

## ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Ярошевича Миколи Павловича, завідувача кафедри „Обладнання лісового комплексу та теорія механізмів машин” Луцького національного технічного університету на дисертацію Петрученко Оксани Степанівни "Обґрунтування параметрів багатошарової захисної конструкції бойових машин на основі нелінійних математичних моделей", яка подана до спеціалізованої вченої ради Д 35.052.06 на здобуття наукового ступеня доктора філософії (кандидата технічних наук) за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

### **1. Актуальність теми дисертаційної роботи**

Забезпечення ефективного захисту бойових машин та людей від дії куль та осколків снарядів, гранат і мін противника завжди було важливим елементом підготовки матеріальної бази збройних сил. Дослідження, спрямовані на підвищення ефективності захисту, зокрема шляхом конструктивного вдосконалення, є важливою складовою військової науки. Особливої актуальності вони набувають сьогодні, на фоні збройного конфлікту та загроз на сході України. Незважаючи на значну кількість робіт, у яких розглядалась теорія удару тіл при великих швидкостях, комплексне аналітичне вивчення процесу взаємодії двох тіл не знайшло належного розвитку через складність процесу та труднощі його математизації. Саме розробленню аналітичного методу дослідження процесу взаємодії твердих тіл, з метою надання практичних рекомендацій, щодо вибору параметрів захисної конструкції, яка підвищить рівень захищеності об'єкту, є предметом розгляду дисертаційної роботи.

Тема дисертаційної роботи Петрученко О.С. присвячена розробці методики дослідженню і вивченню закономірностей взаємодії пластинчастих захисних конструкцій з елементами ураження (кулями, осколками), та встановленню на цій основі оптимальних, щодо захисних властивостей, параметрів багатошарової захисної конструкції є безумовно актуальною.

## **2. Аналіз структури та змісту дисертаційної роботи**

Основний зміст дисертаційної роботи викладений на 134 сторінках і складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел з 138 найменувань, 36 рисунків, 21 таблиць та 4 додатків. Загальний обсяг відповідає вимогам до кандидатських робіт.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, зазначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульовано мету та задачі досліджень, наведено наукову новизну та практичну цінність результатів роботи, представлено результати впровадження у виробництво та навчальний процес, вказано особистий внесок автора, подано інформацію про апробацію роботи.

У *першому розділі* (с. 20...34) здобувачем проведено аналіз стану наукових досліджень в галузі методів захисту військової техніки. Обґрунтовано необхідність пошуку нових підходів, щодо забезпечення захисту об'єкту від куль та осколків гранат і снарядів. Описано характерні випадки взаємодії елемента ураження з перешкодою. Для цього використовували поєднання емпіричних формул, диференціальних рівнянь, числових методів та експериментальних досліджень. Однак, вивчення проводились при суттєвих обмеженнях, носять вибіркового характеру і стосуються окремих етапів взаємодії твердих тіл.

Результати аналізу засвідчили необхідність послідовного дослідження всіх етапів взаємодії твердих тіл з врахуванням їх фізико-механічних та кінематичних параметрів на основі комплексного підходу до визначення структури та параметрів захисної конструкції.

На основі висновків першого розділу визначено напрямок подальших досліджень у дисертаційній роботі.

*Другий розділ* дисертації (с. 35...78) присвячений визначенню величини сили опору повітря рухові елемента ураження та дослідженню динаміки взаємодії елемента ураження з твердим тілом, на яке накладені геометричні обмеження.

Вказано, що функціональна залежність сили лобового опору повітря залежить від швидкості елемента ураження та має різні значення параметрів при надзвуковій та дозвуковій швидкостях. Значення отримані з використанням цієї залежності добре співпадають з результатами експериментальних досліджень і розбіжність між ними є в межах 1%.

Встановлено, що на початку етапу проникнення елемента ураження в перешкоду він намагається розташуватись перпендикулярно до поверхні перешкоди і його положення залежить від фізико-механічних характеристик їх матеріалів.

Здійснено кількісний аналіз взаємодії елемента ураження з рухомою, підпружиненою та нерухомою перешкодою. В результаті отримано, що у випадку застрягання кулі в тілі або його пробитті вплив сумарної жорсткості пружного шару на тривалість часу їх взаємодії, кінцеву швидкість перешкоди, її переміщення є несуттєвим. Досліджено, що елемент ураження найшвидше пробиває нерухомому тіло, потім – підпружинене і найдовше – вільне тіло. Суттєвий вплив на величину тиску пружного шару на нерухому поверхню має коефіцієнт нелінійної залежності між величиною сили пружності та деформацією пружного шару. Зменшення величини тиску пружного шару досягається при регресивній залежності між силою пружності та деформацією. У *третьому розділі* (с. 79...111) здобувачем продовжено теоретичні та експериментальні дослідження взаємодії елемента ураження з перешкодою.

Досліджено динаміку ударної взаємодії елемента ураження з металеву пластину (нерухомою та рухомою), коли має місце явище рикошету. Встановлено, що можливість переміщатись металевій пластині сприяє реалізації цього явища. Результати теоретичних досліджень були підтверджені полігонними випробуваннями. На яких досліджувались вплив жорсткого і підпружиненого типів кріплення елемента захисної конструкції та визначались межі кондиційного ураження за кутом зустрічі кулі з захисною пластину. Результати теоретичних та експериментальних досліджень

підтверджують раціональність використання підпружинення металевих пластин.

На основі теоретичних досліджень проведених в другому і третьому розділі та експериментальних результатів запропонована схема багатошарової захисної конструкції з рознесеними підпружиненими пластинами. Досліджувалась динаміка взаємодії елемента ураження з захисною конструкцією на основі математичної моделі. Встановлено, що впродовж взаємодії елемента ураження з передньою захисною пластиною інші пластини сили удару майже не сприймають. Хоча тривалість часу їх взаємодії становить мікросекунди однак пластина отримує скінченну швидкість, що сприяє зменшенню швидкості елемента ураження.

В *четвертому розділі* дисертаційної роботи (с. 112...137) на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень здійснено конструктивне вирішення питання двох шарової конструкції: з тиловим шаром, пружні властивості якого доцільно вибирати з регресивною залежністю між силою пружності шару та величиною його деформації; з рознесеними підпружиненими пластинами, розміщених під різними кутами.

Для конструкції з рознесеними пластинами: вказані зони захищеності та ураження об'єкту захисту; отримано аналітичну залежність для визначення довжини передньої захисної пластини, що сприяє підвищенню рівня захищеності об'єкту.

З метою визначення бажаної віддалі між рознесеними пластинами захисної конструкції досліджена динаміка вильоту кулі з передньої пластини захисної конструкції. Встановлено, що кутова швидкість нутації елемента ураження, після вильоту з пластини, залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу пластини та кута між напрямком швидкості кулі і поверхнею пластини. Збільшення кутової швидкості нутації елемента ураження сприяє рухові кулі у вигляді перекидання, що суттєво зменшує пробивну здатність її під час зіткнення з другою (тиловою) пластиною захисної конструкції.

З використанням теоретичних досліджень третього розділу побудована діаграми зони рикошету і зон застрягання та пробивання елементом ураження металевої перешкоди. Розглядалась ударна взаємодія куль випущених з СВД і АКМ об сталю захисну пластину марки «44» товщиною 2,65мм.

Дисертаційна робота завершується висновками та списком використаних джерел інформації.

В **додатках** (с. 154...160) представлені акти впровадження результатів дисертаційного дослідження та звіт про виконання експерименту.

### **3. Наукова новизна результатів дисертаційних досліджень.**

На основі аналізу матеріалів дисертаційної роботи можна відмітити новизну наступних результатів:

- досліджено динаміку багат шарової захисної конструкції з підпружиненими пластинами та встановлено взаємозв'язок між властивостями їх матеріалів та нелінійно-пружної взаємодії елементів конструкції, що дало можливість сформулювати математичну модель взаємодії елемента ураження з конструкцією;

- удосконалено методи розрахунку ударної взаємодії елемента ураження із захисною конструкцією та досліджено характеристики їх етапів (проникнення, пробиття і вильоту), що дало можливість обґрунтувати параметри захисної конструкції з рознесеними пластинами;

- враховано положення теорії непрямого пружного та пружно-пластичного удару для визначення геометричних і фізико-механічних параметрів двошарової захисної конструкції та встановлено вплив характеристик елемента ураження на етапі вильоту з першої пластини конструкції, що використовується при визначенні віддалі між рознесеними пластинами.

### **4. Практичне значення результатів роботи.**

Результати досліджень, що представлені в роботі полягає в тому, що: розроблена методика розрахунку і конструювання захисного спорядження, що спрощує процес його проектування, а це має важливе практичне значення.

доведені до практичної реалізації теоретичні положення роботи у вигляді нелінійних математичних моделей, які дозволяють визначити параметри захисної конструкції; запропоновано алгоритм визначення геометричних та фізико-механічних параметрів захисної конструкції з урахуванням як прямого, так непрямого ударів елементу ураження по ній, а також впливу пружних характеристик матеріалу, з якого вона виготовлена.

Ця методика розрахунку використана при проектуванні експериментального зразка конструкції та знайшла практичне застосування при проведенні проектно-конструкторських робіт зі створення нових колісних транспортних засобів спеціального призначення на Державному підприємстві «Київський бронетанковий завод», (акт впровадження від 03.02.2017 р.); використана у навчальному процесі Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів (акт впровадження від 07.07.2017 р.).

#### **5. Оцінка достовірності та обґрунтованість основних положень дисертації**

Достовірність отриманих наукових результатів забезпечена відомими та розробленими автором математичними залежностями, функціональність яких перевірена відповідними розрахунками, коректністю прийнятих фізичних припущень, використанням основних положень теорії удару, динаміки руху твердого тіла, теорії чисельних методів вирішення нелінійних задач, а також застосуванням програмних продуктів Mathcad. Крім того, має місце висока збіжність наукових результатів аналітичних з експериментальними дослідженнями.

Отже, ступінь обґрунтованості, достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, запропонованих автором, не викликає сумнівів.

#### **6. Аналіз публікацій дисертаційного дослідження**

Основні наукові положення дисертаційної роботи представлені у 23 наукових публікаціях: 10 статей в наукових фахових виданнях України (в тому числі 1 стаття у виданні, що входять до наукометричної бази РИНЦ), 4 патентах України. Внесок автора у підготовку публікацій, відображених у авторефераті, є визначальним.

## **7. Зауваження до дисертації та автореферату**

Разом з тим, у процесі ознайомлення із дисертаційною роботою та авторефератом виникли наступні зауваження:

- Не вказані межі зміни швидкості кулі стрілецької зброї в яких функціональна залежність сили лобового опору повітря має незначну розбіжність з експериментальними значеннями;
- Наведена формула лобового опору повітря рухові кулі і стверджується, що розбіжність між теоретичними значеннями та результатами експерименту становить менше одного відсотка, однак не вказано методи визначення параметрів  $\gamma_i$ , та  $\beta_i$ ;
- Не приведені масова оцінка запропонованої багатошарової захисної конструкції з рознесеними пластинами з використанням підпружиненого шару в конструкції між металевими пластинами, які розміщені під певними кутами;
- В авторефераті мають місце певні неточності чи описки.

Вказані зауваження не заперечують позитивному враженню від роботи, яка здійснена на належному рівні та не применшують загальної наукової та практичної цінності дисертаційної роботи.

## **8. Загальний висновок по дисертаційній роботі.**

8.1. Дисертаційна робота за змістом і обсягом проведених досліджень є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати в галузі наукових досліджень присвячених підвищенню захищеності об'єктів від дії елементів ураження.

Дисертантом розв'язана актуальна науково-технічна задача – обґрунтування параметрів багатошарової захисної конструкції. Отримані автором результати є новими, впроваджені у виробництво та навчальний процес.

8.2. Автореферат достатньо точно і повно відображає основні положення дисертаційної роботи, а його зміст є ідентичним зі змістом дисертації.

8.3. На основі наведеного, вважаю, що дисертаційна робота Петрученко О.С. "Обґрунтування параметрів багатошарової захисної

конструкції бойових машин на основі нелінійних математичних моделей" є завершеною самостійною науковою працею, яка відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12 "Порядку присудження наукових ступенів" та вимогам Департаменту атестації кадрів вищої кваліфікації та ліцензування Міністерства освіти і науки України до кандидатських дисертацій, а її автор Петрученко Оксана Степанівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії (кандидата технічних наук) за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Офіційний опонент доктор технічних наук,  
професор

М.П. ЯРОШЕВИЧ



" " 2018 р.

