5. Выводы

Проведена структурная и параметрическая идентификация многопараметрической математической модели дифференциальной диагностики распространенных дерматозов, которая учитывает вес и выраженность каждого из симптомов, что позволяет получить точные количественные оценки для проведения дифференциации диагноза. Применение разработанной модели в диагностике дерматопатологии позволит усовершенствовать дифференциацию схожих нозологических единиц, сократить длительность обработки диагностической информации и повысить качество постановки дифференцированного диагноза, что обусловит корректный и своевременный выбор лечебной тактики.

Литература

1. Туркевич, Ю. М. Шкірні та венеричні хвороби [Текст] : посіб. для студ. та лікарів-інтернів вищ. мед. навч. закл. III-IV рівнів акредитації / Ю.М. Туркевич, О. Ю. Туркевич, О.О. Сизон – Львів: ЗУКЦ, 2011. – 239 с.
2. Кац, М.Д. Использование искусственного интеллекта для разработки методов дифференциальной диагностики внутри групп трудноразличимых заболеваний [Текст] / М.Д. Кац // Клиническая информатика и телемедицина. – 2004. – №1. – С.86 – 89.
3. Поповская, Т.Н. Информационные технологии диагностики – медицинские экспертные системы [Текст] / Т.Н. Поповская, Л.Г. Раскин // Клиническая информатика и телемедицина. – 2004. – №1. – С. 81 – 85.
4. Бабак, О.В. Об одном подходе к решению задач классификации в условиях неполноты информации [Текст] / О.В. Бабак, А.Э. Татаринов // Кибернетика и системный анализ. – 2005. – №6. – С. 116 – 123.

В статті розглянуто фізичний сенс ефекту віддачі після пострілу, визначені вагомі фізичні параметри, які здійснюють вплив на протікання ефекту віддачі, а також розроблена модель ефекту віддачі після пострілу в системі «стрілок-зброя»

Ключові слова: віддача, стрільба, біофізика стрільби

В статье рассмотрен физический смысл эффекта отдачи после выстрела, определены значимые физические параметры, которые осуществляют влияние на протекание эффекта отдачи, а также разработана модель эффекта отдачи после выстрела в системе «стрелок-оружие»

Ключевые слова: отдача, стрельба, биофизика стрельбы

The physical meaning of the weapon recoil force is considered in this article, the important physical parameters that influence on course of implementing the weapon recoil force are defined and also the model of the effect of weapon recoil force after a shot in the "hands-arms" system

Keywords: weapon recoil force, shooting, biophysics of shooting

УДК 681.5.017:623.443

МОДЕЛЬ ЕФЕКТУ ВІДДАЧІ ЗБРОЇ ПРИ ВИКОНАННІ ПОСТРІЛУ В СПОРТИВНІЙ СТРІЛЬБІ

С.В. Костішин
Аспірант
Кафедра проектування медико-біологічної апаратури
Вінницький національний технічний університет
вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021
Контактний тел.: 068-209-29-67, (0432) 598-123
E-mail: seruykost@rambler.ru

1. Вступ

Відомо, що істотний вплив на якість і влучність пострілу здійснює такий ефект як віддача зброї [1]. Віддача зброї являється негативним фактором при стрільбі, який погіршує прицілювання, здійснює вплив на психічний і фізичний стан стрілка, особливо початкового рівня. Одночасно, віддача має і позитивні сторони, оскільки вона в деякій мірі гасить імпульс сили, що формується зброєю внаслідок згорання вибухової речовини [1].

Слід зазначити, що сильний вплив на протікання ефекту віддачі здійснює позиція стрільби. Оскільки кількість таких позицій досить значна, то при моде-

люванні обмежимося лише стандартною позицією для спортивної стрільби з витягнутої руки.

2. Мета роботи

Метою роботи являється побудова структурної організації і математичної моделі ефекту віддачі, що дозволить:

- пояснити механізм появи ефекту віддачі та його розгортання з плином часу;
- визначити параметри, які здійснюють вплив на появу ефекту віддачі та провести їх класифікацію за ступенем значущості з метою подальшої імітації;
- розробити механізм, який би дозволяв попередньо оцінювати ефект віддачі і на основі цих даних забезпечувати підбір короткоствольної зброї [2];
- проаналізувати рух, який здійснює рука зі зброєю після пострілу, що дасть змогу оцінювати ефективність утримання зброї і правильність розподілу зусиль для кожної конкретної марки зброї [3].

3. Основний текст

Для побудови моделі ефекту віддачі необхідно пояснити його появу. Згорання вибухової речовини у набої приводить до появи порохових газів, які тиснуть не лише на кулю, проштовхуючи її по каналу ствола, а і на всю поверхню об'єму, яку вони займають. Тиск цей в однаковій мірі одночасно здійснюється і на гільзу, яка, залишаючись нерухомою, передає його на зброю, яку утримує стрілок.

Користуючись законами Ньютона, і визначивши, що імпульс сили, який діє на кулю, дорівнює імпульсу, що отримує сама зброя (віддача), можна записати:

$$\overrightarrow{P_{зб.}} + \overrightarrow{P_{к.}} = 0 \cdot$$

В момент, коли куля вилітає із дула пістолета, разом з нею канал ствола покидає певна кількість порохових газів, які теж надають додатковий реактивний імпульс зброї:

$$\overrightarrow{P_{зб.}} + \overrightarrow{P_{к.}} + \overrightarrow{P_{п.г.}} = 0,$$

де $P_{зб.}$ – імпульс зброї (віддача), $P_{к.}$ – імпульс кулі, $P_{п.г.}$ – імпульс порохових газів.

Враховуючи напрямки векторів:

$$\overrightarrow{P_{зб.}} = \overrightarrow{P_{к.}} + \overrightarrow{P_{п.г.}},$$

$$m_{зб.} \cdot \overrightarrow{\upsilon_{зб.}} = m_{к.} \cdot \overrightarrow{\upsilon_{к.}} + m_{п.г.} \cdot \overrightarrow{\upsilon_{п.г.}}, \quad (1)$$

де $m_{зб.}$ – маса зброї, $\overrightarrow{\upsilon_{зб.}}$ – швидкість віддачі, $m_{к.}$ – маса кулі, $\upsilon_{к.}$ – швидкість кулі, $m_{п.г.}$ – маса порохових газів, $\upsilon_{п.г.}$ – швидкість стоку порохових газів. Можна побачити, що швидкість, з якою буде рухатися зброя внаслідок віддачі залежить від параметрів набою та маси самої зброї.

Зміщення зброї залежить від значної кількості факторів, які можна згрупувати в три основні групи – це зовнішні фізичні, внутрішні психофізіологічні і технічні фактори. До першої категорії можна віднести положення зброї в просторі і характер її фіксації рукою (руками). Другу категорію складають психологічний рівень підготовки стрілка, сила утримання зброї в руці, кутова конфігурація згинів руки і т.д. І, нарешті, до третьої групи відносяться фактори, які безпосередньо стосуються зброї і набоїв – тип і кількість вибухової речовини, конструкція і сам тип зброї і т.д.

Ефект віддачі провокує складний рух в просторі і зброї, і руки, яка її утримує. Проаналізувавши цей рух можна зробити висновок про розвиток навичок утримання зброї.

Першою кінематичною ланкою, яка сприймає ефект віддачі є кисть руки – вона протидіє силі віддачі, але оскільки центр охоплення руків'я зброї знаходиться нижче і правіше осі, на якій діє сила віддачі, виникають пари сил, які і спричиняють зміщення зброї в просторі – сильно вгору і значно менше – вліво. Такий рух сприяє тому, що поштовх, який отримує зброя внаслідок пострілу сприймається стрільцем значно слабше.

На рис. 1 можна побачити механізм появи обертаючого руху, що виникає внаслідок дії пари сил, які складають вісь сили віддачі (вісь каналу ствола) і вісь сили протидії віддачі (вісь кисті руки). Взаємне розташування даних сил приводить до появи певного «важеля», який і зумовлює відведення просторового розміщення зброї назад, вверх і вліво. Можна побачити, що на формування пар сил значний вплив складає також конструкція короткоствольної вогнепальної зброї (КВЗ), а саме розміщення каналу ствола відносно руків'я. Чим менша величина плеча сили (відстань між осями), тим в більшій мірі віддача буде відчуватися як поштовх назад і в меншій мірі – як поштовх зброї вгору. Це в деякій мірі допомагає зберегти наведення зброї на мішень, але одночасно збільшує навантаження на руку стрільця, спричинюючи втому від тривалої стрільби.

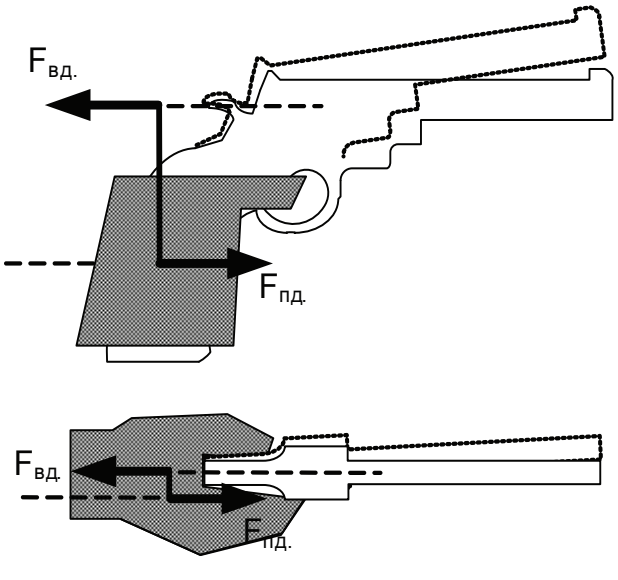

Рис. 1. Пари сил, які визначають напрямок зміщення короткоствольної зброї в просторі після пострілу

Необхідно зауважити, що віддача починає діяти тоді, коли куля ще знаходиться в стволі, а отже в мо-

мент виходу із ствола напрямок вісі зброї вже зміщений від початкового прицільного напрямку, що забезпечує виникнення кута вильоту.

Ефект віддачі, першопричина появи якого знаходить в зброї, проходить в залежності від багатьох сторонніх факторів, які знаходять поза самою зброєю.

Аналіз факторів, які здійснюють вплив на корегування ефекту віддачі дає можливість скласти схему структурно-функціональної організації моделі ефекту віддачі (рис. 2).

Оскільки причина виникнення віддачі – це зброя, саме наявність сили протидії – сили фіксації біомеханічної ланки руки (БМЛР) – спричинює вже знайомий обертальний рух. Всі інші групи факторів, що наведені на даній схемі являються лише параметрами, які «настроюють» даний рух.

На підготовчому етапі необхідно зібрати інформацію про зброю, з якої виконується постріл (масу, габаритні розміри, силу спуску, особливості конструкції, швидкість стоку газів, калібр ствола, технічний стан зброї) і набій, яким використовується (маса вибухової речовини і форма гранул, маса кулі, швидкість кулі) – технічні параметри.

Конструкція зброї (розміщення осі каналу ствола, зручність утримання руків'я зброї) відіграє важливу роль у протіканні ефекту віддачі і його сприйнятті

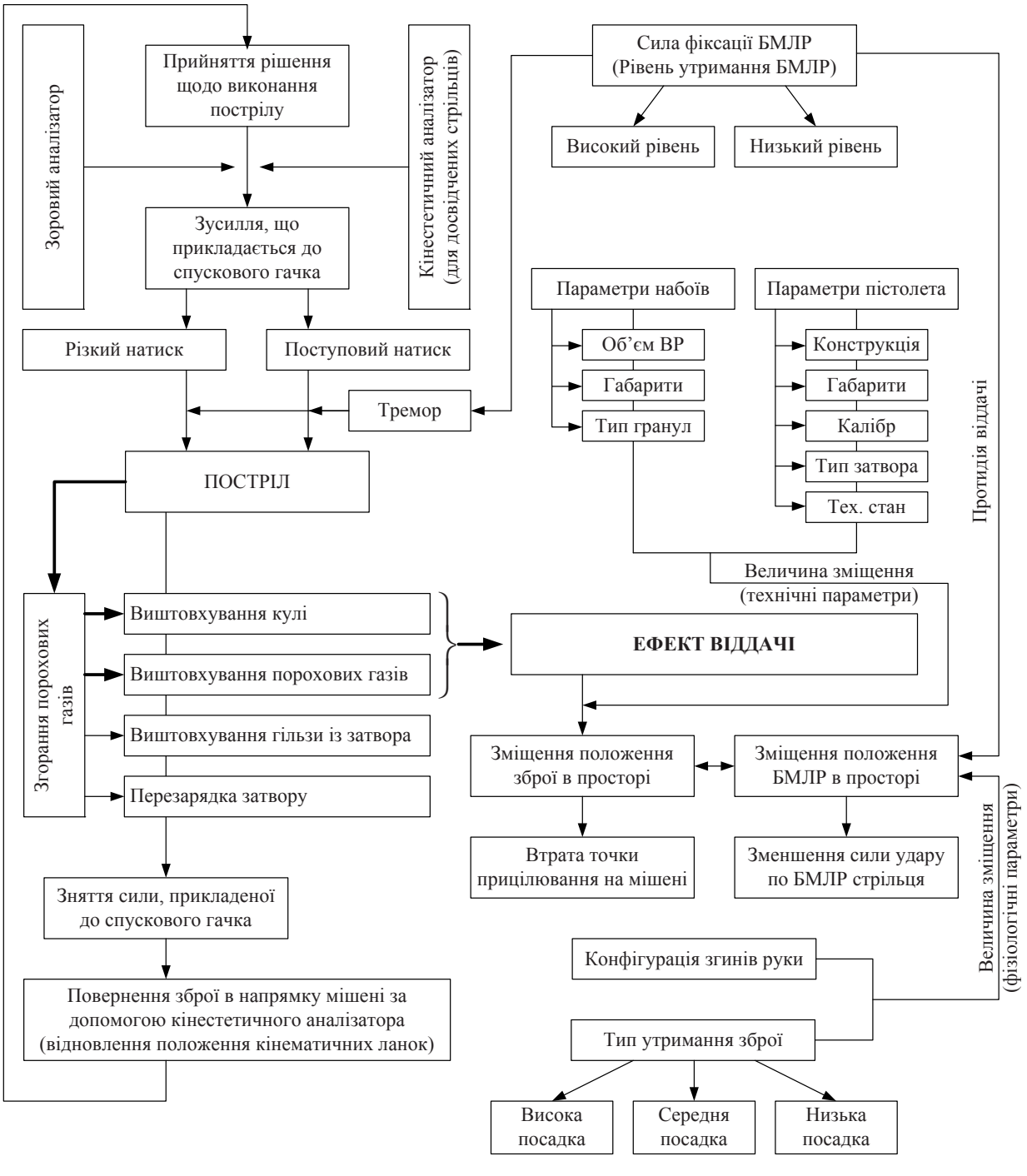

Рис. 2. Структурно-функціональна організація моделі ефекту віддачі при виконанні пострілу

стрільцем. При описі тієї чи іншої конструкції використовують такий параметр як стійкість зброї при стрільбі, яка, в свою чергу, залежить від співвідношення імпульсу віддачі і маси зброї. Орієнтовно стійкість можна оцінити як відношення дульної енергії до маси зброї.

В процесі пострілу значного впливу набувають і характерні особливості стрільби певного стрільця – характер спуску, тип утримання зброї в руці, силу фіксації кожного сегменту руки.

Аналіз даної схеми показав, що в моделі ефекту віддачі при виконанні пострілу буде дві складових: перша – технічна складова, яка пояснює появу обертального руху і описує поведінку зброї як ізольованого об'єкту без взаємодії і стрілком; друга складова – фізіологічна – описує вплив БМЛР на розгортання ефекту віддачі (вплив антропологічних параметрів стрілка).

При розробленні математичної моделі буде використовуватися припущення, що зброя в процесі руху під дією ефекту віддачі не виконує поступального руху, а здійснює лише обертальний рух у вертикальній площині навколо 3-х центрів, які відповідають кистьовому, ліктьовому і плечовому суглобам руки.

Крім цього, існує надзвичайно велика кількість способів виконання пострілу, тому необхідно накласти обмеження, що розроблювана модель буде справедлива лише для того випадку, коли прицільний пристрій КВЗ розташований на вісі «око-мішень», тобто такий спосіб передбачає наявність етапу прицілювання перед і після виконанням пострілу і відсікає всі інші способи, які базуються на швидкісній автоматичній стрільбі. Таким чином ми отримаємо досить обмежену кількість конфігурацій БМЛР стрілка.

Розглянемо частковий випадок утримання зброї (рис. 3), коли вона жорстко утримується в т. С (нерухома вісь обертання).

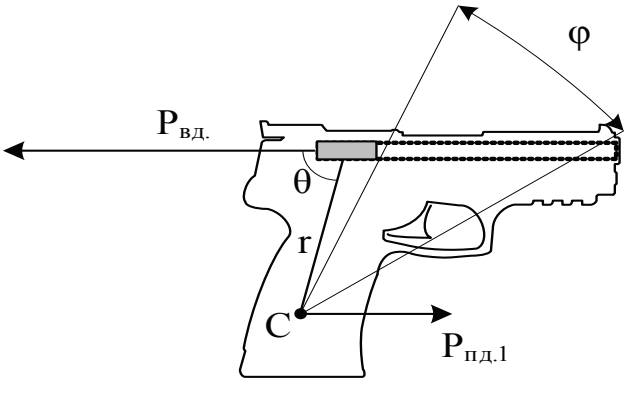

Рис. 3. Схема ефекту віддачі відносно нерухомої вісі (спрощений варіант)

Такий випадок можливий при використані лабораторних стендів для тестування зброї і в практичній стрільбі майже не зустрічається (за виключенням специфічний позицій стрільби з упору).

Момент імпульсу тіла може бути знайдений з наступного виразу:

$$L = \left|\bar{r} \cdot \bar{P}\right| = r \cdot P \cdot \sin\theta\,, \qquad (2)$$

де P – імпульс тіла, r – відстань до точки обертання, θ – кут між цими векторами.

З (1) ми можемо визначити значення імпульсу зброї як суму імпульсів кулі і порохових газів, тоді формула (2) прийме наступний вигляд:

$$L = r \cdot (m_{к.} \cdot \overrightarrow{\upsilon_{к.}} + m_{п.г.} \cdot \overrightarrow{\upsilon_{п.г.}}) \cdot \sin\theta \cdot \qquad (3)$$

Одночасно, момент імпульсу може бути виражений через момент інерції I і кутову швидкість ω:

$$L = I \cdot \omega\,. \qquad (4)$$

Кінетична енергія тіла (E), яке здійснює обертальний рух навколо нерухомої осі визначається за формулою:

$$E = \frac{I \cdot \omega^2}{2} = \frac{L \cdot \omega}{2} = \frac{L}{2} \cdot \frac{\varphi}{t}\,. \qquad (5)$$

$$\varphi = \frac{2E \cdot t}{L}\,. \qquad (6)$$

Підставивши (3) в (6) отримаємо:

$$\varphi = \frac{2E \cdot t}{r \cdot (m_{к.} \cdot \upsilon_{к.} + m_{п.г.} \cdot \upsilon_{п.г.}) \cdot \sin\theta}\,, \qquad (7)$$

де E – енергія, яку отримує зброя від згорання вибухової речовини набою, φ – кут зміщення зброї в вертикальній площині, t – проміжок часу дії імпульсу, θ – кут між вектором імпульсу і радіусом обертання, r – радіус обертання зброї, $m_{к.}$ – маса кулі, $\overrightarrow{\upsilon_{к.}}$ – швидкість кулі, $m_{п.г.}$ – маса порохових газів, $\overrightarrow{\upsilon_{п.г.}}$ – швидкість стоку порохових газів.

Таким чином, можна побачити, що всі ці параметри – суто технічні і залежать від характеристик набою і конструкції зброї – отже дана формула являться технічною складовою моделі ефекту віддачі при виконанні пострілу.

Вищенаведена формула (7) являється частинним випадком ефекту віддачі і справедлива для тіла, яке обертається навколо нерухомої вісі, що було б аналогічно КВЗ, яка жорстко закріплена за руків'я і здійснює обертання лише навколо вісі, що проходить перпендикулярно руків'ю. Цю формулу можна назвати технічною складовою математичної моделі віддачі.

Оскільки жодну зброю не можна вважати ізольованою системою, як це видно зі структурно-функціональної організації моделі ефекту віддачі (рис. 2), то необхідно ввести ще одну складову – фізіологічну, яка повинна описувати характер взаємодії стрілка з вогнепальною зброєю, а саме характер її утримання, конфігурацію згинів руки, позицію стрільби і т.д.

Таким чином, необхідно розшири дану модель для спрощеного часткового випадку, враховуючи те, що центр обертання не один, а три і вони знаходять поза тілом обертання (суглоби руки).

Сумарний кут повороту зброї внаслідок ефекту віддачі в такому випадку, враховуючи наявність трьох «шарнірних» з'єднань БМЛР, складатиме:

$$\varphi_{\Sigma} = \varphi_{лік.} + \varphi_{кист.} + \varphi_{пл.}\,.$$

Приймаючи відстані до об'єкту обертання (зброї) від кожного конкретного суглоба (r_1, r_2, r_3) і відповідні їм кути (θ_1, θ_2, θ_3) та ввівши коефіцієнт свободи кожної конкретної біомеханічної ланки в системі БМЛР K_i:

$$K_i = 0 \div 1,$$

$$\sum_{i=1}^{3} K_i = 1,$$

отримаємо:

$$\sum_{i=1}^{3} \varphi_i = \sum_{i=1}^{3} \left(K_i \frac{2E \cdot t}{\sin\theta_i \cdot r_i \cdot (m_{к.} \cdot \upsilon_{к.} + m_{п.г.} \cdot \upsilon_{п.г.})} \right),$$

або

$$\varphi_{\Sigma} = \frac{2E \cdot t}{(m_{к.} \cdot \upsilon_{к.} + m_{п.г.} \cdot \upsilon_{п.г.})} \cdot \sum_{i=1}^{3} \left(K_i \frac{1}{l_i} \right), \qquad (8)$$

де l_i – відстань по нормалі від суглобу до вісі «окомішень», на якій згідно поставленої умови повинен знаходитися прицільний пристрій КВЗ.

Дана модель (8) являється розширеною і такою, що моделює не лише власне ефект віддачі як технічне явище роботи зброї, а й її взаємодію з біомеханізмом – рукою стрілка (рис. 4), і показує безпосередній результат – кут в вертикальній площині, на який відхиляється вісь ствола КВЗ при стрільбі.

З вищенаведеної формули можна побачити, що кут φ в значній мірі залежить від l – фактично висоти каналу ствола відносно кожної кожного шарнірного елементу руки. Введений коефіцієнт К має складну природу і може базуватися лише на самооцінці самого стрілка, а тому він не може бути об'єктивним критерієм, що являється недоліком даної моделі.

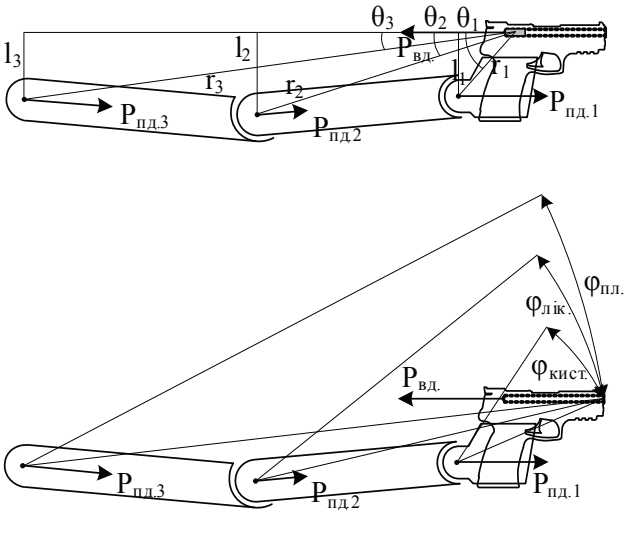

Рис. 4. Схема дії віддачі при взаємодії з БМЛР стрілка

Для дослідження запропонованої моделі можна взяти кілька граничних випадків.

1) $l_1 = l_2 = l_3 = 0$ і $K_1 = K_2 = K_3 = 1/3$. В такому випадку формула (8) розв'язку мати не буде, адже в такому випадку не буде пар сил, які виникають внаслідок пострілу, тому не буде існувати і рух зброї в просторі (кут φ=0), а всю силу віддачі буде перенесено безпосередньо на руку стрілка, що спричинить сильний ривок корпусу назад. Така манера стрільби являється надзвичайно невірною, оскільки може спричинити серйозну травму руки і непрогнозований рух зброї в площині пострілу. Тому наявність параметру l для кожного «шарніра» БМЛР являється необхідною умовою влучної стрільби.

2) $l_1 = l_2 = l_3 = \text{const}$ і $K_1 = 1$, $K_2 = K_3 = 0$. В такому випадку (8) зводиться до (7) і в цьому випадку ми розглядаємо систему в спрощеному вигляді, яка базується лише на єдиній осі обертання.

4. Висновки

Отже, згідно даної моделі для розробки модуля віддачі можна запропонувати наступні висновки:

- фактично кожен новий постріл буде спричиняти новий рух зброї, а значить і відповідний розкид куль. Тому при розробці модуля імітації віддачі для якомога більшої реалістичного ефекту необхідно імітувати не сам рух зброї, а ефект згорання вибухової речовини набою, а маса пістолета, його конструкція і тип утримання руків'я і інші параметри будуть забезпечувати реалістичне протікання ефекту віддачі при стрільбі.

- спрогнозувати кут відхилення зброї точно неможливо, оскільки в системі має місце взаємодія з біомеханічним об'єктом, для оцінювання робочої характеристики якого в моделі і був введений коефіцієнт К.

Література

1. Минин Р.А. Стрельба из пистолета / Р.А. Минин. – М. : Военное Издательство Министерства Обороны Союза ССР, 1954 г. – 68 с.
2. Пятков В.Т. Визначення та розробка модельних характеристик системи Стілець-зброя-мішень / В.Т. Пятков, Є.Я. Чапля // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і сорту. – Харків : ХХПІ. – 2000. – №20. – С. 3-7.
3. Метод та алгоритм аналізу і оцінювання траєкторії точки прицілювання / С.В. Костішин, С.М. Злепко, А.А. Шиян, М.В. Московко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 2/3 (50). – С. 68-72.