

РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ТА ПРОЦЕСІВ У ВІДКРИТИХ СИСТЕМАХ

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВЗАЄМОДІЇ ТІЛА ЛЮДИНИ ЗІ СПОРТИВНИМ ЛУКОМ

Заневський І.П.

Львівський державний університет фізичної культури

Постановка проблеми. Після випуску тятиви під час прискорення її разом зі стрілою система стрілець-лук-стріла знаходиться у складному просторовому русі. Головні переміщення відбуваються у вертикальній площині й характеризують взаємодію між замкненим кінематичним ланцюгом руківка-плечі-тятива зі стрілою та лучником. Одночасно зазначені елементи системи здійснюють латеральні переміщення, тобто виходять з вертикальної площини.

Строгий аналіз просторового руху системи був би значно складнішим порівняно з аналізом проєкцій рухів окремо на вертикальну та латеральну площини. З іншого боку, з огляду на розумний рівень точності, що визначається потребами спортивної практики, проведення загального просторового аналізу не є необхідним. Переважна частина потенціальної енергії, накопиченої в плечах лука, перетворюється на кінетичну енергію поздовжнього руху стріли. Лише невелика частина енергії пов'язана з латеральними переміщеннями. Отож, хоча система знаходиться у просторовому русі, задача її аналізу може бути розкладена на дві окремі задачі стосовно руху у вертикальній та латеральній площинах. При цьому рух у вертикальній площині можна вважати незалежним від латеральних переміщень, а останні вважати рухами з кінематичним збудженням від поздовжнього переміщення.

Метою роботи було створення механіко-математичної моделі взаємодії стрільця з луком, яка б дозволила врахувати біомеханічні параметри тіла стрільця для аналізу поведінки системи у вертикальній площині.

Методика дослідження: методи біомеханіки (моделювання тіла людини як системи механічних осциляторів), методи теоретичної механіки та математики (рівняння Лагранжа другого роду; принцип Даламбера; задача Коші; метод ітерацій; метод Рунге-Кутта), методи комп'ютерної математики (MathCAD; Mathematica), експериментальні методи (високошвидкісний відеокomp'ютерний аналіз; натурне механічне моделювання).

Основні результати. Спортивна вправа стрільби з лука за правилами FITA (Міжнародної федерації стрільби з лука) складається з трьох послідовних дій стрільця: розтягування лука, прицілювання й випуску тятиви. Загалом ціла вправа триває декілька секунд, а остання фаза — прискорення стріли тятивою — на два-три порядки менше, тобто малу частку секунди. Саме цей швидкоплинний процес визначає напрямок та інші параметри балістики стріли, а зрештою, і спортивний результат.

Важливість фази спільного руху стріли з тятивою, а отже, й з цілим луком, що тримає стрілець, пояснює пильний інтерес дослідників до аналізу динаміки цієї взаємодії. Ці дослідження провадяться з використанням експериментальних і аналітичних методів. У результаті акселерометричних досліджень встановлено загальний час тривалості процесу, закони імпульсного переміщення характерних точок руківки лука у трьох ортогональних напрямках. За допомоги швидкісної відеозйомки отримано картину просторових переміщень стріли з гніздом тятиви, а також картину її взаємодії з полчкою та плунжером на руківці лука.

Розглянуто як приклад висококваліфікованого спортсмена-стрілця, лук якого відповідає стандарту FITA (WIN&WIN Recurve Bow) та має середні за величиною параметри. Лук складається з руківки типу Winact Riser (25" = 635 мм) та довгих плечей (70" = 1778 мм). Маркування основних розмірів сучасних спортивних луків виконують у традиційних одиницях — дюймах (1" = 25,4 мм). Сила лука $F=178$ Н. Довжина руківки складає $h^*=635$ мм, а загальна довжина лука, яка вимірюється між канавками для підв'язування тятиви на кінцях плечей, складає 1778 мм. Стандартною мірою асиметрії лука у вертикальній площині є „тиллер”, величина якого у досліджуваному прикладі складає $\Delta = 6$ мм. Циліндрична алюмінієва стріла марки No 2414 — 30" має наконечник, маса якого відповідає положенню загального центра мас стріли на відстані,

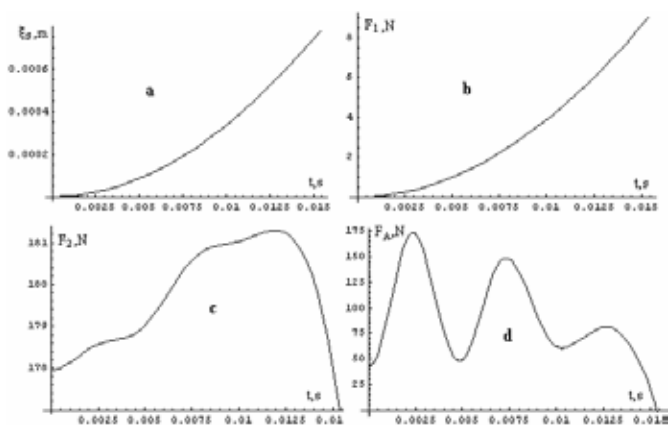


Рис. 1. Графіки параметрів взаємодії стрільця з луком: а — переміщення верхньої частини тулуба; б — сила віддачі, що передається через тулуб на землю; с — сила віддачі, що діє від руківки на руку стрільця; д — сила прискорення, що діє від тятиви на стрілу.

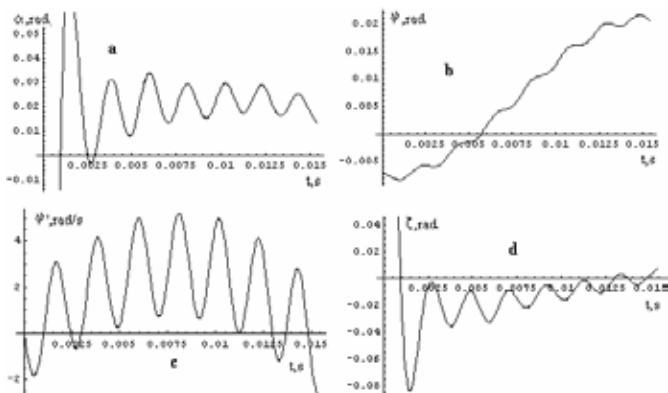


Рис. 2. Параметри внутрішньої балістики стріли: а — кут атаки стріли; б — кут між віссю стріли й напрямком її поздовжнього переміщення; с — кутова швидкість стріли у вертикальній площині; д — кут між вектором швидкості центру мас стріли й напрямком її поздовжнього переміщення.

що складає 15% від загальної довжини стріли, від її геометричного центра у бік наконечника.

Висновки. Результати комп'ютерного моделювання системи стрілець-лук-стріла добре корелюють з відомими результатами швидкісної відеозйомки стосовно суттєво нелінійного характеру процесів, що відбуваються під час спільного руху стріли з тятивою.

Сила віддачі, яка виникає між руківкою лука й рукою стрільця, після випуску тятиви змінює свою величину несуттєво (у межах приблизно 3%) відносно початкового (статичного) свого значення. Сила віддачі передається через тіло стрільця на землю, зменшуючись унаслідок амортизації приблизно у 20 разів. Відповідне переміщення верхньої частини тулуба стрільця знаходиться в межах одного міліметра.

Унаслідок різниці у характері статичного й динамічного балансу сил вихід стріли з гнізда тятиви відбувається в положенні, на декілька міліметрів ближчому порівняно з положенням, коли тятива підв'язана.

Спільний рух стріли з тятивою супроводжується інтенсивними коливаннями, спричиненими порушенням статичного балансу сил у системі в момент випуску тятиви. Сила тятиви, що прискорює стрілу, суттєво змінює свою величину (приблизно в 3 рази). За час спільного руху в системі відбувається сім повних циклів коливань.