція якого виконана у вигляді спеціального комбінезона (Лапутин, 1996). Використання комбінезону дозволяє моделювати умови підвищеної гравітації. Пристрій має систему вантажів, які розташовані так, щоб спортсмен зберігав природну геометрію мас тіла при тій зміні модуля гравітаційних взаємодій, які необхідні йому для реалізації регламентованої тренувальної програми підвищення силових можливостей м'язів. Використання такого пристрою дозволяє повніше відтворити в дидактичному процесі ті умови гравітаційних взаємодій, які повинні бути реалізовані спортсменами в ході вдосконалення визначеної кінематичної і динамічної структури рухів у стрільбі з лука, необхідної для досягнення високої цільової точності.

Ефективність методики використання засобів гравітаційного тренування перевірялося за допомогою проведеного педагогічного експерименту, який застосовували у тренувальному процесі. Дослідження проводились у спеціально-підготовчому періоді річного циклу лучників високої кваліфікації. До експериментальної групи належали 8 спортсменів – лучників високої кваліфікації, віком від 17 до 22 років (всі МС). Цій групі стрільців було запропоновано тренування із застосуванням гіпергравітаційного костюму протягом спеціального мезоциклу, що складався з п'яти мікроциклів. При цьому мікроцикл включав 6 занять.

Перший мікроцикл експериментального мезоциклу – втягуючий. Він характеризується невеликим та середнім навантаженням і спрямований

на підготовку організму до спеціалізованих гіпергравітаційних навантажень. Протягом першому мікроциклу заняття проводились з середнім навантаженням. Спортсмени виконували на тренуванні 120-150 пострілів, з них 50 із застосуванням гравітаційного костюму, що складало від 20% до 40% від загальної кількості пострілів за тренування (рис.7.13).

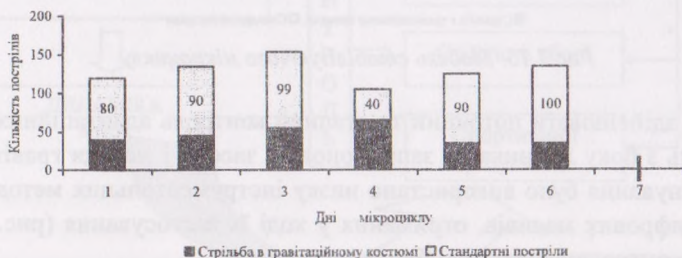


Рис.7.13. Модель втягуючого мікроциклу

Другий – четвертий мікроцикли – ударні. Вони включали по три тренувальні заняття з великими навантаженнями. Загальна кількість пострілів за тренування 110-140, з них 60-80 – з використанням гравітаційного костюму. На трьох заняттях, що виконувались з великим навантаженням, кількість пострілів з обтяженням складала 50-60% від загальної кількості (рис.7.14)

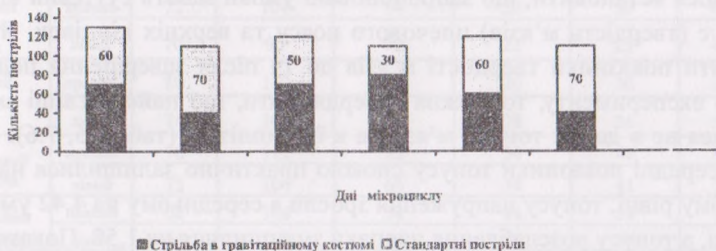


Рис.7.14. Модель ударних мікроциклів

Останній (п'ятий) мікроцикл – стабілізуючий. Він характеризується поступовим зменшенням обсягів гіпергравітаційних навантажень і збільшенням відсотку стандартних пострілів (рис.7.15).

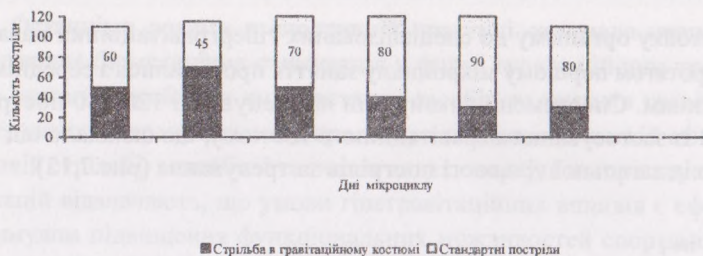


Рис. 7.15. Модель стабілізуючого мікроциклу

Щоб здійснювати поточний та етапний контроль адаптаційних пристосувань з боку лучника на запропоновані засоби і методи гравітаційного тренування було використано низку інструментальних методик та аналіз цифрових масивів, отриманих у ході їх застосування (рис.7.16). Загалом контролювалися такі блоки показників:

- міотонметричні показники динаміки стану м'язової системи, зокрема твердості основних м'язів, які беруть участь у виконанні змагальної вправи лучників (Горобець, 1977);
- показники стійкості зброї під час прицілювання та здійснення власне пострілу з лука із застосуванням оптико-електронного комплексу „Scatt” (Виноградський, 2005);
- динаміка спортивної результативності лучників.

В результаті запропонованої методики гіпегравітаційного тренування вдалося встановити, що запропоновані умови мають суттєвий вплив на тонус (твердість м'язів) плечового поясу та верхніх кінцівок. Якщо порівняти показники твердості м'язів до та після завершення педагогічного експерименту, то можна стверджувати, що найсуттєвіші зміни відбулися не в даних тонусу м'язів, а в їх амплітуді (табл.7.5, 7.6). При цьому середні показники тонусу спокою практично залишилися на початковому рівні, тонусу напруження зросли в середньому на 4,42 умовні одиниці, а тонусу розслаблення навпаки зменшилися на 1,58. Показники амплітуди ж мають однозначний напрямок змін. Вони збільшилися під час порівняння: амплітуди напруження на 5,41; амплітуди розслаблення на 6,58; амплітуди тонусу на 12,08 умовних одиниць (табл.7.5, 7.6).

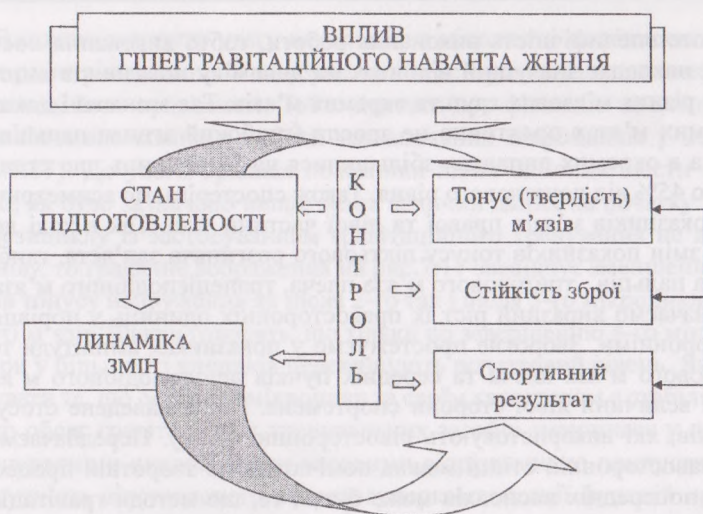


Рис. 7.16. Схема контроль ефективності гіпергравітаційного тренування

Таблиця 7.5

Показники тону м'язів до застосування методики  
гіпергравітаційних впливів

М'ЯЗИ		ТОНУС			АМПЛІТУДА		
		спокою	напруження	розслаблення	напруження	розслаблення	тону
Ліктьовий розгинач зап'ястя	правий	72	104	74	32	30	62
	лівий	70	92	70	22	22	44
Глибокий згинач пальців	правий	80	110	80	30	30	60
	лівий	74	102	76	28	26	54
Триголовий м'яз плеча	правий	78	112	72	34	40	74
	лівий	72	106	65	34	41	75
Двоголовий м'яз плеча	правий	62	108	54	44	54	98
	лівий	56	108	58	52	50	102
Дельто-подібний м'яз	правий	55	92	55	37	37	74
	лівий	55	106	56	41	40	81
Тrapeціє-подібний м'яз	правий	60	92	58	32	34	65
	лівий	54	92	54	38	38	76



Проте специфічність виконання роботи, тобто виконання пострілів з лука, накладає значущий відбиток на динаміку показників амплітуди тонусу різних м'язових груп та окремих м'язів. Так зазначені показники в окремих м'язах практично не зросли (глибокий згинач пальців лівої руки), а в окремих випадках збільшилися на 37 одиниць, що становить близько 45% від початкового рівня. Також спостерігаємо асиметричність змін показників м'язів правої та лівої частини тіла. Так в ході дослідження змін показників тонусу ліктьового розгинача зап'ястя, глибокого згинача пальців, триголового м'яза плеча, трапецієподібного м'яза спини зазначаємо виразний ріст їх правосторонніх одиниць у порівнянні з лівосторонніми. Зворотнє простежуємо у показниках амплітуди тонусу двоголового м'яза плеча та середніх пучків дельтоподібного м'яза, де зросли величини лівої сторони спортсмена. Вище наведене стосується лучників, які використовують лівосторонню стійку. Передбачаємо, що при правосторонній стійці можна помічатимемо зворотний процес. Одним із попередніх висновків може бути і те, що методи гравітаційного тренування, що застосовуються під час відносно статичної основної роботи більше стимулюють адаптаційні процеси у тих м'язах, які відповідають за утримання специфічної змагальної пози, а також у тих, на яких лягає основна робота з виконання змагальної вправи (табл.7.5, 7.6).

Таблиця 7.6

Показники тонусу м'язів після застосування методики гіпергравітаційних впливів

М'ЯЗИ		ТОНУС			АМПЛІТУДА		
		спокою	напруження	розслаблення	напруження	розслаблення	тонусу
Ліктьовий розгинач зап'ястя	правий	71	107	72	36	35	71
	лівий	72	95	70	23	22	45
Глибокий згинач пальців	правий	76	112	75	36	37	73
	лівий	75	102	75	27	27	54
Триголовий м'яз плеча	правий	76	120	74	44	46	90
	лівий	73	110	66	37	44	81
Двоголовий м'яз плеча	правий	64	109	54	45	55	100
	лівий	58	112	55	54	57	111
Дельтоподібний м'яз	правий	56	105	54	49	51	100
	лівий	54	112	52	58	60	118
Трапецієподібний м'яз	правий	58	98	54	40	44	84
	лівий	55	95	52	40	43	83

Важливо звернути увагу не тільки на абсолютні чи відносні величини параметрів до та після використання експериментального мезоциклу, але в ході його протікання. Тобто йдеться про фіксацію та аналіз даних по закінченню кожного з п'яти запланованих мікроциклів у мезоциклі (рис.7.17). До уваги бралися показники лівих одиниць шести м'язів. І якщо, як було зазначено вище, зміна величин даних на початку та в кінці мезоциклу із застосуванням гравітаційного тренування не викликає сумніву, то графічне зображення на рис.7.17 засвідчує зменшення показників тонузу напруження як після 2-го так і після 3-го мікроциклу у більшості м'язів. Факти говорять, що тільки по завершенню 4-го мікроциклу цифри у більшості випадків перевищують початковий рівень. Якщо врахувати те, що останній мікроцикл за своїм характером є стабілізуючий, тобто обсяг гравітаційних тренувальних засобів зменшився у порівнянні з попередніми аналогічними часовими відрізками, то припускаємо про присутність відставленого ефекту суперкомпенсації функцій організму спортсмена.

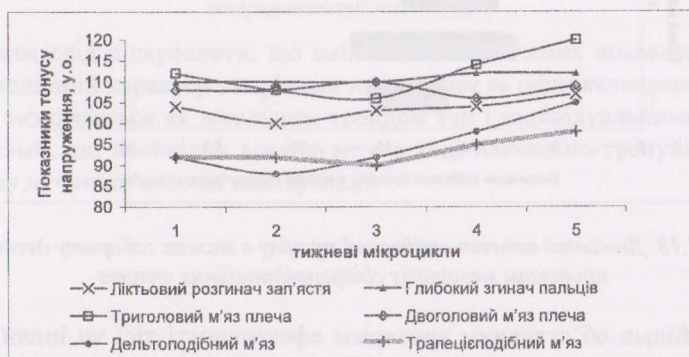
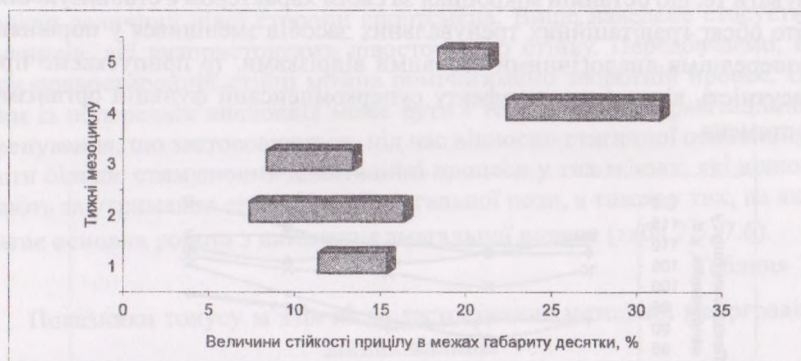


Рис. 7.17. Динаміка тонузу напруження м'язів протягом мезоциклу гіпергравітаційних впливів

Доволі подібну картину спостерігаємо і під час моніторингу змін величин стійкості прицілу в межах габариту десятки. В даному випадку бралися до уваги не тільки середні значення цього показника, але й розмах його у вибірці спортсменів, які брали участь у педагогічному експерименті (рис.7.18). Оскільки величина стійкості визначається відносним показником часу знаходження прицілу в межах габариту десятки за

певний час до виконання власне пострілу і тісно корелює зі спортивним результатом (Виноградський, 2005), то величина розмаху свідчить і про можливий розкид абсолютного результату лучників. До початку педагогічного експерименту у зв'язку з однорідністю вибірка спортсменів за спортивним результатом розмах був невеликим, по закінченню першого тижня дії експериментального чинника середні значення впали, а варіативність результатів зросла. У третьому мікроциклі середні значення продовжували зменшуватися, хоча розкид також став меншим. Далі спостерігалось стрімке збільшення як середніх величин так і їх варіативності, а наприкінці мезоциклу типові величини стійкості набули більш концентрованого вигляду та були дещо меншими за відповідні дані попереднього вимірювання, але суттєво вищими за початкові.



*Рис. 7.18. Динаміка величин стійкості прицілу в межах габариту десятки протягом мезоциклу гіпергравітаційних впливів*

Найбільш об'єктивним критерієм ефективності тієї чи іншої педагогічної методики є аналіз змін спортивного результату. Проаналізувавши їх зазначимо, що додаткові навантаження пов'язані із використанням гравітаційного костюму знижують рівень та збільшують варіативність спортивних результатів. Контрольні стрільби, що проводилися протягом мезоциклу опосередковано, але достатньо тісно пов'язані зі зміною даних тону м'язів і стійкості прицілу в межах десятки. Вони мають відставлений характер, що свідчить про наступний алгоритм адаптаційних змін. Умови гіпергравітації спочатку впливають на величини, що харак-

теризують стан м'язової системи. Зміни у стані м'язової системи впливають на стійкість змагальної пози стрільця, що в свою чергу дає позитивний ефект у вигляді підвищення спортивного результату (рис.7.19).

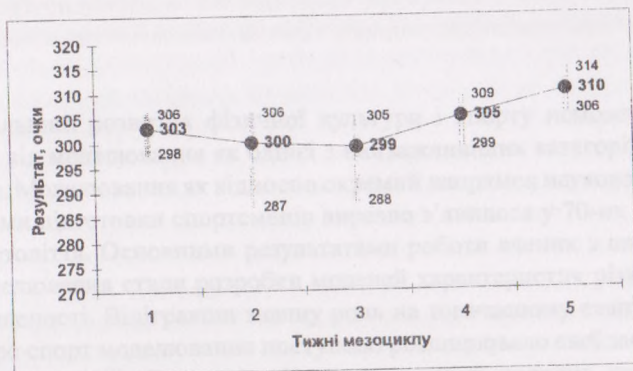


Рис. 7.19. Динаміка спортивного результату протягом мезоциклу гіпергравітаційних впливів

Також слід підкреслити, що зміна вище зазначених показників має хвилеподібний характер з періодом не меншим за один календарний місяць і визначається як загальним трендом так і індивідуальними особливостями, що необхідно враховувати в ході навчально-тренувального процесу лучників високої кваліфікації.

## ВИСНОВКИ

Подальший розвиток фізичної культури і спорту неможливо відокремити від моделювання як однієї з найважливіших категорій процесу пізнання. Моделювання як відносно окремий напрямок наукового пізнання системи підготовки спортсменів виразно з'явилося у 70-их роках минулого століття. Основними результатами роботи вчених з використанням моделювання стали розробки моделей характеристик різних сторін підготовленості. Відігравши значну роль на тогочасному етапі розвитку науки про спорт моделювання поступово розширювало свої засоби, форми та можливості. Сьогоднішній стан наукових пошуків неможливий без широкого використання моделей як дієвого інструменту управління в системі підготовки висококваліфікованих спортсменів. З іншого боку складність процесу підготовки спортсменів потребує використання системного підходу.

В роботі використано новий підхід до дослідження у тих видах спорту, де спортивний результат в значній мірі формується на основі механізмів взаємодії спортсмена з спеціальним спортивним інвентарем. До таких видів спорту відносяться стрілецькі види спорту, тому числі і стрільба з лука. Враховуючи зазначений системоутворюючий факт формування спортивного результату в стрільбі з лука, відносно автономні об'єкти "стрілець – зброя – мішень" доцільно розглядати як єдиний механізм досягнення визначеної рухової мети. За своїм характером утворення стрілець – зброя – мішень" є біомеханічною системою, адекватними інструментами вивчення якого на сучасному етапі є моделювання та інструментальний контроль з використанням технологій структурного аналізу.

Загальний підхід дослідження системи "стрілець-зброя-мішень" полягає у представленні її у формі комплексу моделей, який складається з системної моделі, яка в подальшому деталізується, набуваючи ієрархічної структури з певною кількістю рівнів. Для такого підходу, закладеного в монографії є характерним: 1) розбиття системи "стрілець-зброя-мішень"

на рівні з обмеженим визначеним числом елементів на кожному рівні; 2) включення до моделі тільки суттєвих параметрів спортивної діяльності; 3) використання строгих формальних правил запису; 4) послідовність формування спортивного результату.

Постановка та розв'язання ключової проблеми вдосконалення дидактичного процесу і управління складними біомеханічними системами у спорті вказують на те, що на всіх стадіях дослідження, особливо ж на стадії конвергенції – згортанні даної проблемної ситуації до конкретних педагогічних рішень основним чинником успішного розв'язання є науково обгрунтована формалізація завдань. Вона успішно здійснюється на основі моделювання, котре є невід'ємною концептуальною частиною системного дослідження і може бути успішно реалізоване у рамках педагогічної кібернетики.

В ході досліджень виявлено ряд основних тенденцій, що спонукали до використання моделювання як адекватного інструменту дослідження складних біомеханічних систем у спорті, можна віднести: 1) широке впровадження нових засобів підготовки: використання приладів, обладнання та методичних прийомів, застосування тренажерів, що забезпечують удосконалення технічних елементів, рухових якостей; 2) формалізація дидактичних особливостей системи підготовки спортсмена як об'єкта педагогічного керування; 3) удосконалення системи управління тренувальним процесом на основі об'єктивного визначення структури змагальної діяльності та підготовленості з урахуванням як загальних закономірностей становлення спортивної майстерності в конкретному виді спорту, так й індивідуальних спроможностей спортсменів; 4) суворе співвідношення системи тренування спортсменів високого класу і специфічних вимог обраного виду спорту, що виявляється в різкому зростанні обсягу спеціальної підготовки у загальному обсязі тренувальної роботи; 5) орієнтація системи спортивного тренування на досягнення оптимальної структури змагальної діяльності; 6) динамічність системи підготовки, її оперативна корекція на основі постійного вивчення та урахування як загальних тенденцій розвитку олімпійського спорту, так й особливостей розвитку конкретних видів спорту - зміни правил змагань та умов їх проведення, розширення календаря і зміни значущості вдалих виступів у різних змагань.

Розробка моделей різної природи в спорті є квінтесенцією кібернетичного підходу до розв'язання завдань оптимізації системи підготовки

спортсменів. Створення адекватних моделей складних біомеханічних об'єктів спорту дозволяє виявити альтернативні шляхи розв'язання завдань і оцінити досягнуті результати.

Результати дослідження найбільш продуктивні в удосконаленні інтегральної підготовки спортсменів високої кваліфікації. Такий підхід дозволяє тісніше об'єднати в дидактичному процесі інші види підготовки, хоча біомеханічні складові спортивної техніки відіграють провідну роль у системі управління процесом спортивної підготовки. Рівень розвитку інших складових спеціальної підготовленості спортсменів ефективно стимулюється і жорстко лімітується виявом певних біомеханічних характеристик змагальної вправи.

В ході дослідження запропоновано системну „пірамідоподібну” модель формування спортивного результату лучників високої кваліфікації. Дана модель має блочну структуру і характеризується показниками надійності та ступенем розвитку.

Розроблено логічну структурну модель процесу управління у стрілецькому спорті, котра включає багаторівневу блочну структуру. Логічними блоками є: 1) модель спортивної результативності; 2) біокінематична модель виконання пострілу; 3) модель спеціальної фізичної підготовленості; 4) модель зброї; 5) модель тренувальних навантажень.

На основі виявленої структури створено спеціалізовану комп'ютерну програму для аналізу стану параметрів системи підготовки лучників високої кваліфікації. Блочну структуру системної моделі підготовки стрільців відображено у вигляді реляційних таблиць бази даних. Дослідження показали, що існують складні взаємовідношення між якісними і кількісними параметрами всередині окремих блоків та між блоками у логічній схемі системної моделі спортивної підготовки лучників високої кваліфікації. Вони полягають у нелінійності залежностей, детермінаційно-стохастичному впливові одних характеристик на інші, наявності нечітких граничних моментів.

Теоретичний пошук вагомо доводить можливість розглядати підсистему «зброя–мішень» як термодинамічну систему. При використанні такого підходу зовнішні дії на систему, а саме дії сили тяжіння, вітру, опору повітря, а також результат взаємодії людини з підсистемою доцільно моделювати у вигляді імпульсної функції.

Для визначення підготовленості лучників доцільно застосовувати кількісне значення оцінки варіантів розташування влучень у мішень. Для

кількісного значення оцінки спортивної результативності в стрільбі запропоновано блок параметрів, який включає визначення: величини площі багатокутника розташування точок влучення; величини відхилення центру ваги утвореного багатокутника від центру мішені; величини середнього модуля радіусів відхилень; координат середньої точки влучення кожної контрольованої вибірки послідовності точок влучення; відстані від кожної середньої точки влучення контрольованих вибірок послідовності пострілів до центра мішені; суми відстаней для всіх окремо узятих контрольованих вибірок послідовності пострілів; співвідношення величин двох попередніх параметрів; середньої очкової результативності пострілу у вправі; розкиду відхилень вартості влучень від середнього значення. Запропонована методика аналізу результатів стрільби дозволила підняти результативність групи лучників найвищої кваліфікації шляхом діагностики слабких сторін підготовленості і цілеспрямованої організації тренувального процесу.

Розробка і впровадження нових інформаційних технологій в навчально-тренувальний та змагальний процеси – найважливіші стратегічні напрями вдосконалення системи спортивної підготовки. Перспективними є проекти з розробки спеціального програмного забезпечення, призначеного для автоматизованого збору, зберігання і аналізу даних комплексного контролю, а також для управління тренувальним процесом спортсменів; з розробки систем автоматизованого моделювання, проектування і прогнозування стану організму спортсменів, перевірки адекватності розробленої моделі у серіях обчислювальних експериментів для розв'язання завдань управління тренувальним процесом на різних етапах багаторічної підготовки і в системі річного тренувального циклу.

В монографії розширено теоретичні і практичні варіанти застосування засобів моделювання штучного середовища. Зокрема розроблено методику застосування засобів гравітаційного тренування у стрільбі з лука, що полягає у використанні спеціального костюму, за допомогою котрого створюються умови визначеної величини гіпергравітації для організму спортсмена, і якою доцільно послуговуватися протягом мезоциклу підготовки у спеціально-підготовчому періоді річного циклу. Запропоновано алгоритм визначення ефективності розроблених засобів і методів гравітаційного тренування на основі контролю динаміки змін параметрів міотонетрії, спеціальної стійкості та спортивної результативності лучників високої кваліфікації, а також виявлено різноприскорену динаміку



зазначених показників, які характеризують адаптаційні зміни організму лучників в умовах гіпергравітації.

Враховуюючи ефективність та перспективність використання моделювання під час вивчення складних процесів спортивної діяльності, автор планує продовжувати дослідження піднятої тематики та запрошує усіх зацікавлених до її широкого наукового обговорення.

ВНИИСССР, МКИ G 01 V 3/10, G 06 G 7/14. Устройство для измерения частоты дыхания / И.И.Драбач, И.М.Савинин. — М.: ИИИП, № 4264724/81-25; Заявлено 23.06.87; Опубликован 1988.

Ураїна. Пристрій для вимірювання частоти дихання під час гіпергравітації / І.А.Величко, І.Т.Пилип. — Київ: Вісник СВУ, 7.10.1993; Свідоцтво: 30.04.93. Бюл. №1.

Савинин И. М., Колесов А. С. Системный подход к созданию унифицированной системы для тренировки и тестирования спортсменов / Матр. конф. «Системный подход к спорту и спорту для всех». — М.: СпортАкадемПресс, 2003. — Т.2. — С.229-230.

Савинин И. М. Результаты реализации основной задачи функционирования системного управления системой подготовки спортсменов к квалификации. Биологическая спортивная техника / Под редакцией... — М.: ГИОЛИФ, 1975. — С.87-117.

Савинин И. М. Моделирование системных систем. — К.: Наука, 1998.

Савинин И. М. Основы системного функционального системного управления. — М.: Наука, 1975. — 440 с.

Савинин И. М. Системный подход к функционированию систем. — М.: Наука, 1975.

Савинин И. М. Основные методические рекомендации по применению системного метода в биологической науке. — М.: Наука, 1975. — С. 84-85.

Савинин И. М. Основы системного функционального управления. — М.: Наука, 1975. — 440 с.

Савинин И. М. Системный подход к функционированию систем. — Харьков: Колос, 1975.

Савинин И. М. Системный подход к функционированию систем. — М.: Наука, 1975. — 440 с.

Савинин И. М. Системный подход к функционированию систем. — М.: Наука, 1975. — 440 с.

## ЛІТЕРАТУРА

*А.с. 1584590 СССР, МКИ G 01 V 3/10, G 06 G 7/18. Устройство для обработки импульсных сигналов / П.П.Драбич, И.Я.Сапужак и М.И.Цема (СССР). № 4266724/31-25; Заявлено 23.06.87; Опубл. 8.04.90. Бюл. №5.*

*А.с. № 26064. Україна. Пристрій для визначення часових рухових параметрів спортсменів-лучників / Б.А.Виноградський, В.Т.Пятков (Україна). Заявлено 1.10.1993; Опубл. 30.04.99. Бюл. №2.*

*Агашин М.Ф., Кахидзе А.С. Системный подход к созданию унифицированного оборудования для тренировки и тестирования спортсменов // VII Межд. науч. конгр. «Современный олимпийский спорт и спорт для всех»: Тез. докл. — М.: СпортАкадемПресс, 2003. — Т.2. — С.229-230.*

*Алешинский С.Ю. Результаты решения основной задачи биодинамики. - В кн.: Совершенствование управления системой подготовки спортсменов высшей квалификации. Биодинамика спортивной техники / Под ред. В.М. Заиурского. - М.: ГЦОЛИФК, 1978, с. 87-117.*

*Амосов Н.А. Моделирование сложных систем. -К.: Наук. думка. 1968. -212 с.*

*Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. - М.: Медицина, 1975. - 446 с.*

*Анохин П.К. Узловые вопросы функциональной системы. - М.: Наука, 1980. - 196 с.*

*Арестова О.Н. Влияние компьютеризации эксперимента на валидность психодиагностических методик // Психологический журнал. - 1990. -Т.11. - № 6. - С. 86-93.*

*Ашмарин Б.А. Теория и методика физического воспитания. - М.: Просвещение, 1990. -288 с.*

*Бажин И.И. Исследование систем управления. - Харьков: Консум, 2004. - 236 с.*

*Байдиченко Т.В. Техническая подготовленность стрелков из лука и методы ее совершенствования. Автореф. дис .... канд. пед. наук. - М., 1989. - 26 с.*

Балов А.Ш. Основы баллистики стрельбы из лука. – М.: Военно-политическая академия – 1975. – С.92.

Бернштейн Н.А. Моделирование в биологии. – М.: Медгиз, 1963. – 108 с.

Бернштейн Н.А. О ловкости и ее развитии. – М.: Физкультура и спорт, 1991. – 288с.

Биомеханіка спорту / За ред. А.М. Лапутіна. – К.: Олімпійська література, 2001. – 320 с.

Блащак И.М. Точность ударов по воротам в соревнованиях и тренировках футболистов и факторы ее определяющие: Автореф. дис ... канд. пед. наук. – М., 1991. – 22 с.

Богданов А.И. Специальная подготовка стрелка из лука. – М.: Физкультура и спорт, 1971. – 56 с.

Богіно В.Г., Виноградський Б.А. Багатофакторний аналіз результатів стрільби у мішень // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту / За ред. Єрмакова С.С. – Х.: ХХІІІ, 2002. – №21. – С.26-35.

Богіно В.І., Петрова О.Г., Бесєдна Л.Л., Гладківська О.В. Система підтримки прийняття рішень у спорті – СУБІСПАРТ // Експрес-новини: наука, техніка, виробництво. – 2001. – №1-2. – С.13-16.

Богіно В.І., Петрова О.Г. Аналіз розвитку виду спорту с використанням інформаційних технологій // Зб. тез доповідей ІХ Міжнар. наук. конгресу “Олімпійський спорт і спорт для всіх?”. – К.: Олімпійська література, 2005. – С.223.

Бондарчук А.П. Объем тренировочных нагрузок и длительность цикла развития спортивной формы // Теория и практика физ. культуры. – 1989. – № 8. – С. 18-20.

Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

Бретз К. Устойчивость равновесия тела человека: Автореф. дис ... д-ра пед. наук / УГУФВС. – К., 1997. – 39 с.

Бударин О.Д. Лук-тренажер // Разноцветные мишени. – М.; Физкультура и спорт, 1986. – С.81-83.

Булатова М.М. Теоретико-методические основы реализации функциональных резервов спортсменов в тренировочной и соревновательной деятельности: Автореф. д-ра дисс. ... пед. наук. – К., 1996. – 50 с.

*Булгакова Н., Попов О., Партыка Л.* Плавание в XXI: прогнозы и перспективы // Наука в олимпийском спорте. – 2003. – №1. – С.134-142.

*Булкин В.А.* Оперативная оценка готовности спортсменов к предстоящей тренировочной деятельности // Теория и практика физ. культуры. – 1996. – № 6. – С.40-45.

*Булкин В.А.* Педагогическая диагностика как фактор управления двигательной деятельностью спортсменов: Автореф. дис. ... д-ра пед. наук. М., 1987. – 43 с.

*Булкин В.А.* Теоретические концепции управления тренировочным процессом в спорте высших достижений // Тенденции развития спорта высших достижений: Сб. науч. тр. / Сост. Б.Н. Шустин. – М.: ЦНИИС, 1993. – С. 57-62.

*Бусленко Н.П.* Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1988. – 400 с.

*Вайнштейн Л.А., Вакман Д.Е.* Разделение частот в теории колебаний и волн. – М.: Наука, 1983. – 288 с.

*Вайцеховский С.М.* Система спортивной подготовки пловцов к Олимпийским играм: Автореф. дисс. ... д-ра пед. наук. – М., 1985. – 52 с.

*Вельган Р., Віблій Р., Івахів О.* Моделирование систем при проектировании // Міжнародна наук.-техн. конф. "Сучасні проблеми засобів телекомунікацій, комп 'ютерної інженерії та підготовки спеціалістів", ТСЕТ '98 23-28.02.98 р. –Л. –1998. – С.72.

*Веников В.А.* Теория подобия и моделирования. – М.: Высш. шк., 1986. – 480 с.

*Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1988. – 480 с.

*Верхошанский Ю.В.* Актуальные проблемы современной теории и методики спортивной тренировки // Теория и практика физ. культуры. – 1993. – № 8. –С. 21-28.

*Верхошанский Ю.В.* Горизонты научной теории и методологии спортивной тренировки // Теория и практика физ. культуры. –1998. – №7. –С. 43.

*Верхошанский Ю.В.* На пути к научной теории и методологии спортивной тренировки // Теория и практика физ. культуры. – 1998. –№2. –С. 21-27.

*Верхошанский Ю.В.* Основы специальной физической подготовки спортсменов. – М.: Физкультура и спорт, 1988. – 329 с.

*Верхошанский Ю.В.* Программирование и организация тренировочного процесса. – М.: Физкультура и спорт. – 1985. – 187 с.

*Виноградов П.А., Савин В.А.* Спорт в мире информации // Теория и практика физ. культуры. – 1997. – №11. – С. 59-62.

*Виноградский Б. А.* Специфика системы комплексного педагогического контроля в стрельбе из лука // Человек в мире спорта: Новые идеи, технологии, перспективы: Тез. докл. междунар. конгр. – М., 1998. – Т. 1. – С.256-257

*Виноградский Б.А., Івашко М.В.* Теоретико-методичний аспект моделювання спеціальної підготовленості лучників // Фіз. виховання, спорт і культура здоров'я у сучасному суспільстві. – Луцьк: Медія, 1999. – С.935-939.

*Виноградський Б.А.* Теоретико-методичні аспекти контролю та аналізу кінематичних параметрів системи “лучник – лук” // Молода спортивна наука України. – Л.: Престиж-інформ, 2001. – Вип. 5. Т.1. – С.301-305.

*Виноградський Б.А.* Теоретико-методичні проблеми комплексного контролю, пошуку інформації і прийняття рішення в спорті // Молода спортивна наука України. – Л., ЛДІФК, 2002. – Вип. 6. – Т.2. – С.58-66.

*Виноградський Б.А., Михайлишин В.Ю., Романишин І.М.* Інформаційні технології аналізу систем у стрілецькому спорті // Збірник тез доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Системний аналіз та інформаційні технології” / Укладач А.О. Михайлюк. – К.: НТУУ “КПІ”, 2001. – Ч.2. – С.35-39.

*Волжанин С.Д., Джафаров М.А., Заневский И.Ф.* Измерительно-компьютерный комплекс для контроля техники стрельбы из лука // Научно-методическое и медико-биологическое обеспечение физкультурно-оздоровительной и спортивной работы: Тез. докл. обл. научно-практ. конф. – Д., 1990. – Ч.2. – С.9-11.

*Волжанин С.Д., Джафаров М.А., Заневский И.Ф.* Экспертная система оптимизации биомеханических параметров в стрельбе из лука // Всес. науч. конф. по проблемам олимпийского спорта: Тез. докл. – М., 1991. – С.7-8.

*Воложанін С.Д.* Система відеокомп'ютерного аналізу техніки стрільби з лука // Тези звіт. науково-практ. конф. викладачів ЛДІФК за 1993р. – Л., 1994. – С.50-58.

*Воронков Р.М.* Влияние некоторых наиболее распространенных ошибок на меткость стрельбы из лука // Разноцветные мишени. – М., 1982. – С.15-20.

*Вукобратович М.* Шагающие роботы и антропоморфные механизмы. – М.: Мир, 1976. – 541 с.

*Гамалий В.В.* Спортивная техника как объект изучения в теории спорта // Наука в олимпийском спорте. – №1. – 2004. – С. 25-30.

*Годик М.А.* Контроль тренировочных и соревновательных нагрузок. – М.: Физкультура и спорт, 1980. – 166 с.

*Годик М.А.* Спортивная метрология. – М.: Физкультура и спорт, 1988. – 192 с.

*Гордиенко Г.А., Сидорук В.В.* Обработка выстрела // Разноцветные мишени. – М., 1980. – С. 43-49.

*Горобец В.П.* Прибор для измерения времени полета стрелы / Тез. докл. Всес. конф. “Электроника и спорт”. – Тула, 1983. – С.43-44.

*Джафаров М.А., Хускивадзе М.К.* О некоторых полемических вопросах стрельбы из лука // Разноцветные мишени. – М., 1983. – С.66-79.

*Джафарова О.А.* Компьютерные системы биоуправления: Тенденции развития / О.А.Джафарова, М.Б.Штарк // Медицинская техника. –2002. –№1. – С.34-35.

*Дмитриев С.В.* Донской Д.Д. и развитие отечественной биомеханики: от биоцентризма к психосемантике двигательных действий // Физическое воспитание студентов творческих специальностей / ХГАДИ (ХХПИ). – Х., 2002. – N 6. – С.56-70

*Дмитриев С.В.* Теоретико-методологический анализ информационного моделирования двигательных задач // Теория и практика физ. культуры. –1985. – № 7. – С.9-10.

*Донской Д.Д., Дмитриев С.В.* Смысловое проектирование спортивных действий ( от “модели объекта” к “ модели проекта”) // Теория и практика физ. культуры. –1996. – № 1. – С.51-56.

*Дрюков В.* Система построения четырехлетних циклов подготовки спортсменов высокого класса к Играм Олимпиады в современном пятиборье // Наука в олимпийском спорте. – 2003. – №1. – С.14-22.

*Дрюков В.О.* Система побудови чотирирічних циклів підготовки спортсменів високого класу до Олімпійських ігор (на матеріалі сучасного п'ятиборства): Автореф. дис. ... д-ра наук з фіз. виховання і спорту. – К., 2002. – 39 с.

Дулібський А.В. Моделювання тактичних дій у процесі підготовки юнацьких команд з футболу : Автореф. дис... канд. наук з фіз. виховання і спорту. – К., 2001. – 19 с.

Ермаков С.С. Модели рабочих поз спортсмена как фактор эффективности выполнения двигательных действий // Физ. воспитание студентов творческих специальностей / ХХПІІ. – Харьков, 2001. – N 4. – С.16-22

Ермаков С.С. Навчання техніки ударних рухів у спортивних іграх на основі їх комп'ютерних моделей та нових тренажерних пристроїв: Автореф. дис... д-ра пед. наук. – К., 1997. – 46 с.

Жалдак М.І., Кузьміна Н.М., Берлінська С.Ю. Теорія ймовірностей і математична статистика з елементами інформаційної технології. – К.: Вища школа, 1995. – 351 с.

Жбанков О.В. Методологія формування інформаційного простору процесу фізичного виховання // Теорія і практика фіз. культури. – 1998. – № 6. – С. 25-26, 39-40.

Жбанков О.В., Лебязьєв А.Н. Комп'ютеризована система як засіб управління психофізичним станом спортсмена // Теорія і практика фіз. культури. – 1994. – № 11. – С. 46-48.

Жинкин Н.Д. Модельні характеристики технічної і фізичної підготовленості кваліфікованих пловців-брасистів: Автореф. дис .... канд.пед.наук. – М., 1986. – 25 с.

Загоруйко Л.В., Тимченко Л. І. Семантичний підхід до створення просторових нейронних мереж // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – №1. – С.23-29.

Заневський І.Ф. Изгиб плеча спортивного лука // Теорія і практика фіз. культури. – 1993. – N 1. – С. 37-38.

Заневський І.Ф. К расчету плеча спортивного лука // Сопротивление материалов и теория сооружений. – К., 1990. – Вып.57. – С.96-97.

Заневський І.П. Аналіз системи “людина-метальна зброя” на прикладі пострілу з лука // Зб. наук.-метод. праць Військового інституту ДУ “ЛП”. – Л. – 1998. – Вип.4. – С. 41-50.

Заневський І.П. Імітаційне моделювання внутрішньої балістики стріли спортивного лука / Праці Міжн. конф. з управління “Автоматика-2000”. – Л., 2000. – С.206-214.

Заневський І.П. Методика моделювання та аналізу характеристик пострілу зі спортивного лука. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Л., 1996. – 40 с.

*Заневський І.П.* Моделювання рухів тіла стрільця з лука // Фізична культура та спорт – важливий фактор виховання особистості та зміцнення здоров'я: Тези наук.-практ.конф.викладачів ЛДДФК. – Л., 1994. – С.54-56.

*Заневський І.П.* Моделювання рухів тіла з стрільби з лука // Конф. викладачів ЛДДФК за 1993р. – Л., 1994. – С. 50-58.

*Запорожанов В.А.* Контроль в спортивной тренировке. – К.: Здоров'я, 1988. –144 с.

*Зациорский В.М.* Биомеханика двигательного аппарата человека / Зациорский В.М., Аруин А.С., Селуянов В.Н. - М.: ФиС, 1981. - 143 с.

*Зациорский В.М.* Биомеханические аспекты энергетики спортивных движений: Сб. научн. Трудов / Под ред. В.М.Зациорского. –М.:ГЦО-ЛИФК, 1984. –110с.

*Зациорский В.М.* Кибернетика, математика, спорт. – М.:Физкультура и спорт, 1969. –200 с.

*Зациорский В.М., Актюв А.В.* Операция сложения прицеливания в спортивной стрельбе // Физиологические, биохимические и биомеханические факторы, лимитирующие спортивную работоспособность / Сборник научных трудов. - М. - 1990.-С.68 -85.

*Зациорский В.М., Алешинский С.Ю., Якунин Н.А.* Биомеханические основы выносливости. – М.: Физкультура и спорт, 1982. –207с.

*Зинковский А.В., Шолуха В.А.* Антропоморфные механизмы, моделирование, анализ и синтез движений: Учеб. пос. - Л.: СПбГТУ, 1992, 71 с.

*Зув В.А.* Программное моделирование систем / Новочеркасск: НПИ, 1992.– 108 с.

*Зыков М.Б., Саблин В.Г., Локишин Л.Л.* Применение метода центральности стрельбы для оценки технической подготовленности спортсмена // Разноцветные мишени. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – С. 52-56.

*Иберла К.* Факторный анализ. – М: Статистика, 1980.– 321 с.

*Иванов В.* Педагогические и метрологические основы теории и методики измерений в спорте // Междунар. конгр. “Человек в мире спорта”. – М., 1998. – С.51-52.

*Иванов В.В.* Комплексный контроль в подготовке спортсменов. – М.: Физкультура и спорт, 1987. –256 с.

*Игнатъев П.В.* Целевое практическое моделирование соревновательной деятельности как способ рационализации структуры тренировки



многоборцев (на материале морского многоборья). Автореф. дисс. ... канд. пед. наук. – М., РГАФК, 1996. – 24 с.

*Импульсная система вихретокового неразрушающего контроля / А.В.Жук, Ю.А.Петрунин, А.А. Пугач и др. // Тез. Докл. науч.-техн. конф. "Приборы и методы неразрушающего контроля". К. 1989. С. 16.*

*Информатизация отрасли "Физическая культура и спорт" и экспертные технологии (Сообщение первое) / Л.А. Хасин, С.Б. Бурьян, С.В.Минков, А.Б.Рафалович //Теория и практика физ. культуры. – 1996. – № 4. – С. 7-11.*

*Информатизация отрасли "Физическая культура и спорт" и экспертные технологии (сообщение второе) Хасин Л.А., Бурьян С.Б., Минков С.В. и др. //Теория и практика физ. культуры. – 1996. – № 10. – С. 41-45.*

*Искусственный интеллект / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.:Радио и связь, 1990. – 304 с.*

*Исследование конструкций и технологии изготовления плеч спортивных луков из древесины и композиционных материалов / Закл.отчет Ленингр. лесотехнической академии. – Л., 1988. – 103 с.*

*Калиниченко А.Н. Приспособление для оценки и коррекции техники стрелков из лука // Передовой технический опыт и рационализация в физической культуре и спорте. Экспресс-информ. – Вып. 5 (17) ЦООШИ. – М.: Физкультура и спорт, 1986. – С.8.*

*Калиниченко А.Н. Устройство для регистрации зрительных восприятий в стрельбе из лука // Передовой технический опыт и рационализация в физической культуре и спорте. Экспресс-информ. Вып. 5 (17). ЦООНШ. – М.:Физкультура и спорт, 1986. –С.8.*

*Калиниченко А.Н., Прохоров А. Л. Тренажеры для подготовки лучников. // Передовой технический опыт и рационализация в физической культуре и спорте. Экспресс-информ. – Вып. 5 (17), ЦООНГИ. – М.:Физкультура и спорт, 1986. – С.7.*

*Калиниченко Н.А. Калиниченко А.Н. Нарушение координационной структуры спортивного навыка у стрелков из лука // Разноцветные мишени.– М.,1986.– С.61-69.*

*Калиніченко О.М. Вивчення особливостей утворення умовно-рефлекторних рухових актів в заключній фазі пострілу з лука на основі елекроміографії плечевого поясу // Роль фізичної культури в здоровому способі життя: Тези доп. Всеукр. наук.-практ. конф.– Л., 1991. – Ч.1. – С.60.*

*Калініченко О.М.* Корекція рухових навиків лучників методом внесення штучних змін в біомеханічну структуру їх змагальної діяльності // Роль фізичної культури в здоровому способі життя: Тези доп. Всеукр. наук.-практ. конф. –Л., 1992.–Ч.3. – С.88-89.

*Калініченко О.М.* Дослідження причин розрізнювання нейрохронометричних показників у стрільців із лука // Роль фізичної культури в здоровому способі життя: Тези доп. Всеукр. наук.-практ. конф – Л., 1993. – Ч.1. – С.75-76.

*Калініченко О.М.* Формування структури рухових дій стрільців з лука з використанням технічних засобів навчання: Автореф. дис. ... канд. пед. наук. – К., 1995.– 24 с.

*Комплекс тренажеров, для подготовки стрелков из лука. (Часть IV)* Тренажер для развития точности перемещений правой руки стрелка и методика его использования. Метод. реком. / Ф.К. Агашин, Е.П. Горбачев, Г.М. Петросян и др.– М.: Физкультура и спорт, 1983. – 12 с.

*Комплекс тренажеров, для подготовки стрелков из лука. (Часть V)* Тренажер для обучения удерживанию вертикального расположения лука при стрельбе. Метод. реком. / Ф.К. Агашин, Е.П. Горбачев, Г.М. Петросян и др.– М.: Физкультура и спорт, 1983. – 17 с.

*Комплексный контроль и управление в спорте: теоретико-методические, технические и информационные аспекты (Сообщение первое) / Федоров А.И., Шарманова С.Б., Сиротин О.А. и др. // Теория и практика физ. культуры. – 1997. – № 9 – С. 25-26, 39-40.*

*Комплексный педагогический контроль в процессе управления спортивной тренировкой: Сб. научн. тр. / Гл. ред. Е.А. Грозин. – Л.: ЛНИИФК, 1984. – 125 с.*

*Коробицын В.А.* Конструирование многослойных плечей для стрельбы из разборных луков. – Тез. докл. X респ. науч.-метод. конф. “Совершенствование системы физического воспитания студенческой молодежи”. – Могилев, 1985. – С.77-78.

*Кривенцов А.Л.* Моделирование в спорте: Сб.науч.статей. – Алма-Ата, 1988. – 120 с.

*Кривенцов А.Л.* Основы моделирования подготовленности спортсменов. – Алма-Ата: КазИФК. –1990. – 88 с.

*Куликов Л.М.* Управление спортивной тренировкой: системность, адаптация, здоровье.– М.: ФОН, 1995. –396 с.

Куртяк О. Проба аналізу і оцінки параметрів системи «стрілець-лук» за допомогою комп'ютерної техніки // Молода спортивна наука України: Зб. наук. праць. – Л.: Престиж, 2002. – Вип. 6. – Т.2. – С.140-142.

Кузнецов В.В., Новиков А.А. Основная направленность теоретических и экспериментальных исследований современной системы подготовки спортсмена // Теория и практика физ. культуры. – 1971. – № 1, – С. 66-68.

Кусый Л.И., Сапужак И.Я., Цема М.И. Анализ интегрального преобразования, основанного на многократном инвертировании монотонно затухающих сигналов // Отбор и обработка информации. 1991. Вып. 7(83). С.97-100.

Кучкин С.Н. Биоуправление в медицине и физической культуре // Теория и практика физической культуры. – 1997. – № 10. – С.45-47.

Лапутин А.Н. Гравитационная тренировка. – К.: Знання, 1999. – 316 с.

Лапутин А.Н. Дидактическая биомеханика: истоки и перспективы // Теория и практика физ. культуры. – 1996. – N 11. – С.63-67

Лапутин А.Н. Дидактическая биомеханика проблемы и решения // Наука в олимпийском спорте. – 1995. – №2(3). – С. 42-51.

Лапутин А.Н. Обучение спортивным движениям. – К.: Здоров'я, 1986. – 216с.

Лапутин А.Н. Программно-целевой подход в управлении двигательным совершенствованием на основе биомеханических средств АСУ// Оптимизация управления процессом совершенствования технического мастерства спортсменов высокой квалификации: Сб. науч. трудов. К.: КГИФК. – 1979. – С.13-28.

Лапутин А.Н., Бобровник В.И. Олимпийскому спорту – высокие технологии. –К.: Знання, 1999. – 164 с.

Лапутин А.Н., Носко Н.А. Современные проблемы совершенствования технического мастерства спортсменов в олимпийском и профессиональном спорте // Физ. воспитание студентов творческих специальностей / ХГАДИ (ХХПИ). – Харьков, 2002. – N 4. – С.3-17

Лапутин А.Н., Уткин В.Л. Технические средства обучения. – М.: Физкультура и спорт, 1990. – 80 с.

Лопатъев А.А., Дзюбачек Н.И., Виноградский Б.А. О возможных подходах моделирования сложных систем применительно к стрелковым видам спорта // Наука в олимпийском спорте. – 2004 – №2. – С.101-107.

*Лукьяненко В.П.* Точность движений: проблемные аспекты теории и их прикладное значение // Теория и практика физ. культуры . – 1991. – №4. – С.2-10.

*Макаренко Н.В.* Методика проведення обстежень та оцінки індивідуальних нейродинамічних властивостей вищої нервової діяльності людини // Фізіол. журн. –1999. –Т.45, №4. – С.123-131.

*Максимей И.В.* Имитационное моделирование на ЭВМ. – М.: Радио и связь. – 1988. – 232 с.

*Малиновский С.В.* Моделирование тактического мышления спортсмена. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 192 с.

*Матвеев Л.П.* К дискуссии о теории спортивной тренировки // Теория и практика физ. культуры. –1998. – №7. – С.55-61.

*Матвеев Л.П.* Модельно-целевой подход к построению спортивной подготовки // Теория и практика физ. культуры. – 2000. – № 2. – С. 28-37.

*Матвеев Л.П.* Основы общей теории спорта и системы подготовки спортсменов. — К.: Олимпийская литература, 1999. – 320 с.

*Миненков Б.В.* Использование технических средств для измерения, контроля и обучения в спорте //Теория и практика физ. культуры. –1987. – № 12. – С. 29-31.

*Моделирование спортивной техники и видеокомпьютерный контроль в технической подготовке спортсменов высшей квалификации / Лапутин А.Н., Архипов А.А., Лайуни Р., и др. // Наука в олимпийском спорте. –1999. – Спец.вып. – С.102-109.*

*Начинская С.В.* Математическая статистика в спорте. – К.: Здоров'я. – 1978. –136 с.

*Никоноров Д.М., Фомін Ю.С.* Про систему моделювання в підготовці спортсменів різної кваліфікації // Оптимізація процесу фізичного виховання в системі освіти: Матеріали Всеукр.наук.конф.,присвяч.40-річчю ф-ту фізичного виховання ТДПІ. – Т., 1997. – С.283-285.

*Новик И.Е.* Гносеологическая характеристика кибернетических моделей //Вопр. философии. – 1963. – № 8. – С. 92-103.

*Новый метод анализа результатов в стрельбе из винтовки.* В.И. Степанский, В.И. Моросанова, В.А. Власов, А.В. Костюченко // Разноцветные мишени. – М.: Физкультура и спорт. –1983. – С. 61-66.

*Носко Н., Власенко С., Синиговец В.* Физические упражнения как кибернетические системы // Физ. воспитание студентов творческих специальностей / ХХПИ. – Харьков, 2001. – N 3. – С.3-7.

*Образцов И.Ф., Ханин М.А.* Оптимальные биомеханические системы – М.: Медицина, 1989. – 272 с.

*Олдендерфер М.О., Блэшфилд Р.К.* Кластерный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Под ред. И.С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – С. 139-214.

*Оноприенко Б.И.* Использование моделирования для исследования сопротивления воды движению тела пловца // Теория и практика физ. культуры. – 1979. – № 9. – С.8-9.

*Опанасенко Г.Л.* Валеология на рубеже веков // Наука в олимпийском спорте. – Спец. выпуск. – 2000. – С. 14-20.

*Оптимизация* точностных движений стрелков из лука с применением технических средств / А.Ш. Балов, С.Д. Волжанин, М.А. Джафаров и др. // ВНИИФК. Биомеханика спорта: Тез. докл. 6-ой всеос. науч. конф. – Чернигов, 1989. – С.16-17.

*Основы* математической статистики / Под ред. В.С.Иванова. – М.: Физкультура и спорт, 1990. – 176 с.

*Отраслевой* стандарт комплексного научно-методического обеспечения и отбора спортсменов и ШИСП и МЦОП с использованием автоматизированной системы контроля подготовленности по видам спорта // Булкин В.А. и др. Рекл.-информ. бюл. – Вып. 1. – Л., 1990. – 126 с.

*Петров П.К.* Современные информационные технологии в подготовке специалистов по физической культуре и спорту // Теория и практика физ. культуры. – 1999. – № 10. – С. 6-9.

*Петросян Г.* Некоторые вопросы выстрела из лука // Разноцветные мишени. – 1977. – С.42-46.

*Петросян Г., Резников В., Мироненко В.* О жесткости рукояток спортивных луков // Разноцветные мишени. – 1978. – С.84-88.

*Платонов В., Лапутин А., Кашуба В.* Биомеханические эргогенные средства в современном спорте // Наука в олимпийском спорте. – 2004. – №2. – С.86-100.

*Платонов В., Сахновский К., Озимек М.* Современная стратегия многолетней спортивной подготовки // Наука в олимпийском спорте. – 2003. – №1. – С.3-13.

*Платонов В.М., Булатова М.М.* Фізична підготовка спортсмена. – К.: Олімпійська література, 1995. – 320 с.

*Платонов В.Н.* Общая теория подготовки спортсменов в олимпийском спорте: Учебник для студентов вузов физического воспитания и спорта. – К.: Олимпийская литература, 1997. – 584 с.

Платонов В.Н. Перспективы совершенствования системы олимпийской подготовки в свете уроков Игр XXVII Олимпиады // Наука в олимпийском спорте. – 2001. – №2. – С.5-13.

Попов Г. Метод временных и энергетических трансформант в моделировании движений человека // Человек в мире спорта: новые идеи, технологии, перспективы: Тез. докл. Междунар. конгресса. – М., 1998. – Т.1. – С.30-32.

Попов С.В. Поиск информации и принятие решений // Информационные процессы и системы. – М. – 2001. – Сер. 2. – №1. – С.1-4.

Поспелов Г.С., Ириков В.А., Курилов А.Е. Процедуры и алгоритмы формирования комплексных программ. – М.: Наука, 1985. – 423 с.

Практикум по теоретическим основам информационно-измерительной техники: Учеб. пособие / Обозовский С.С. – Л.: ЛПИ, 1987. – 87 с.

Применение комплекса тренажеров для подготовки стрелков из лука (Часть II). Метод. реком. / Ф.К. Агашин, Е.Г. Горбачев, Г.М. Петросян и др. – М.: Физкультура и спорт, 1983. – 17 с.

Применение комплекса тренажеров для подготовки стрелков из лука (Часть III). Метод. реком. // Ф.К. Агашин, Е.Г. Горбачев, Г.М. Петросян и др. – М.: Физкультура и спорт, 1983. – 16 с.

Психологическая диагностика и новые информационные технологии / Л.И. Вассерман, В.А. Дюк, Б.В. Иовлев и др. – СПб, 1997. – 203 с.

Психофізіологічне забезпечення діагностики функціонального стану висококваліфікованих спортсменів / Г.В.Коробейніков, С.М.Бітко, Л.Д.Сакаль та інші // Актуальні проблеми фізичної культури і спорту: Зб. Наук. праць. –К.: Наук. світ, 2003. – С.53-60.

Психофізіологічна діагностика у спорті вищих досягнень: Метод. рек. для тренерів, спортсменів, співробітників комплексних наук. груп / В.О.Дрюков, Г.В.Коробейніков, Ю.О.Павленко та інші. – К.: Наук. світ, 2004. – 29с.

Пуцов О.І. Система відбору важкоатлетів з урахуванням модельних характеристик : Автореф. дис... канд. наук з фіз. виховання і спорту. – К., 2002. – 17 с.

Пятков В.Т. Модельные характеристики системы стрелок–оружие–мишень // Физ. воспитание студентов творческих специальностей / ХХПИ. – Харьков, 2001. – N 4. – С.3-7

Пятков В.Т. Теоретико-методичні основи техніко-тактичної підготовки спортсменів у стрілецьких олімпійських вправах: Автореф. дис... д-ра наук з фіз. виховання і спорту. – К., 2002. – 40 с.

Пятков В.Т. Функции принятия решений в интерактивных моделях спортивных упражнений // Физ. воспитание студентов творческих специальностей / ХХПИ. – Х., 2001. – № 3. – С.20-23.

Пятков В.Т., Чапля С.Я. Визначення та розробка модельних характеристик системи: стрілець-зброя-мішень // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фіз. виховання і спорту. – Х., 2000. – № 20. – С. 3-7.

Редько В.Г. Эволюционная кибернетика. – М.: Наука, 2001. – 156 с.

Результаты летно-космических испытаний виброзащитной платформы ВЗП-1К / В.Л. Левтов, В.В. Романов, А.И. Иванов и др. // Космические исследования. – 2001. – Т.39, №2. – С.148-160.

Ровний А.С. Методичні шляхи удосконалення рухових навичок спортсменів // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фіз. виховання і спорту. – Х., 2000. – № 19. – С. 31-36.

Ровний А.С. Механізми сенсорного контролю точних рухів спортсменів протягом тренувального заняття // Теорія і методика фіз. виховання і спорту. – К., 2001. – №1. – С.31-35.

Ровний А.С. Сенсорні механізми управління точнісними рухами людини. – Х.:ХДАФК, –2002. – 220 с.

Розин Е.Ю. Компьютерная реализация педагогической диагностики и контроля за физическим состоянием и специальной подготовленностью спортсменов //Теория и практика физ. культуры. –1995. – № 3. – С. 19-22.

Русанов В.Я. Модельные характеристики физических и психических качеств боксеров как основа индивидуализации их подготовки // Теория и практика физ. культуры. – 1985. – № 4. – С.13-15.

Самсонова А.В., Козлов И.М., Таймазов В.А. Использование информационных технологий в физической культуре и спорте //Теория и практика физ. культуры. –1999. – № 9, –С. 18-21.

Сапужак І.Я., Виноградський Б.А., Сапужак О.Я. Імпульсна електромагнітна система контролю якості спортивного лука // Фізичні методи та засоби контролю середовищ матеріалів та виробів. – К. – Л.: вид-во ФМІ НАН України, 2000. – Вип.5. – С. 111-114.

Сапужак І., Сапужак О. Технічні засоби вдосконалення майстерності спортсменів-бобслеїстів // Молода спортивна наука України: Збірник наук. статей з галузі фізичної культури та спорту. – Л.: ЛДІФК, 2001. – Вип. 5. – Т 1. – С. 383 – 387.

Спортивна психологія. – Х.: Освітньо-наукова видавничо-друкарська фірма «Світ», 1997. – 584 с.

*Сатушак І.Я.* Застосування інформаційно-вимірjuвальних систем на базі ЕОМ для вдосконалення майстерності спортсменів-санників // Відбір і обробка інформації. – 1997. – Вип. 11 (87). – С. 49–53.

*Сахновский К., Булатова М., Олешко В.* Игры XXVII Олимпиады в Сиднее: итоги, уроки, проблемы // Наука в олимпийском спорте. – 2000. – №5. – С.20-35.

*Сахновский К., Кириенко Н., Пядухов Ю., Дрюков В.* Научно-методическое обеспечение подготовки сборных команд Украины к Играм XXVII Олимпиады в Сиднее // Наука в олимпийском спорте. – 2000. – №5. – С.36-39.

*Селуянов В.Н.* Методы построения физической подготовки спортсменов высокой квалификации на основе имитационного моделирования: Автореф. дис. ... д-ра пед. наук. – М., 1992. – 47 с.

*Селуянов В.Н.* Эмпирический и теоретический пути развития теории спортивной тренировки // Теория и практика физ. культуры. – 1998. – № 3. – С.46-50.

*Сивицький В.Г.* Комп'ютерна психодіагностика сенсомоторики в спортивній діяльності // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту / За ред. С.С. Єрмакова. – Х.: ХХІІІ. –1998. – №1. – С.4-6.

*Сичивица О.М.* Методы и формы научного познания. М.: Высш. шк., 1993. – 96 с.

*Словарь по кибернетике:* Св.2000ст. /Под ред. В.С.Михалевича. -2-е изд. –К.: Укр. сов. энцикл. им. М.П.Бажана. –1989. – 752 с.

*Современные компьютерные технологии в развитии спортивной науки / Шестаков М.П., Анненков К.В., Антохина Е.Т. и др. // Теория и практика физ. культуры. – 1996. – № 8. – С. 43-45.*

*Струк Б.И.* Тренировка стрелка из лука с применением средств срочной информации // Теория и практика физ. культуры. –1976. – N11. – С.16-18.

*Струк Б.И.* Тренировка силовых способностей у стрелков из лука: Автореф. дис.... канд. пед. наук. – К., 1978. – 24 с.

*Струк Б.И., Петросян Г.М., Резников В.Г.* Тренажеры для подготовки стрелков из лука. Метод. реком. – М.: Физкультура и спорт, 1977. – 12 с.

*Сыч С.П.* Автоматизированная информационная система и пути ее использования в управлении тренировочным процессом. – К., 1986. – 21 с.



*Тарасов В.Б.* От искусственного интеллекта к искусственной жизни: новые направления в науках об искусственном // *Новости искусственного интеллекта.* – 1995. – № 4. – С. 93-118.

*Теория автоматического управления.* /Под ред. А.А. Воронова.– М.: Высш.шк., 1986. –368 с.

*Тер-Ованесян А.А.* Педагогические основы физического воспитания. — М.: Физкультура и спорт, 1978. — 206 с.

*Терунашвили Т.И., Мелия Г.А., Паничава А.М.* Некоторые вопросы теории стрельбы из спортивного лука / Тез. докл. всес. научн. конф. “Механико-математическое моделирование спортивной техники”. — М., 1982. — С.47.

*Ткачук В.Г.* Механизмы вариативности при управлении точностными движениями человека. — Автореф. дисс. ... д-ра. биол. наук. — К., 1986. — С.19.

*Томсон Д.Дж.* Спектральное оценивание и гармонический анализ // *ТИИЭР.* – 1982. – Т.70, №9. – С.171-219.

*Турчин В.Ф.* Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции. 2-е изд. — М., 2000. — 368 с.

*Уидроу Б., Стирнз С.А.* Адаптивная обработка сигналов: Пер.с англ. — М.:Радио и связь, 1989. — 440 с.

*Управление* тренировочным процессом высококвалифицированных спортсменов /Под ред. В.А. Запорожанова, В.Н. Платонова. — К.: Здоров’я, 1985. — 192 с.

*Управление* физическим состоянием организма. Тренирующая терапия / Т.В.Хутиев, Ю.Г.Антомонов, А.К.Котова, О.Г.Пустовойт. —М.: Медицина, 1991. —256с.

*Факторный, дискретный и кластерный анализ:* Пер.с англ./ Под ред. И.С. Енюкова. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 215 с.

*Фаиш В., Содел В.* Вклад Леонардо да Винчи в теоретическую механику // *В мире науки.* — 1986. — N 11. — С.76-82.

*Федоров А.И., Шарманова С.Б.* Новые информационные технологии в системе высшего физкультурного образования //Первый Уральский Форум “Культура, искусство и информатизация на рубеже третьего тысячелетия” (Ку Ис Инфо-96, Челябинск, 26 ноября 1996 г.): Сб. докладов. Вып. 1. — Челябинск: Администрация Челябинской области., ЦНТИ, 1996. — С. 96-98.

*Федоров А.И., Шарманова С.Б.* Новые информационные технологии в системе высшего физкультурного образования // Первый Уральский Форум "Культура, искусство и информатизация на рубеже третьего тысячелетия" (Ку Ис Инфо-96, Челябинск, 26 ноября 1996 года): Сб. докл. – Вып. 1. – Челябинск: Администрация Челябинской обл., ЦНТИ, 1996. – С. 96-98.

*Фомичева В.В.* Модельные характеристики подготовки пловцов-кролистов различных этапов подготовки и стадий полового развития как фактор оптимизации отбора и управления тренировочным процессом: Авторф. дис....канд.пед.наук. – Волгоград, 1996. – 22 с.

*Худoley О.Н.* Моделирование процесса подготовки юных гимнастов. –Х.: "ОВС", 2005. –336с.

*Цулая Г.Г., Мелия Г.А.* Экспериментальные исследования механических характеристик спортивного лука // Теория и практика физ. культуры, –1982. – № 10. – С.52-54.

*Чаудзе Л.В.* Об управлении движениями человека. – М.: Физкультура и спорт, 1970. –136 с.

*Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 с.

*Шестаков М.* Проблемы использования информационного подхода при разработке теории обучения человека движениям // Наука в олимпийском спорте. – 2004.– №2. –С.108-113.

*Шестаков М.П.* Управление технической подготовкой спортсменов с использованием моделирования // Теория и практика физ. культуры. –1998. – № 3. – С. 51-54.

*Шитов Ю.С.* С чего начать. // Разноцветные мишени. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – С. 30-37.

*Шустин Б.Н.* Модельные характеристики соревновательной деятельности // Современная система спортивной подготовки.– М.: СААМ, 1995. – С. 50-73.

*Энгвер Н.Н., Савицкий Я.И., Гибадуллин М.Г.* Построение эмпирических формул и моделей в спорте // Теория и практика физ. культуры. –1986. – № 10. – С.35-37.

*Энока Р.М.* Основы кинезиологии. – К.: Олимпийская литература, 2000. – 400 с.

*Юзвизин И.И.* Информациология. – М.: "Информациология", 1996. – 215 с.

Юнг К.Г. Синхронистичность: Пер. с англ. – М.:«Рефлбук»; К.:«Ваклер», 1997. – 320 с.

*Advances in knowledge discovery and data mining / Fayyad U.M., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P., Uthurusamy R. (editors), AAAI/MIT Press, 1996. – P.24-36.*

*An fMRI study of bimanual coordination / G. Schlaug, L. Jancke, Y. Huang, H. Stewstletz // Science. –1995. –Vol. 267. –P. 699–701.*

*Axford R. Archery Anatomy: An Introduction to Techniques for Improved Performance. – London: Souvenir Press, 1996. – 163 p.*

*ByoungHwa Ahn, Gye-San Lee, Bo-Yeo Kim. A mathematical modeling of the human upper extremity: an application of its model to the simulation of baseball pitching motion // Korean Journal of Sport Science, 1993, Vol. 5, p. 5-81.*

*Carl K. et al. New developments in the control and regulation of the training of top level athletes // Biology of sport. – 1989, №6 (Suppl. 3). – P. 272-275.*

*Funk B.H. An Analytical Analysis of String Tension // Archery World. –1968. –V. 22, N. 4. –P.31-35.*

*Han J., Kamber M. Data mining: methods and technique. – Morgan Kaufman, 2000. – 234 p.*

*Haywood K.M., Lewis C.F. Archery: Step to Success. – Chicago: Human Kinetics Publisher, 1996. – 160 p.*

*Ivakhiv O. Intelligent Measurement System // I Proceeding of the International Conference on Actual Problems of Measurement Technique, Kyiv, Ukraine, 7-10 September, 1998. – 1998. – P.54-55.*

*Kalinichenko A. Theoretical basics of archery //The Glade. International magazine for Archers.– 1994. – Summer. – P.16-20.*

*Kalinichenko A. The problem N1 //Archery. – Tokyo, 1994. –N1.– P.49-56.*

*Kidwell J. Instinctive Archery Insight, Cassville: Jay Kidwell, 2004. – 127 p.*

*Klopsteg P.E. Physics of Bow and Arrows // Amer. J. of Physics. –1943. –V. 11, N4. – P.175-192.*

*Laputin A.N. Didactic biomechanics: problems and solutions // XII Intern. Symp. on Biomech. in Sport. – Budapest: – Siofok, Hungary, July 2-6, 1994. Abstracts. – P. 49.*

*Laszlo, J.L.* Motor Control and Learning: How Far do the Experimental Taste Restrict our Theoretical Insight? // Approaches to the Study of Motor Control and Learning. – Amsterdam: Bsevier, 1992. – P.47-79.

*Leroyer, P., van Hoecke, J., Helal, J.* Biomechanical Study of the Final Push-Pull in Archery // J. of Sports Sci. 1993, N11(1). – P.63-69.

Manual for archery training equipment. – Korea: Archery association (KAA). – 1993. – 37 p.

*Marlow W.C.* Bow and Arrows Dynamics // Amer. J. of Physics. –1981. –V. 49. – No 4. – P.320-333.

*Muskel und neurophysiologische Erkenntnisse zur Qualifizierung des Techniktrainings / A. Gollhofer, J. Edelman-Nusser, V. Rapp et al.* – Leistungssport2B(3), 1996. – P. 54-58.

*Neumann O.* Informationsverarbeitung, Kunstliche Intelligenz und die Perspektiven der Kognitionspsychologie. // Perspektiven der Kognitionspsychologie. – Berlin – Heidelberg – New York – Tokyo: Springer, 1985. – S.3-37.

*Neumann O.* Psychologie der Informationsverarbeitung. Aktuelle Tendenzen und einige Konsequenzen für die Aufmerksamkeitsforschung. // Aufmerksamkeit und Automatisierung in der Sportmotorik. – Sankt Augustin: Academia, 1993. – S. 56-78.

*Quinlan J.R.* Induction of decision trees // Machine Learning. –1986. – P. 81-106.

*Ramm K., Bube H.* Zur Wirksamkeit des Jahrestrainingsaufbaus im Skilanglauf und im Biathlon bei besonderer Beachtung der Luklusmethode // Theorie und Praxis Leistungssport. – 1986, №8/9. – S.115-127.

*Ruis S., Stevenson C.* Precision Archery. – Chicago:Human Kinetics Publisher, 2003. – 208p.

*Sapp R.* Archer's Digest. – New York: Krause Publication, 2003. – 256 p.

*Schuster B.G.* Ballistics of the Modern-Working Recurve Bow and Arrow // Amer. J. of Physics. –1969. – V. 37, No 4. – P.364-373.

*Seay C.* Column-Trust Arrow // Archery World. –1963. – V. 17. –N. 9. –P.43.

*Soong T.-C.* An Optimally Designed Archery. – Xerox Corp., Rochester, New York, 1986. –16 p.

*Stirling W.D.* Algorithm AS212. Fitting the exponential curve by least squares // Appl. Statist. – 1985. – V.34, №2. – P.183-192.

Wise L., Wert L. Bow and Arrow: Comprehensive Guide to Equipment, Technique and competition. –Mechanisburg: Stackpole Book, 1992. – 288 p.

Zadeh L.A. From Computing with Numbers to Computing with Words from Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions // Proceedings of the 16-th World IMEKO Congress, Sept. 25-28, 2000. – Vienna, Austria. – Vol.1 – P.353-358.

Zanevskyy I. Lateral deflection of archery arrows // Sports Engineering. –2001. –V.4, No 1. – P.23-42.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ КОНЦЕПЦІЇ УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ БІОМЕХАНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ В СПОРТІ</b> .....	7
Визначення поняття складної біомеханічної системи в спорті .....	7
Управління складними біомеханічними об'єктами та процесами спортивної діяльності.....	12
Контроль складних біомеханічних систем в спорті.....	25
Проблеми моделювання складних біомеханічних систем спорту на сучасному етапі .....	31
Техніко-тактичні та біомеханічні особливості рухової діяльності лучників у системі класифікації видів спорту .....	46
<b>РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ У СТРІЛЕЦЬКОМУ СПОРТІ</b> .....	53
Особливості моделювання у стрільбі з лука .....	53
Загальна модель формування спортивного результату у стрілецькому спорті .....	62
Системна модель процесу підготовки лучників .....	67
Підходи та принципи моделювання складних систем стрілецького спорту .....	71
Теоретико-методологічні основи моделювання біомеханічної системи «лучник–лук» .....	84
<b>РОЗДІЛ 3. МОДЕЛІ СПОРТИВНОЇ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ СТРІЛЬЦІВ З ЛУКА</b> .....	93
Моделі спортивної результативності найсильніших лучників світу на основі аналізу тенденцій розвитку спортивної стрільби з лука.....	93
Багатофакторний аналіз результатів стрільби у мішень .....	106
Рейтингова оцінка спортивної майстерності лучників .....	115
<b>РОЗДІЛ 4. МОДЕЛІ СПОРТИВНОЇ ТЕХНІКИ ЛУЧНИКІВ</b> .....	129
Загальна характеристика спортивної техніки стрільців з лука.....	129

Морфо-топографічна структура цілісного пострілу у стрільбі з лука.....	
Кінематичні моделі рухових дій виконання пострілу з лука.....	

## **РОЗДІЛ 5. КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ СКЛАДНИХ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ У ЛУЧНОМУ СПОРТІ.....**

Інформація як невід’ємний елемент системи контролю в спорті ...	
Технічні засоби та вимірювальні системи вдосконалення технічної майстерності лучників.....	
Діагностика кінематичних параметрів переміщення точки прицілювання в стрільбі з лука з використанням оптико-електронних комп’ютерних пристроїв .....	
Контроль та моделі коливальних процесів у складних біомеханічних системах стрільби з лука .....	
Імпульсна електромагнітна система контролю якості спортивного лука .....	

## **РОЗДІЛ 6. МОДЕЛІ СПЕЦІАЛЬНОЇ ФІЗИЧНОЇ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТРІЛЬЦІВ ВИСОКОЇ КВАЛІФІКАЦІЇ .....**

Регресійно-кореляційні моделі компонентів спеціальної фізичної підготовки кваліфікованих лучників.....	
Моделі спеціальної фізичної підготовки стрільців з використанням нейронних мереж.....	

## **РОЗДІЛ 7. РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ У ПРАКТИЦІ ПІДГОТОВКИ ЛУЧНИКІВ ВИСОКОЇ КВАЛІФІКАЦІЇ.....**

Вдосконалення побудови тренувального процесу лучників високої кваліфікації з використанням засобів моделювання.....	
Методика побудови процесу підготовки спортсменів на основі використання процедур симплексно-центроїдних планів .....	
Вдосконалення технічної майстерності висококваліфікованих лучників на основі моделювання гіпергравітаційних тренувальних умов.....	

<b>ВИСНОВКИ.....</b>	
<b>ЛІТЕРАТУРА.....</b>	



Виноградський Богдан Анатолійович - кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри теорії і методики стрільби, сучасного п'ятиборства та шахів Львівського державного університету фізичної культури. Майстер спорту. Відмінник освіти України. Член комплексної наукової групи при національній збірній команді України зі стрільби з лука. Автор більше 80 науково-дослідницьких і науково-методичних робіт, у тому числі кількох запатентованих винаходів. Наукові інтереси: теорія і методика підготовки спортсменів високої кваліфікації, моделювання складних біомеханічних систем в спорті, інструментальні засоби контролю спортивної діяльності.