

Рукопис надійшов: 04.08.2022

Статтю опубліковано: 30.10.2022

УДК 623.4

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266275

Визначення компонент структурно-автоматної моделі обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті осколково-пучковими снарядами направленої дії в серії з трьох пострілів на основі опорного графа станів

**В. В. Яковенко, Н. І. Фурманова, І. М. Флис, Ю. В. Щавінський,
О. Ю. Фарафонов, О. Ю. Малий, С. С. Самойлик**

Об'єктом дослідження виступає процес обстрілу одиночної цілі осколково-пучковими снарядами.

Вирішується проблема визначення компонент структурно-автоматної моделі шляхом створення графа станів і перехідів. Метою процесу є формування формалізованого вираження об'єкта дослідження у вигляді структурно-автоматної моделі процесу обстрілу рухомої броньованої машини серією з трьох пострілів осколково-пучковими снарядами направленої дії. Дана модель може бути в подальшому практично реалізована під час розробки новітніх зразків засобів вогневого впливу з метою зменшення внесення помилок на етапі системотехнічного проектування. Такий підхід дозволяє скоротити витрати на проектування та виробництво дослідних зразків до 25 %.

Представлено процес взаємопов'язаних між собою елементів складових системи з поетапним врахуванням усіх можливих варіантів його поведінки від моменту виявлення до відмови одиночної цілі у броньовому захисті виконувати завдання за призначенням. Виконання вогневого завдання розглядається як набір певних процедур, що характеризуються середнім значенням її тривалості. Вибухове руйнування корпусу кожного осколково-пучкового снаряду характеризується саморозповсюдженням реакції вибухових перетворень на основі табличних даних про бойову броньовану машину. Відповідні процедури (фази) обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті доцільно формалізувати для створення передумов отримання значення статистичного показника ефективності нанесення збитків цілі та дослідження подальших альтернативних варіантів цього процесу.

Для запропонованої структурно-автоматної моделі процесу обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті серією осколково-пучкових снарядів направленої дії було проведено валідацію та верифікацію, що продемонстрували збіг отриманих результатів більше 60 %. Використання запропонованих у роботі компонент структурно-автоматної моделі підвищує ймовірність виконання вогневого завдання для першого пострілу з 0,23 до 0,88, для другого – з 0,35 до 0,95, для третього – з 0,45 до 0,98.

Ключові слова: структурно-автоматна модель, обстріл одиночної цілі, осколково-пучкові снаряди уразливі відсіки, базова подія.

1. Вступ

Аналіз військових конфліктів у світі свідчить, що ураження переважної кількості цілей різних класів захищеності на полі бою (жива сила, бойові броньовані машини, фортифікаційні споруди) досягаються стрільбою снарядами комбінованого типу – осколково-фугасними (ОФС). Вони є боєприпасами мультицільового призначення і становлять основу боєкомплектів (б/к) артилерійських комплексів наземної артилерії, а також входять до складу б/к протитанкових і танкових гармат [1]. Однак дані снаряди мають ряд ключових недоліків, що фактично нівелюють можливість їх вдалого застосування, а саме:

- нераціональне використання осколкових потоків під час наземного розриву;
- матеріал корпусу (сталі типу С-60, 45Х1, тощо) має незадовільні осколкові характеристики;
- здатні уражати в основному лише незахищені та легкоброньовані цілі.

Проведений військовими спеціалістами аналіз застосування ОФС в локальних конфліктах засвідчив про недостатній рівень їхньої уражальної дії як основного типу боєприпасів по одиночних броньованих цілях типу «танк». Це призводило до збільшення витрат боєприпасів та збільшувало зношування стволів гармат.

У той же час, військовими аналітиками країни-агресора було проведено аналіз застосування збройних сил Російської Федерації у розв'язаних ними конфліктах останніх 30 років. Ними було визначено основні недоліки захищеності та комунікації бойових броньованих машин і живої сили. Це призвело до створення нових зразків бойових броньованих машин та індивідуального (бойового) екіпірування солдата з підвищеним рівнем захисту, зміною конструктивно-компонувальних та комунікаційних рішень. Як приклади, можна навести танк Т-14 «Армата», бойова машина піхоти (БМП), гусеничний бронетранспортер (БТР) «Курганец-25». Дані зразки побудовано за модульним принципом. Комбінована броня кераміки і сталі броньованих колісних машин «Тайфун» і «Бумеранг», та гусеничних бойових машин десанту (БМД-4М) і БТР-ів «Ракушка» здатні витримати вибух 5 кг тротилового еквіваленту. Разом з тим, заслуговує на увагу бронювання живої сили засобу індивідуального (бойового) екіпірування у вигляді комплекту «Ратник-3» [2].

Слід зауважити, що представлені зразки бойової техніки мають вагомі конструктивні рішення щодо підвищення бойових можливостей як озброєння і військової техніки (ОВТ) так і солдата на полі бою. Однак нічого у цьому світі не існує ідеального і має свою так звану «Ахіллесову п'яту» у вигляді так званих уразливих відсіків [3]. А тією гіпотетичною стрілою, що пронизує п'яту, може стати технічне рішення у вигляді ОФС направленої дії під назвою «осколково-пучковий снаряд» (ОПС) [4].

Недостатній рівень осколкового впливу ОФС спонукає до проведення дослідження, направлено на підвищення ефективності їх застосування забезпеченням направлено осколкового спектру мультицільового призначення керованим процесом вибухового руйнування їх корпусу. У світовій практиці є наступні традиційні шляхи вирішення такого роду завдання:

- зміна схеми навантаження корпусу існуючих снарядів та пошук нових конструктивних схем компонування ОФС;
- покращення характеристик осколкового поля ураження на підставі зміни хімічного складу сталей та їх механічних властивостей;
- проведення фундаментальних досліджень закономірностей процесів формування осколкового і фугасного полів ураження;
- закупівля високотехнологічних зразків зброї.

Втім, будь-яке з представлених рішень має три ключові обмеження: час, фінанси і залежність від виробників зброї інших держав. Адже держава, яка не має власного виробництва зброї, безнадійно приречена і завжди залежна від ризику витратити кошти для постійного її оновлення, поповнення та ремонту. Тому прогнозується, що раціональним втіленням наукової думки у метал може стати пошук шляхів поєднання керованого вибухового руйнування корпусів снарядів та відповідно їх осколковий вплив на одиночні цілі у броньовому захисті.

Реалізація такого рішення не лежить на поверхні, а ховається за глобальними концепціями у вигляді розгортання фінансово затратних розвідувально-ударних (вогневих) комплексів та систем. Однак, як засвідчує досвід військових конфліктів, сучасний стан речей диктує вимоги саме до мінімізованих, порівняно дешевих, ненаукоємних, але ефективних комплексів типу «засіб розвідки та наведення – гармата – снаряд».

Тому виникає необхідність у проведенні досліджень, що нададуть можливість розробки новітніх зразків засобів вогневого впливу з одночасним зменшенням внесень помилок на етапі системотехнічного проектування.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В роботі [5] розглядаються особливості цілевказування для визначення висоти цілі, але є більш актуальним для літальних апаратів. В [6] наведено результати досліджень процесу вибухового метання набору осколкових дисків, до цього ж питання звертаються у роботі [7], де приділяється окрема увага осколкам сферичної форми. Дані робіт [5–7] можуть бути враховані для уточнення результативності обстрілу снарядами певного типу. Ці роботи пов'язані з проектуванням боєприпасів традиційних моделей в цілому, особливостей фізичних процесів, пов'язаних із ними, але системне опрацювання питань, від початку планування кількості боєприпасів до їхнього безпосереднього практичного застосування не представлено.

Уражальні властивості осколково-фугасних снарядів розглянуті в роботі [2]. Проте основним недоліком осколково-фугасного снаряда є його мала бронепробивність, тому виникає необхідність підвищення точності потрапляння снарядів до області «уразливих відсіків». Дослідження осколкових властивостей вздовж осі металевої оболонки при вибуховому навантаженні проведено в роботі [8] і є цінним для розуміння принципів формування осколків бойової частини. В роботі [9] проведено моделювання процесу розподілу маси та швидкості осколкових дисків у просторі, а в [10] робиться спроба передбачити природне роздроблення зарядженої вибухом металевої оболонки. Теоретичну оцінку параметрів осколковості осколково-фугасних снарядів було зроблено в статті [11]. Праця [12] наводить до-

кладний опис боєприпасів та уражальної дії, яку вони чинять, а робота [13] розглядає вибухову дію снарядів циліндричної форми. Проте питання, підняті в цих роботах, не розглядалися у системотехнічному виді. Компонування результатів, отриманих в [8–13], із внесенням відповідних змін до процесу керування обстрілом, може сприяти підвищенню ефективності процесу обстрілу.

В роботі [14] було запропоновано модель, яка дає змогу оцінити летальний радіус (радіус ефективності) артилерійських снарядів проти людських цілей, але без урахування впливу на бойові броньовані машини. Результати досліджень вибухової дії набору осколкових дисків природного дроблення описані в статті [15], що було розвинуто в роботі [16], де розглядався вплив на біологічні об'єкти. Проте аналіз захисту цих об'єктів шляхом використання броньованих технологічних об'єктів не проводився. Аналіз результатів розповсюдження вибухової хвилі може бути виконаний на відповідному програмному забезпеченні [17, 18].

Існуючою незмінною концепцією створення сучасних бойових броньованих машин (ББМ) є можливість досягнення оптимального поєднання захищеності екіпажу з вогневими та маневреними можливостями. Так, в роботі [19] запропоновано методику визначення рівня бойової живучості броньованих колісних машин, а в [20] розглянуті властивості колісних та гусеничних бойових машин. Проте запропоновані в роботах [19, 20] підходи можуть бути розширені та доповнені.

В роботі [21] розглянуто технологічні та наукові проблеми, з якими стикаються розробники ББМ. Але для ефективної боротьби з даними ББМ залишаються незмінними дві основні умови:

- надійне руйнуванням корпусу ОПС;
- попадання осколків ОПС у одиночну ціль у броньовому захисті.

В даному контексті під ураженням необхідно розуміти нанесення збитків продуктами вибухового руйнування корпусу (ВРК) у вигляді «корисних осколків» ОПС, а саме їхнє потрапляння у приведені розміри уразливих відсіків ББМ [22]. Наприклад, типовими наслідками дії ОФС є детонування боєкомплекту ББМ та розсіювання їх фрагментів більше як на 50 м [23]. Але умовах високо урбанізованої місцевості це абсолютно не припустимо. Тоді як «скальпельна дія» ОПС повинна забезпечити нелетальність для цивільного населення та максимальне виведення з ладу вузлів та агрегатів. Це досягається ураженням окремих відсіків бойової броньованої машини з метою відмови її екіпажу від виконання бойового завдання.

Відомо, що бій ББМ у густонаселених районах є досить складним [24, 25], тому продовження пошуку більш оптимальних рішень є необхідним і не обмежується питаннями механічного ураження осколками різних видів снарядів. Так, в роботі [26] розглянуто практичні аспекти побудови розвідувально-ударної мережі на основі розвитку системи озброєння та військової техніки. Робота [27] надає обґрунтування перспектив розвитку засобів збройної боротьби загального призначення, а в [28] представлено метод оцінки якості військової техніки. В роботі [29] докладно описані тактика, прийоми і порядок роботи батареї польової артилерії. Безпека, надійність і ефективність програмованої системи підричника розглянуті в роботі [30]. Але в цих роботах [26–30] оцінка ефективності ураження здійснюється з боку тактики ведення бою та викорис-

тання спеціальної військової техніки в цілому. Питання розробки підходів до керування процесу обстрілу з точки зору нанесення уражень техніці супротивника залишається невирішеним.

Враховуючи весь наведений матеріал, можна сказати, що стрільба по рухомій одиночній цілі у броньовому захисті характеризується наступними чинниками:

- зміна безперервного положення ББМ (дальність і напрямок), що спонукає до вирішення задачі зустрічі з визначенням поправки на рух цілі;
- рух бойової броньованої машини, як правило, не рівномірний і не лінійний, тому розраховані поправки матимуть ряд помилок у порівнянні з істинними значеннями вимірних дальності і напрямку на ціль;
- вплив людського фактору на процес наведення, супроводження та пострілу по бойовій броньованій машині.

Втім, практичне використання різних засобів ураження диктує нові умови, що обумовлюють нерозривність зв'язку інтелектом людини та бойовими можливостями зброї. Світовими військовими теоретиками сучасності [31] окреслено як систему «людина – зброя». Оскільки сучасне озброєння та військова техніка, у переважній більшості, не здатні до самостійних дій, тому за ступінь ураження об'єкта (цілі) прийнято визначати втрату боєздатності живої сили.

Теоретична оцінка ураження об'єктів серією з трьох пострілів осколково-пучковими снарядами направленої дії надасть можливість формування формалізованого вираження об'єкта дослідження (процесу обстрілу) у вигляді структурно-автоматної моделі процесу обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті. Кількість пострілів обумовлюється значеннями тактичних нормативів стрільби протитанкових засобів на оцінку «задовільно». Так, стрільбу ведуть серіями швидкого вогню 2–4 снаряди на гармату на одній установці прицілу, що є особливістю витрат осколково-фугасних та осколково-пучкових снарядів.

Тому розробку теоретичних підходів для підвищення ефективності ураження противника шляхом підвищення ймовірності потрапляння ОФС та ОПС в уразливі відсіки можна розглядати як шлях до підвищення ефективності ураження та мінімізації часу на створення нових зразків засобів ураження цілей.

3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є пошук параметричних компонент структурно-автоматної моделі обстрілу, що безпосередньо впливають на ефективність ураження об'єктів серією з трьох пострілів осколково-пучковими снарядами направленої дії, на основі опорного графу станів. Це надасть можливість формування формалізованого вираження процесу обстрілу у вигляді структурно-автоматної моделі процесу обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті і зменшити час розробки нових зразків шляхом системотехнічного проєктування.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- сформулювати концептуальні рішення щодо представлення процесу обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті;
- провести валідацію дискретно-неперервної стохастичної моделі процесу обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті серією осколково-пучкових снарядів направленої дії;

– здійснити верифікацію структурно-автоматної моделі обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті осколково-пучковими снарядами направленої дії в серії з трьох пострілів.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єктом дослідження є процес обстрілу одиночної цілі осколково-пучковими снарядами.

Сутність запропонованого підходу полягає у визначенні компонент графу станів і переходів, а також можливих варіантів закінчення події. Подія – це одне із ключових понять системотехнічного моделювання, що описує процедуру її початком і закінченням. Для даного дослідження кожен постріл є серією з трьох подій, що складаються із визначеної послідовності процедур. Перша подія починається з появи цілі в зоні “підсвічування” і початку роботи літаючої платформи щодо передавання координат цілі для першого пострілу, а завершується отриманням повідомлення з координатами цілі. Друга подія полягає у переведенні осколково-пучкового снаряду з боеукладки в зарядну камору. Третя подія починається зі здійснення пострілу ОПС по рухомій цілі і завершується розривом ОПС на визначеній відстані до рухомої цілі. Застосування графу надає можливість формалізованого вираження об'єкта дослідження у вигляді структурно-автоматної моделі процесу обстрілу рухомої броньованої машини серією з трьох пострілів осколково-пучковими снарядами направленої дії. Оцінку ефективності такого підходу було проведено в програмному забезпеченні ASNA (Україна).

5. Результати дослідження процесу обстрілу одиночної цілі на основі опорного графа станів

5.1. Концептуальні рішення щодо представлення процесу обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті

Характеристики уражальної дії боеприпасів [32] є вихідними даними для оцінювання ефективності їх застосування. Так, під час ВРК їх корпусів на осколки різноманітних фракцій створюється біомеханічні ураження (поранення і контузії) та психологічний вплив на живу силу у броньовому захисті (ЖСБЗ). Адже інстинкт самозбереження змушує солдата противника залишати своє місце на бойовій позиції, припиняти протидію і займати укриття під час вогневого нальоту. Втім, деяка частина ураженої живої сили здатна перебороти стрес та відновити втрачену боєздатність безпосередньо на полі бою.

На сьогодні екіпірування солдата досягла таких значень, що солдат у бою може розглядатися як розвідувально-вогнева система через наявність оптико-електронного спорядження засобів вогневої підтримки, що прирівнює одиницю живої сили до броньованої цілі.

Умови ведення бойових дій «середньої ефективності» вимагають від солдата активності протягом трьох діб [33, 34]. Відповідно вага носимого спорядження та індивідуального (бойового) екіпірування має бути адекватною до вимог. Штатне американське бойове екіпірування становить 34 кг, аналогічне виробництва ФРН у межах 35 кг, а російського походження «Ратник-3» у поєднанні з так званім «тактичним оснащенням» не перевищує 24 кг [35, 36] (табл. 1).

Таблиця 1

Співвідношення захисних елементів індивідуального (бойового) екіпірування до уразливих відсіків солдата

№ з/п	Захисні елементи	Тактичне оснащення як уразливі відсіки
1	Бронешолом 6Б47	Стрілецька зброя та боєприпаси до неї
2	Бронежилет 6Б45	Денно-нічний прицільного комплексу
3	Захисні окуляри	Оптико-електронний прилад розвідки
4	Комплект захисту ліктьових та колінних суглобів	Уніфікований оптичний і тепловізійний приціл
5	Гарнітура з активною системою захисту органів слуху	Малогабаритний бінокль
6	–	Бойовий комбінезон

Аналіз табл. 1 свідчить про намагання розробників індивідуального (бойового) екіпірування балансувати між насиченням солдата електронними засобами та вибірковістю його бронювання у вигляді «життєво важливих частин тіла» [33, 34]. Це спонукає виробників до розробки нових засобів захисту. Адже з одного боку руйнування елементів тактичного оснащення дезорієнтує солдата на полі бою, а з іншого попадання «корисного осколка» у так звану «не життєво важливу частину тіла» не гарантує виживання військовослужбовця [37]. Так, у випадку проникнення осколка-ембола через одну із стінок нижньої половини вени з током крові відбувається його міграція до серця. На міграцію «корисного осколка» може вплинути [35]:

- інтраваскулярний гідростатичний тиск;
- дія гравітаційних сил;
- розташування тіла солдата під час поранення;
- судинна анатомія;
- нерівномірність співвідношення захищених ділянок тіла до незахищених;
- скорочення м'язових масивів та дихальної екскурсії грудної клітини після отримання поранення.

Під час проведеного дослідження встановлено, що нерівномірність співвідношення захищених ділянок тіла одиночної ЖСБЗ до незахищених може становити від 30 % до 50 %. У положенні стоячи та лежачи відсоток незахищених ділянок ураження наступний: фронтальна проекція становить 20–30 %; тильна – 70–80 %; бічна до 90 %.

В залежності від розташування ЖСБЗ від дистанційного вибухового руйнування корпусу ОПС, осколкова дія не однорідна. Вона характеризується пробивною здатністю уразливих відсіків, залежною від маси та швидкості «корисних осколків» в момент їх зустрічі з перешкодою для спрощення розрахунків уразливі відсіки поділено на дві групи:

- виведення з ладу окремо взятого уразливого відсіку (опорно-рухомий апарат, кінцівки, частини корпусу, обладнання тощо).
- ураження так званої комбінації уразливих відсіків призводить до відповідного нанесення збитків.

Тому процес моделювання обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті направлений на оцінку ступеня можливих ушкоджень уразливих відсіків цілі

«корисними осколками». Адже тяжкість поранення в цілому залежить від балістичних характеристик елементів ураження у вигляді «корисних осколків» з подальшим визначенням їх кінетичної енергії, форми, пробивної здатності та фізичних властивостей пошкоджених тканин [35] або відсіків.

Безпосередньо процес обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті базується на розробці графа станів і переходів з необхідним формуванням формалізованого вираження об'єкта дослідження у вигляді структурно-автоматної моделі (САМ) (табл. 2). Хоча для компактного представлення САМ можливе об'єднання ситуацій і компонент за чіткими правилами, але в даній роботі автори не вбачають необхідності проведення відповідної маніпуляції.

Визначені компоненти САМ занесені до табл. 2, що відповідає формі діалогового вікна програмного засобу ASNA [38, 39].

Хоча з метою надійнішого проєктування технічних комплексів та систем можуть бути застосовані такі програмні засоби, як RELEX (США), ITEM Software (Великобританія), ISOGRAPH (Великобританія), вони здійснюють обчислення на основі марковського аналізу [40]. Для цього перелічені програмні засоби містять відповідні аналітичні модулі, де об'єкт, що досліджується, представляють у вигляді дискретно-неперервної стохастичної системи марковського типу. Також може бути застосована матриця інтенсивностей переходів марковського процесу, що є однорідним у часі. В обох випадках модель або матриця мають бути подані у вигляді графу станів і переходів, що є складною неформалізованою задачею. Недоліком такого підходу є можливість внесення помилок користувачем через недостатність досвіду та необ'єктивність оцінювання, а також значні витрати часу.

З іншого боку, програмний засіб ASNA використовує структурно-автоматну модель, що надає можливості автоматизувати побудову графу станів та переходів. Як наслідок, це призводить до значного зниження кількості помилок та часових витрат. Саме тому для проведення розрахунків дослідження було обрано програмне забезпечення ASNA. Додатковою перевагою такого вибору є наявність більшої кількості дискретних варіантів довірчого інтервалу.

Докладний опис понять «базова подія» та формул розрахунку був наведений у роботі [41].

В табл. 2 формалізовано представлено процес стрільби осколково-пучковим снарядом у вигляді структурно-автоматної моделі, де наведені базові події, формули розрахунку інтенсивності переходів із одного стану в інший та правила модифікації компонент вектору стану.

Компоненти, що застосовуються у даній структурно-автоматній моделі, наступні:

- приймання повідомлень з координатами та характеристикою цілі для 1-го ОПС ($V1$);
- варіант ініціювання вибухового руйнування корпусу першого осколково-пучкового снаряду на встановленій відстані до цілі ($V2$);
- варіант нанесення збитків «корисними осколками» першого ОПС уразливим відсікам ($V3$);

- приймання повідомлень з координатами та характеристикою цілі для другого ОПС (V4);
- варіант ініціювання ВРК другого осколково-пучкового снаряду на встановленій відстані до цілі (V5);
- варіант нанесення збитків ц “корисними осколками” другого ОПС уразливим відсікам (V6);
- приймання повідомлень з координатами та характеристикою цілі для третього ОПС (V7);
- варіант ініціювання ВРК третього осколково-пучкового снаряду на встановленій відстані до цілі (V8);
- варіант нанесення збитків “корисними осколками” третього ОПС уразливим відсікам (V9).

Таблиця 2

Фрагмент структурно-автоматної моделі процесу обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті осколково-пучковими снарядами направленої дії у серії з трьох пострілів

Базова подія	Формалізований опис ситуацій, в яких відбуваються базові події	Формули розрахунку інтенсивності переходів	Правила модифікації компонент вектору стану
1БП1 ЗвБП2 ЗвБП3	Ситуація 1 для БП1 (V1=0) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=0) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0)	$\frac{1}{t_{1\phi}} P_{уп1} P_{р1} P_{нз1}$	V1:=1; V2:=1; V3:=1
		$\frac{1}{t_{1\phi}} 1 - P_{уп1}$	V1:=2
		$\frac{1}{t_{1\phi}} P_{уп1} 1 - P_{р1} P_{нз1}$	V1:=1; V2:=2; V3:=1
		$\frac{1}{t_{1\phi}} P_{уп1} P_{р1} 1 - P_{нз1}$	V1:=1; V2:=1; V3:=2
		$\frac{1}{t_{1\phi}} P_{уп1} 1 - P_{р1} 1 - P_{нз1}$	V1:=1; V2:=2; V3:=2
...			
31БП7 ЗвБП8 ЗвБП9	Ситуація 25 для БП7 (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=1) AND (V5=2) AND (V6=2) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0)	$\frac{1}{t_{3\phi}} P_{уп3} P_{р3} P_{нз3}$	V7:=1; V8:=1; V9:=1
		$\frac{1}{t_{3\phi}} 1 - P_{уп3}$	V7:=2
		$\frac{1}{t_{3\phi}} P_{уп3} 1 - P_{р3} P_{нз3}$	V7:=1; V8:=2; V9:=1
		$\frac{1}{t_{3\phi}} P_{уп3} P_{р3} 1 - P_{нз3}$	V7:=1; V8:=1; V9:=2
		$\frac{1}{t_{3\phi}} P_{уп3} 1 - P_{р3} 1 - P_{нз3}$	V7:=1; V8:=2; V9:=2

Гіпотетичне уявлення про процес нанесення збитків одиночній цілі у броньовому захисті в серії з трьох пострілів ОПС ґрунтується на здатності достовірного прогнозування та відображення початку та кінця часового інтервалу для певного стану системи у дискретно-неперервному процесі.

Ключова складова прогнозованого процесу нанесенням збитків уразливим відсікам цілі «корисними осколками» відтворюється у вигляді графа станів і переходів, а також можливих варіантів закінчення події.

Метою процесу створення графа станів і переходів є формування формалізованого вираження об'єкта дослідження у вигляді структурно-автоматної моделі процесу обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті серією з трьох пострілів осколково-пучковими снарядами направленої дії. Розроблена модель в подальшому може використовуватись під час розробки новітніх зразків засобів вогневого впливу з метою зменшення внесення помилок на етапі системотехнічного проектування.

5. 2. Валідація запропонованої дискретно-неперервної стохастичної моделі

В основу методу валідації структурно-автоматної моделі процесу обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті серією осколково-пучкових снарядів направленої дії покладено принцип звіряння графів: тестового та отриманого на основі структурно-автоматної моделі. Для виявлення помилок в структурно-автоматній моделі, безпосереднє звіряння обох графів виконується в три етапи:

- на першому етапі звіряються безпосередньо вектори станів;
- на другому етапі звіряються переходи між станами;
- на третьому етапі звіряються значення інтенсивності переходів.

Встановлений порядок звіряння дозволяє прискорити локалізацію помилок і, відповідно, зменшити затрати часу на їх пошук і виправлення.

На рис. 1 представлено граф станів і переходів, а на рис. 2 – його представлення, побудоване програмним продуктом *ASNA* на основі закладених вхідних даних.

У якості вихідних даних були задані:

- ймовірність успішної передачі інформації про ББМ для стрільби (P_{up});
- ймовірність вибухового руйнування корпусу (P_r);
- ймовірність успішного нанесення збитків корисними осколками (P_{nz});
- тривалість фаз (T).

Фактичний зміст компонент векторів V_1, \dots, V_9 докладно описано авторами у роботах [41, 43].

Для боєприпасу ще у процесі розробки можна здійснити оцінку ефективності на полі бою, що неможливо здійснити у конструкторських організаціях без системотехнічного проектування.

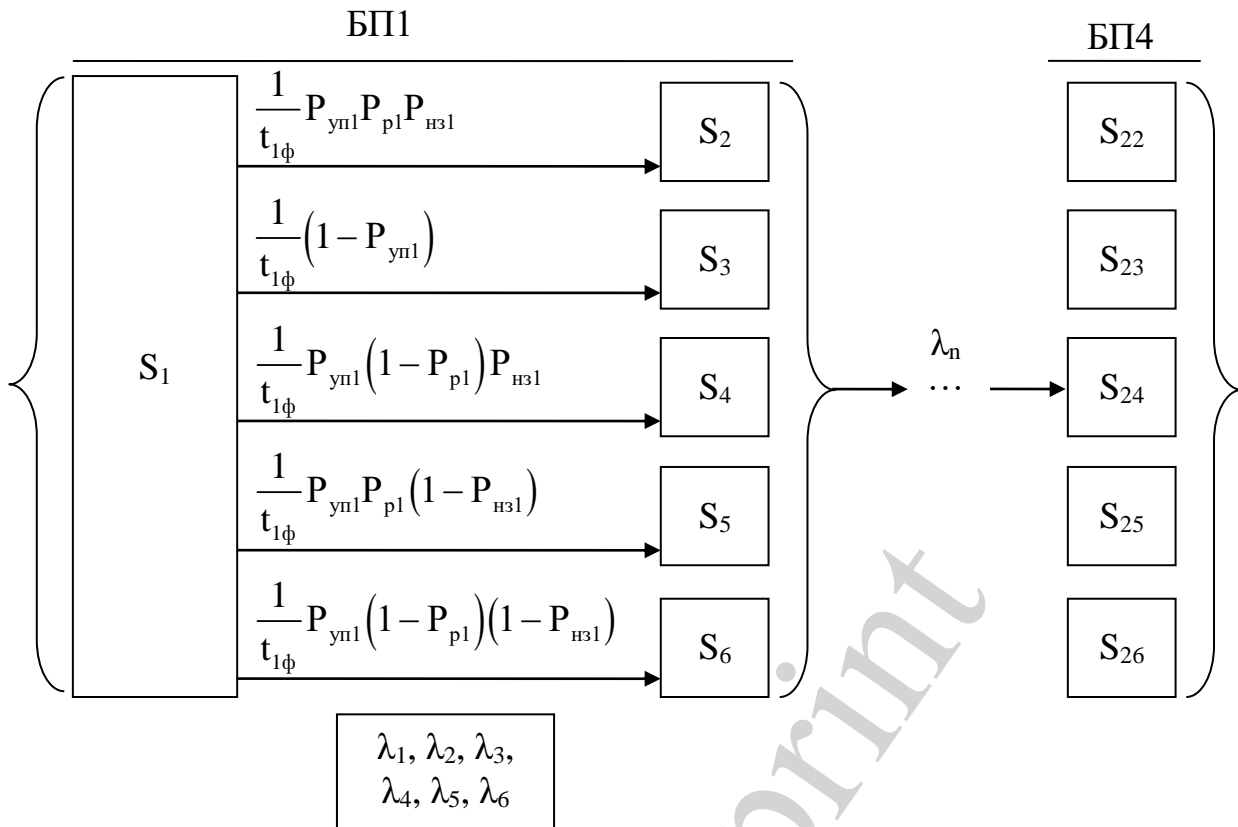


Рис. 1. Граф станів та переходів: БП – комплекс базових подій; S_n – базова подія; $P_{\text{уп}}$ – ймовірність успішного приймання в гарматі повідомлень з координатами та характеристикою цілі; $P_{\text{нз}}$ – ймовірність нанесення збитків “корисними осколками” снаряду в уразливій відсіці цілі у броньовому захисті; $P_{\text{уз}}$ – ймовірність успішного заряджання снарядів

```
ASNA 2000 v1.1 - [монтаж2.apf]
Project Output Help
Input Output
Debug Vectors and Matrices
Initializing...
Processing constants.
Pup1=0.9
Pup2=0.9
Pup3=0.9
Pr1=0.8
Pr2=0.8
Pr3=0.8
Pnz1=0.5
Pnz2=0.5
Pnz3=0.5
T1=19
T2=19
T3=19
Processing vectors.
V1=0
V2=0
V3=0
V4=0
V5=0
V6=0
V7=0
V8=0
V9=0
```

а

```
ASNA 2000 v1.1 - [монтаж2.apf]
Project Output Help
Input Output
Debug Vectors and Matrices Graph
Initial vector state.
V1=0; V2=0; V3=0; V4=0; V5=0; V6=0; V7=0; V8=0; V9=0
Processing states.
Vector states.
1 : V1=0; V2=0; V3=0; V4=0; V5=0; V6=0; V7=0; V8=0; V9=0
2 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=0; V5=0; V6=0; V7=0; V8=0; V9=0
3 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=0; V5=0; V6=0; V7=0; V8=0; V9=0
4 : V1=1; V2=2; V3=1; V4=0; V5=0; V6=0; V7=0; V8=0; V9=0
5 : V1=1; V2=1; V3=2; V4=0; V5=0; V6=0; V7=0; V8=0; V9=0
6 : V1=1; V2=2; V3=2; V4=0; V5=0; V6=0; V7=0; V8=0; V9=0
7 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=1; V6=1; V7=0; V8=0; V9=0
8 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=2; V5=0; V6=0; V7=0; V8=0; V9=0
9 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=2; V6=1; V7=0; V8=0; V9=0
10 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=1; V6=2; V7=0; V8=0; V9=0
11 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=1; V6=2; V7=0; V8=0; V9=0
12 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=1; V6=1; V7=0; V8=0; V9=0
13 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=2; V5=0; V6=0; V7=0; V8=0; V9=0
14 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=2; V6=1; V7=0; V8=0; V9=0
15 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=1; V6=2; V7=0; V8=0; V9=0
16 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=2; V6=2; V7=0; V8=0; V9=0
17 : V1=1; V2=2; V3=1; V4=1; V5=1; V6=1; V7=0; V8=0; V9=0
18 : V1=1; V2=2; V3=1; V4=2; V5=0; V6=0; V7=0; V8=0; V9=0
19 : V1=1; V2=2; V3=1; V4=1; V5=1; V6=1; V7=0; V8=0; V9=0
20 : V1=1; V2=2; V3=1; V4=1; V5=1; V6=2; V7=0; V8=0; V9=0
21 : V1=1; V2=2; V3=1; V4=1; V5=1; V6=2; V7=0; V8=0; V9=0
22 : V1=1; V2=1; V3=2; V4=1; V5=1; V6=1; V7=0; V8=0; V9=0
23 : V1=1; V2=1; V3=2; V4=1; V5=2; V6=1; V7=0; V8=0; V9=0
24 : V1=1; V2=1; V3=2; V4=1; V5=1; V6=1; V7=0; V8=0; V9=0
25 : V1=1; V2=1; V3=2; V4=1; V5=1; V6=2; V7=0; V8=0; V9=0
26 : V1=1; V2=1; V3=2; V4=1; V5=2; V6=2; V7=0; V8=0; V9=0
27 : V1=1; V2=1; V3=2; V4=1; V5=1; V6=1; V7=0; V8=0; V9=0
28 : V1=1; V2=2; V3=2; V4=1; V5=0; V6=0; V7=0; V8=0; V9=0
29 : V1=1; V2=2; V3=2; V4=1; V5=1; V6=1; V7=0; V8=0; V9=0
30 : V1=1; V2=2; V3=2; V4=1; V5=1; V6=2; V7=0; V8=0; V9=0
31 : V1=1; V2=2; V3=2; V4=1; V5=2; V6=2; V7=0; V8=0; V9=0
32 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=1; V6=1; V7=1; V8=0; V9=0
33 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=1; V6=1; V7=1; V8=1; V9=2
34 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=1; V6=1; V7=1; V8=2; V9=2
```

б

```
ASNA 2000 v1.1 - [монтаж2.apf]
Project Output Help
Input Output
Debug Vectors and Matrices Graph
35 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=2; V5=0; V6=0; V7=1; V8=1; V9=1
36 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=2; V5=0; V6=0; V7=2; V8=0; V9=0
37 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=2; V5=0; V6=0; V7=1; V8=2; V9=1
38 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=2; V5=0; V6=0; V7=1; V8=1; V9=2
39 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=2; V5=0; V6=0; V7=1; V8=2; V9=2
40 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=2; V6=1; V7=2; V8=0; V9=0
41 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=2; V6=1; V7=1; V8=1; V9=2
42 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=2; V6=1; V7=1; V8=2; V9=2
43 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=1; V6=2; V7=1; V8=1; V9=1
44 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=1; V6=2; V7=2; V8=0; V9=0
45 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=1; V6=2; V7=1; V8=2; V9=1
46 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=1; V6=2; V7=1; V8=1; V9=2
47 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=1; V6=2; V7=1; V8=2; V9=2
48 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=2; V6=2; V7=1; V8=1; V9=1
49 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=2; V6=2; V7=2; V8=0; V9=0
50 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=2; V6=2; V7=1; V8=2; V9=1
51 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=2; V6=2; V7=1; V8=1; V9=2
52 : V1=1; V2=1; V3=1; V4=1; V5=2; V6=2; V7=1; V8=2; V9=2
53 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=1; V6=1; V7=1; V8=1; V9=1
54 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=1; V6=1; V7=2; V8=0; V9=0
55 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=1; V6=1; V7=1; V8=2; V9=1
56 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=1; V6=1; V7=1; V8=1; V9=2
57 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=1; V6=1; V7=1; V8=2; V9=2
58 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=2; V5=0; V6=0; V7=1; V8=1; V9=1
59 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=2; V5=0; V6=0; V7=2; V8=0; V9=0
60 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=2; V5=0; V6=0; V7=1; V8=2; V9=1
61 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=2; V5=0; V6=0; V7=1; V8=1; V9=2
62 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=0; V6=0; V7=1; V8=2; V9=2
63 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=2; V6=1; V7=1; V8=1; V9=1
64 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=1; V6=1; V7=2; V8=0; V9=0
65 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=2; V6=1; V7=1; V8=2; V9=1
66 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=2; V6=1; V7=1; V8=1; V9=2
67 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=2; V6=1; V7=1; V8=2; V9=2
68 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=1; V6=2; V7=1; V8=1; V9=1
69 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=1; V6=2; V7=2; V8=0; V9=0
70 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=1; V6=2; V7=1; V8=2; V9=1
71 : V1=2; V2=0; V3=0; V4=1; V5=1; V6=2; V7=1; V8=1; V9=2
```

в

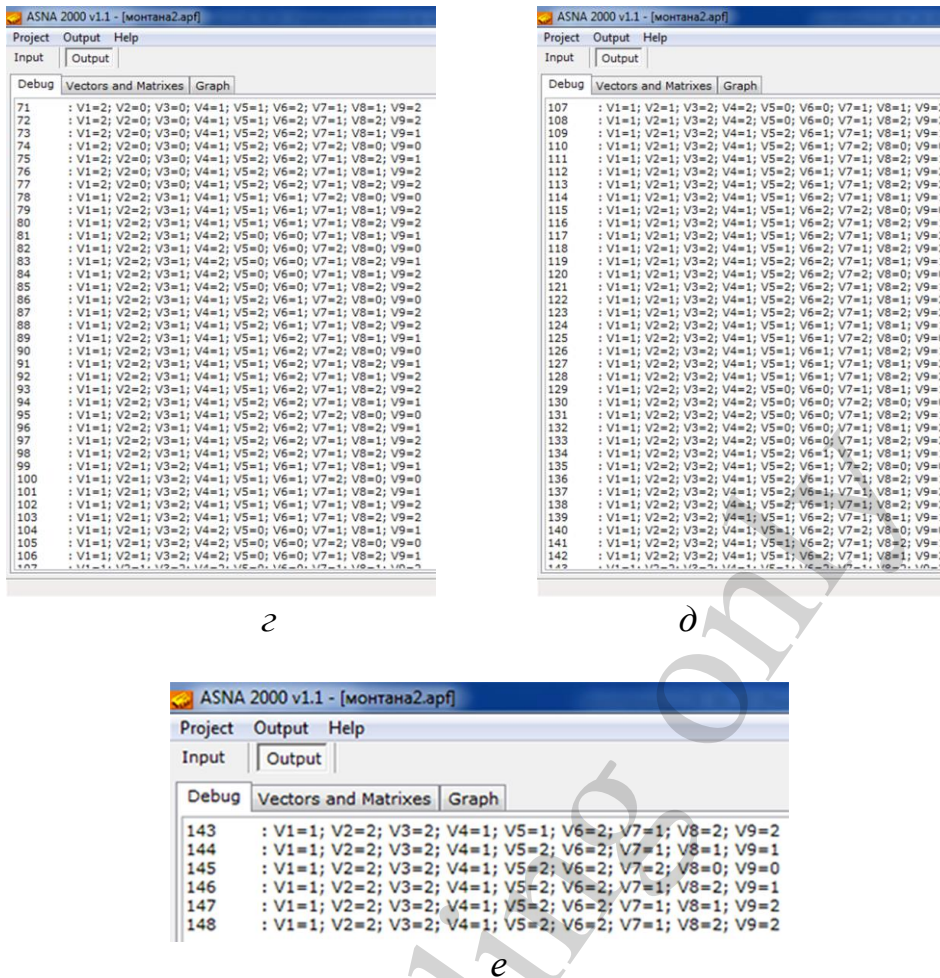


Рис. 2. Представлення графу станів і переходів у програмному продукті ASNA (Україна): а – введення компонент початкового вектору станів; б–е – визначення кількості варіантів розвитку подій відповідно до можливих комбінацій варіантів значень компонент

Було проаналізовано отриманий граф станів і переходів процесу функціонування нанесення збитків уразливим відсікам одиночній цілі у броньовому захисті «корисними осколками» ОПС у серії з трьох пострілів. Аналіз показав, що отриманий граф (рис. 1) у повній мірі відповідає розробленому авторами графу станів і переходів [41]. Отже, в результаті звіряння векторів станів, переходів між станами та значень інтенсивності переходів, можливо зробити висновок про відсутність як концептуальних, так і локальних помилок. Докладний опис алгоритму обробки отриманих даних являє собою значний масив даних і буде представлений у наступній роботі, що буде завершенням дослідження, розпочатого авторами у роботах [41, 43] та даній роботі. Так, в роботі [41] наведені загальні поняття про базові події та особливості побудови графу станів та переходів для моделювання процесу обстрілу. В даній роботі представлено опис подій та показано, як здійснюється їх обробка у програмному забезпеченні ASNA, а в наступній статті планується представлення та обґрунтування вибору оптимально-необхідних варіантів подій.

Таким чином, валідація дискретно-неперервної стохастичної моделі процесу обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті серією осколково-пучкових снарядів направленої дії підтверджує дієвість структурно-автоматної моделі, фрагмент якої представлено в табл. 2. Більш широкий її опис включає 153 формул рівнянь Колмогорова-Чепмена та близько 140 подій, що виникають. Така модель може використовуватись для дослідження процесу функціонування нанесення збитків уразливим відсікам бойової броньованої машини «корисними осколками» осколково-пучкових снарядів направленої дії у серії з трьох пострілів.

5. 3. Верифікація структурно-автоматної моделі обстрілу

Для прогнозування успішності моделі можуть застосовуватись різні підходи та концепції [41, 42]. В роботі межі допустимих можливостей артефактів стохастичної моделі мають логічні окреслення. А саме, у випадку недостатньої ефективності підсистем [43] прогнозовано матимемо зниження загальної ймовірності нанесення збитків уразливим відсікам одиночної цілі у броньовому захисті, що відповідає виконанню вогневого завдання ПАГ.

Припустимо, що вхідні величини (рис. 3) прогнозовано задовольняють вимогам щодо можливого ступеня нанесення збитків уразливим відсікам одиночної цілі у броньовому захисті «корисними осколками» ОПС у серії з трьох пострілів.

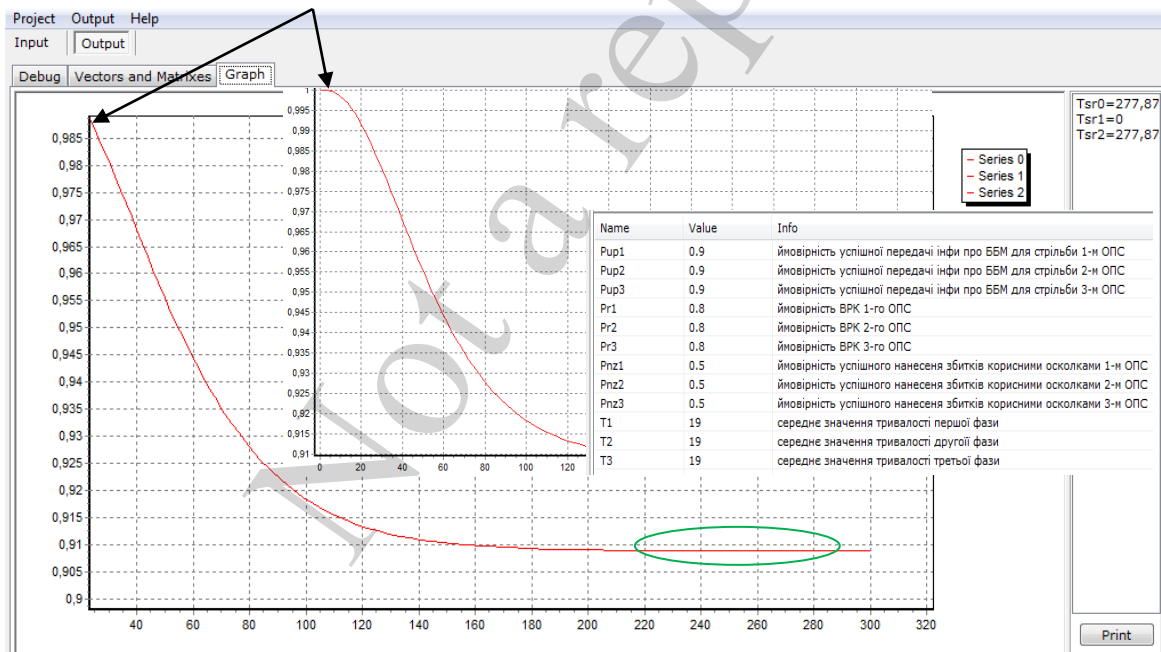


Рис. 3. Результат опрацювання програмним продуктом ASNA вхідних величин стохастичної моделі нанесення збитків уразливим відсікам одиночної цілі у броньовому захисті «корисними осколками» осколково-пучкових снарядів у серії з трьох пострілів

Тоді імовірність виконання бойового завдання згідно з даними програмного продукту ASNA становитиме близько 10 % (рис. 4). Даний результат означає, що згідно з наведеними вхідними величинами імовірність нанесення збитків у серії з трьох осколково-пучкових снарядів буде максимально далека від одини-

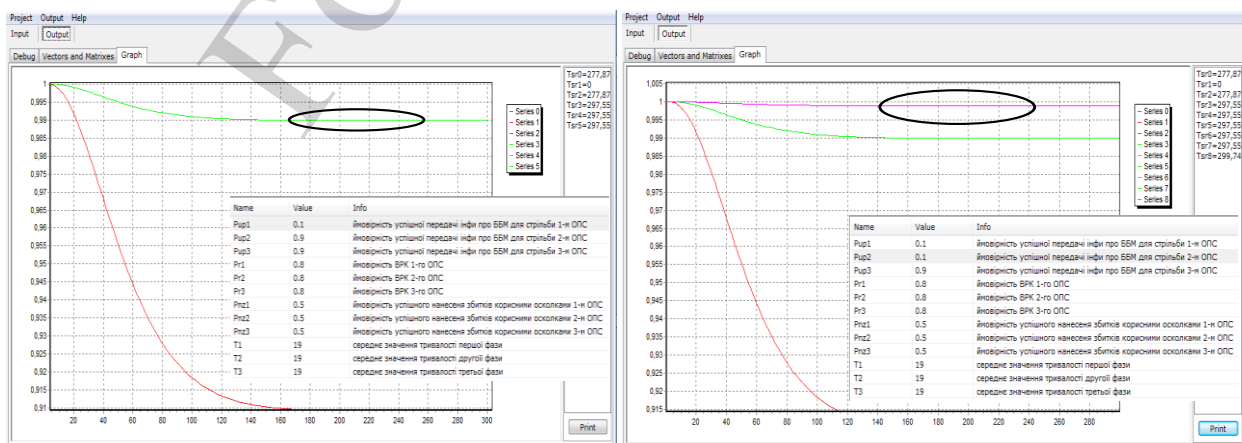
ці. Незважаючи на якісні параметри прийому-передачі даних від засобу розвідки зі спостережного пункту, що можуть бути досить низькими, ефективність нанесення збитків вважається достатньою при 50 %.

Припустимо, що у ході підготовки до виконання завдання щодо нанесення збитків одиночній цілі у броньовому захисті першим осколково-пучковим снарядом стався збій у прийомі сигналу перспективною автоматичною гарматою (ПАГ) від спостережного пункту (рис. 4).

У разі відсутності якісного прийнятого сигналу про одиночну ціль у броньовому захисті, застосування першого осколково-пучкового снаряда стає неможливим і вимагає застосування замість ОПС осколково-фугасного снаряду. Це призводить до зниження імовірності нанесення збитків одиночній цілі у броньовому захисті. Відповідні результати у програмному продукті ASNA наведені на рис. 4, а. В подальшому слабкість сигналу є не такою важливою, оскільки вже було здійснено перший постріл та отримано певну ймовірність ураження цілі. Також було визначено ефективність виконання вогневого завдання перспективною автоматичною гарматою для другого (рис. 4, б) та третього осколково-пучкового снаряда (рис. 4, в). Ймовірність ураження цілі при використанні ПАГ була значно вищою, ніж для звичайних гармат із ОФС, і близька до одиниці. Це відповідає реальним значенням застосування подібних засобів вогневого впливу, незважаючи на решту показників.

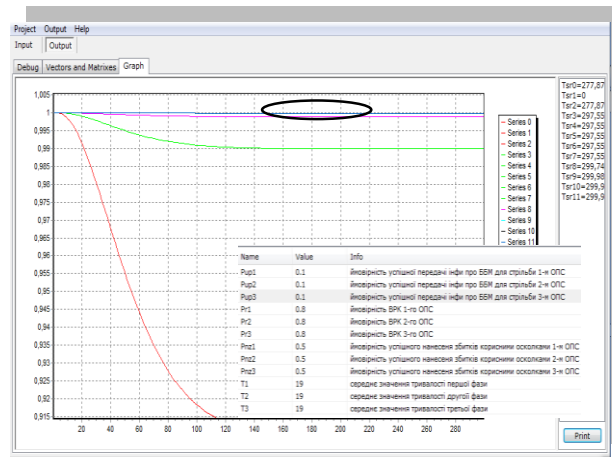
Виділені області на графіках відповідають випадкам отримання оптимально-необхідних варіантів результатів обстрілів серіями осколково-фугасних снарядів, де спостерігається підвищення ймовірності ураження цілі звичайним спорядженням ОФС у декілька разів. Так, при використанні традиційних підходів ймовірність ураження цілі першим ОФС не перевищує 0,23, другим – 0,35, третім – 0,45. Застосування такого способу виконання вогневого завдання підвищує ймовірність нанесення збитків для кожного зі снарядів до значень, що перевищують 0,9, починаючи з першого ж пострілу.

Для перевірки реагування створеної моделі на зниження ймовірності успішної розвідки, потрапляння в ціль, підриву тощо і визначення ефективності стрільби, були внесені деякі зміни до вихідних даних, закладених у програмний продукт ASNA.



а

б



6

Рис. 4. Результат опрацювання даних стохастичної моделі нанесення збитків, виконаний програмним продуктом ASNA: *a* – ймовірність нанесення ураження цілі одним снарядом (червона лінія – ОФС, випущений зі звичайної гармати, зелена лінія – ОФС з ПАГ); *б* – ймовірність нанесення ураження цілі двома снарядами (червона лінія – ОФС, випущений зі звичайної гармати, зелена лінія – перший ОПС з ПАГ; фіолетова лінія – другий ОПС з ПАГ); *в* – ймовірність нанесення ураження цілі трьома снарядами (червона лінія – ОФС, випущений зі звичайної гармати, зелена лінія – перший ОПС з ПАГ; фіолетова лінія – другий ОПС з ПАГ; синя лінія – третій ОПС з ПАГ)

Так, було вирішено знизити ймовірності нанесення збитків “корисними осколками” в серії з трьох пострілів [41]:

- першим ОПС до 0,5 (рис. 5);
- першим та другим осколково-пучковими снарядами до 0,8 (рис. 6).

Як і прогнозовано, результат виконання завдання з кожним пострілом стійко наближався до одиниці. Так, після розриву першого ОПС імовірність виконання завдання ПАГ по одиночній цілі у броньовому захисті становила 0,88, після другого пострілу 0,95, а в серії з трьох пострілів 0,98.

Отже, сумарна ступінь нанесення збитків «корисними осколками» уразливим відсікам одиночної цілі у броньовому захисті у серії з трьох пострілів ОПС відповідає невиконанню вогневого завдання перспективною автоматичною гарматою [43]. Авторами акцентується увага на відтворенні статистичної картини поведінки саме процесу обстрілу рухомої броньованої цілі осколково-пучковими снарядами направленої дії. Такий підхід ґрунтується на гіпотезах функціональності системи і надає можливість проведення модельного експерименту роботи системи з урахуванням можливих відмов їх складових. Тоді на основі створеного алгоритму поведінки системи можливо дослідити взаємозв'язок її складових у вигляді засобу розвідки такої як СП, кожного осколково-пучкового снаряду в серії з трьох та перспективної автоматичної гармати. Ці складові визначаються як спостереження середніх значень результатів стрільб. Таким чином досягається реальна здатність прогнозування можливих моментів, що виникають у процесі стрільби перспективної автоматичної гармати. Відпо-

відно, імовірність виконання своїх функцій складовими системи, створеної показниками функціональності, буде меншою за одиницю.

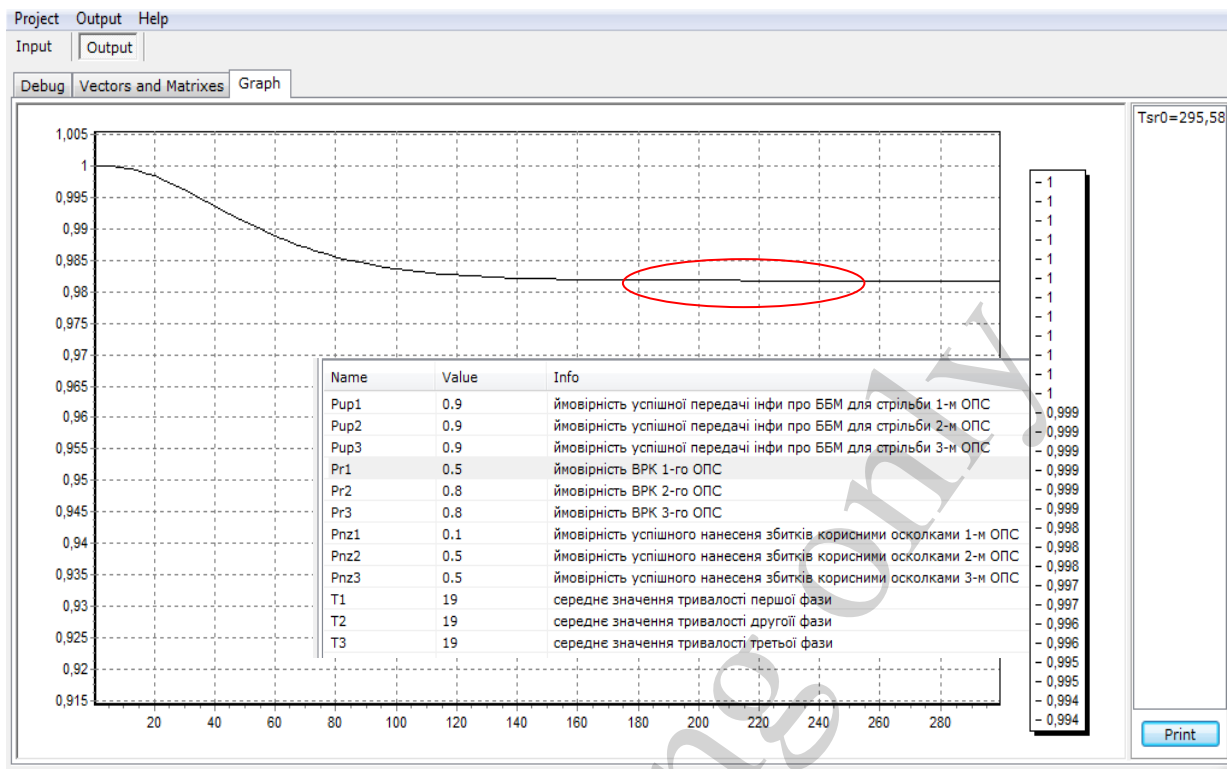


Рис. 5. Верифікація створеної стохастичної моделі у вигляді зниження імовірності нанесення збитків “корисними осколками” першим осколково-пучковим снарядом

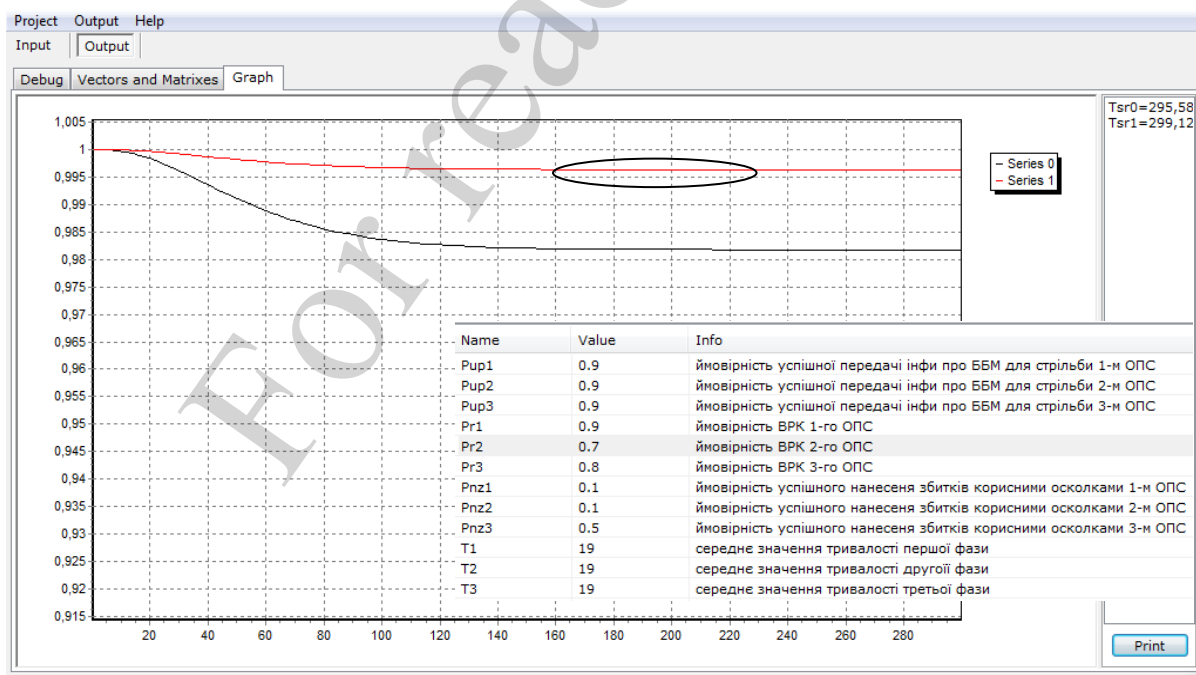


Рис. 6. Верифікація створеної стохастичної моделі у вигляді зниження імовірності нанесення збитків “корисними осколками” першим та другим осколково-пучковими снарядами

Перезарядження снарядів в серії з трьох пострілів під час стрільби перспективною автоматичною гарматою, політ ОПС на траєкторії, захоплення лазерного променя підриивниками ОПС та ініціювання підрииву снарядів можуть мати наступний вигляд:

- передавання інформації про характер цілі на ПАГ задовольняє чи не задовольняє для здійснення пострілу ОПС;
- захоплення гіпотетичного променя дистанційним підриивником ОПС задовольняє чи не задовольняє «підсвічування» цілі;
- функціонування та дистанційний підриив першого, другого та третього осколково-пучкових снарядів на відстані n метрів від рухомої броньованої цілі дистанційний підриив чи не спрацювання дистанційного програмованого підриивника тому підриив на удар, або промах;
- сумарна ступінь нанесення збитків «корисними осколками» уразливим відсікам ББМ в серії з трьох пострілів ОПС відобразатиме ступінь виконання бойового завдання.

Таким чином, вербальна модель процесу обстрілу рухомої броньованої цілі серією ОПС ґрунтується на основі алгоритму поведінки дослідного об'єкта у вигляді перспективної автоматичної гармати, СП та осколком-пучкових снарядів. Вони розглядаються як серія з трьох пострілів.

Поетапне врахування усіх можливих варіантів поведінки об'єкта дослідження від моменту виявлення рухомої броньованої цілі до відмови екіпажу ББМ виконувати завдання за призначенням, може описуватися дискретно-неперервним випадковим процесом.

Таким чином, виконана верифікація створеної дискретної моделі нанесення збитків уразливим відсікам рухомої броньованої цілі «корисними осколками» ОПС у серії з трьох пострілів відповідає прогнозованому процесу. Останній представляє собою обстріл броньованої цілі перспективною автоматичною гарматою серією осколково-пучкових снарядів направленої дії. Не виявлено розбіжностей між результатами програмного продукту ASNA та очікуваними результатами, що ґрунтуються на емпіричному досвіді автора даної роботи.

6. Обговорення результатів дослідження щодо визначення компонент структурно-автоматної моделі обстрілу

Гіпотетичне уявлення про неіснуючий на даний час процес нанесення збитків броньованої цілі в серії з трьох пострілів ОПС ґрунтується на здатності достовірного прогнозування та відображення початку та кінця часового інтервалу. При цьому вважається, що система знаходиться у певному стані в дискретно-неперервному процесі. Ключовою складовою прогнозованого процесу нанесенням збитків уразливим відсікам цілі «корисними осколками» відтворюється у вигляді графа станів і переходів (рис. 1), а також можливих варіантів закінчення події. Таким чином, було розвинуті теоретичні підходи для підвищення ефективності ураження противника шляхом підвищення ймовірності потрапляння ОФС та ОПС в уразливі відсіки, про що свідчать результати моделювання (рис. 5, 6).

У результаті даного дослідження був розвинений запропонований у роботі [41] підхід щодо створення моделі процесу обстрілу на основі графу станів і

переходів. Основна ідея полягає у формалізованому вираженні об'єкту дослідження у вигляді структурно-автоматної моделі процесу обстрілу рухомої броньованої цілі серією з трьох пострілів осколково-пучковими снарядами направленої дії. Отримані результати дозволяють зменшити час розробки новітньої техніки шляхом переходу від евристичного до алгоритмічного підходу до проектування. Це стало можливим завдяки конкретизації інтерпретації у процесі визначення значень компонент структурно-автоматної моделі об'єкта (табл. 2).

У той же час валідація та верифікація дискретно-неперервної стохастичної моделі процесу обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті серією осколково-пучкових снарядів направленої дії лише підтвердили життєздатність та дієвість інструментарію моделювання у даній сфері. Так, запропонований порядок звіряння графів дозволяє прискорити локалізацію помилок і, відповідно, зменшити затрати часу на їх пошук і виправлення.

Дане дослідження було обмежене процесом обстрілу у вигляді серії із трьох пострілів, що зумовлено особливостями ведення бойових дій за допомогою ПАГ, але може бути модифіковано для урахування інших видів озброєння. Недоліком дослідження є те, що були виявлені розбіжності між очікуваними і реальними результатами нанесення збитків уразливим відсікам одиночної цілі у броньовому захисті «корисними осколками» ОПС у серії з трьох пострілів. Однак проведення процедури верифікації після проведення валідації результатів підвищує ефективність застосування такого підходу.

Можлива подальша практична реалізація даної моделі під час розробки новітніх зразків засобів вогневого впливу з метою зменшення внесення помилок на етапі системотехнічного проектування.

7. Висновки

1. Концептуальні рішення щодо представлення процесу обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті передбачають застосування параметричних моделей нанесення збитків такій цілі осколково-пучковими снарядами направленої дії в серії з трьох пострілів на основі опорного графа станів. Таке представлення процесу дозволяє в цілому вирішувати завдання системотехнічного проектування боєприпасів на початкових етапах. Здійснення валідації та верифікації застосування даних боєприпасів в сучасних умовах надає можливість адекватно реагувати в процесі розробки боєприпасів на зміну їх конфігурації, а також зміну конфігурації їх складових частин.

2. Проведено валідацію дискретно-неперервної стохастичної моделі процесу обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті серією осколково-пучкових снарядів направленої дії. Вона підтвердила дієвість дискретно-неперервної математичної моделі. Така модель може використовуватись для дослідження процесу функціонування нанесення збитків уразливим відсікам бойової броньованої машини чи іншої броньованої цілі «корисними осколками» осколково-пучкових снарядів направленої дії у серії з трьох пострілів. Представлені на рис. 3 результати свідчать про ефективність застосування перспективної автоматичної гармати та підвищення ймовірності ураження цілі у порівнянні із звичайними гарматами при одиночних та серійних пострілах.

3. Здійснено верифікацію структурно-автоматної моделі обстрілу одиночної цілі у броньовому захисті осколково-пучковими снарядами направленої дії в серії з трьох пострілів. Розраховано ймовірність ураження цілі осколково-фугасними снарядами, що були застосовані із гармат у звичайному спорядженні, та осколково-пучкових снарядів із перспективних автоматичних гармат. Проаналізовано, як впливає заниження ймовірності нанесення збитків “корисними осколками” до виконання серії пострілів. Використання запропонованих у роботі компонент структурно-автоматної моделі підвищує ймовірність виконання вогневого завдання для першого пострілу з 0,23 до 0,88, для другого – з 0,35 до 0,95, для третього – з 0,45 до 0,98. Не виявлено розбіжностей між результатами програмного продукту ASNA та очікуваними результатами, отриманими під час розробки структурно-автоматної моделі, похибки відсутні. На основі отриманих даних можуть бути проведені натурні експерименти, оскільки системотехнічне проектування дає можливість визначити результати ефективності технічного зразка ще на етапі моделювання.

Конфлікт інтересів

Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів стосовно даного дослідження, в тому числі фінансового, особистісного характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в даній статті.

Література

1. Науменко, І. В., Трофіменко, П. Є., Яковенко, В. В. (2013). Структура вогневого ураження противника засобами артилерії у наступі. Системи озброєння і військова техніка, 1 (33), 32–36. Available at: http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2150/soivt_2013_1_10.pdf
2. Семон, Б. Й., Яковенко, В. В., Гончарук, А. А. (2018). Аналіз оцінки ефективності вогневого ураження та параметрів оптимізації обстрілу складових об'єктів стійкої структури. Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). Технічні науки, 2 (10), 37–41.
3. Яковенко, В. В., Хома, В. В., Люлька, О. В. (2019). Обґрунтування порядку розрахунку показників ефективності нанесення збитків бойовим броньованим машинам прямою наводкою перспективними протитанковими засобами. Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). Технічні науки, 2 (12 (2)), 174–177.
4. Odintsov, V. A. (1991). Bimodal distribution of cylinder fragments. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 27 (5), 624–627. <https://doi.org/10.1007/bf00784955>
5. Тарасов, В. М., Бусяк, Ю. М., Мірошніченко, Ю. В., Яковенко, В. В., Корольова, О. В. (2013). Математична модель оцінки похибки визначення висоти при зовнішньому цілевказуванні в артилерійському підрозділі за допомогою літаючої платформи. Військово-технічний збірник, 8, 33–38. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.8.2013.33-38>
6. Sydorenko, Y. M., Fera, V. V., Yakovenko, V. V. (2017). Investigation of the explosive throwing of the two variable thicknesses fragmentary disks. *Mechanics and*

Advanced Technologies, 3 (81), 99–108. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2017.81.111296>

7. Price, M. A., Nguyen, V.-T., Hassan, O., Morgan, K. (2017). An approach to modeling blast and fragment risks from improvised explosive devices. *Applied Mathematical Modelling*, 50, 715–731. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.06.015>

8. Zhu, J., Zheng, Y., Li, W., Yang, Y., Wang, X., Qiao, X., Li, R. (2019). Axial distribution of fragments from the dynamic explosion fragmentation of metal shells. *International Journal of Impact Engineering*, 123, 140–146. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2018.09.020>

9. Яковенко, В. В., Сидоренко, Ю. М., Семон, Б. Й. (2019). Моделирование процесса пространственного распределения массы и скорости осколочных дисков переменной толщины посредством взрывного нагружения. *NATO DEEP*, 2 (7), 16.

10. Cullis, I. G., Dunsmore, P., Harrison, A., Lewtas, I., Townsley, R. (2014). Numerical simulation of the natural fragmentation of explosively loaded thick walled cylinders. *Defence Technology*, 10 (2), 198–210. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2014.06.003>

11. Яковенко, В. В. (2020). Моделювання обстрілу рухомої броньованої цілі осколково-пучковими снарядами направленої дії у вигляді дискретно-неперервного випадкового процесу. Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). *Технічні науки*, 1 (13 (1)), 61–68.

12. Селиванов, В. В. (2016). *Боеприпасы*. Т. 1. Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 506.

13. Odintsov, V. A. (1991). Expansion of a cylinder with bottoms under the effect of detonation products. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 27 (1), 94–97. <https://doi.org/10.1007/bf00785365>

14. Catovic, A., Kljuno, E. (2021). A novel method for determination of lethal radius for high-explosive artillery projectiles. *Defence Technology*, 17 (4), 1217–1233. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2020.06.015>

15. Sydorenko, Y. M., Semon, B. J., Yakovenko, V. V., Ryzhov, Y. V., Ivanyk, E. G. (2020). Spatial Distribution of Mass and Speed on Movement of Two Shrapnel Discs of Variable Thickness in Explosive Load. *Defence Science Journal*, 70 (5), 479–485. <https://doi.org/10.14429/dsj.70.14524>

16. Yakovenko, V. V., Grechanik, E. I., Abdullayev, R. Y., Bychenkov, V. V., Gumenyuk, K. V., Sobko, I. V. (2020). Modeling of the influence of fragments of ammunition on the biological tissue of a military in protective elements of combat equipment. *Azerbaijan Medical Journal*, 5, 107–115.

17. Hashemi, S. K., Bradford, M. A. (2014). Numerical Simulation of Free-Air Explosion Using LS-DYNA. *Applied Mechanics and Materials*, 553, 780–785. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.553.780>

18. Liu, P., Zhu, D., Yao, Y., Wang, J., Bui, T. Q. (2016). Numerical simulation of ballistic impact behavior of bio-inspired scale-like protection system. *Materials & Design*, 99, 201–210. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.03.040>

19. Кудімов, С., Табуненко, В. (2021). Методика визначення рівня бойової живучості броньованих колісних машин при виконанні підрозділами національної гвардії України завдань за призначенням. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць, 2 (64), 34–38. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.2.034>

20. Хитрик, В., Ленський, Л. (1996). Система озброєнь Сухопутних військ. Військо України, 5-6, 18–21.
21. Mao, M., Zhang, Y., Du, F., Chen, Y. (2015). Five scientific and technological problems on running system of high mobility tracked vehicle. *Bingong Xuebao/Acta Armamentarii*, 36 (8), 1546–1555. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-1093.2015.08.024>
22. Zhao, W., Sun, Y. (2022). Simulation study on pressure relief of cabin door under explosive load in cabin. *Springer Proceedings in Physics*, 276, 211–225. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1774-5_17
23. Барятинский, М. (2012). Какая БМП нам нужна? Военно-промышленный курьер, 15 (432), 7.
24. Гусев, С. А. (1991). Боевая машина поддержки танков. Вестник бронетанковой техники, 7, 47–51. Available at: http://btvt.info/5library/vbtt_1991_bmpt.htm
25. Григорян, В. А., Юдин, Е. Г., Терехин, И. И. и др. (2007). Защита танков. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 327.
26. Шеремет, И. Б., Чернов, И. Р. (2012). Практические аспекты построения разведывательно-ударной сети на основе развития системы вооружения и военной техники Сухопутных войск. Вооружение. Политика. Конверсия, 3 (105), 18–21.
27. Буренок, В. М., Погребняк, Р. Н., Скотников, А. П. и др. (2010). Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения. Москва: Машиностроение, 368.
28. Olsson, P. (2020). Measuring Quality of Military Equipment. *Defence and Peace Economics*, 33(1), 93–107. <https://doi.org/10.1080/10242694.2020.1851474>
29. Tactics, Techniques, and Procedures for the Field Artillery Cannon Battery (1996). Headquarters. US Marine Corps. Available at: https://www.marines.mil/Portals/1/Publications/mcwp3_16_4.pdf
30. Buckley, A. Safety, Reliability & Performance of the Ahead (ABM) Programmable Fuze System. Available at: <https://present5.com/safety-reliability-performance-of-the-ahead-abm/>
31. Bai, F., Liu, Y., Yan, J., Xu, Y., Shi, Z., Huang, F. (2022). Study on the characteristics of blast loads due to two simultaneous detonated charges in real air. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 146, 104108. <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2022.104108>
32. Davis, B. G., Thompson, J., Morningstar, W., McCool, E., Peri, V., Davidson, F. T. (2021). Risk evaluation of ballistic penetration by small caliber ammunition of live-fire shoot house facilities with comparison to numerical and experimental results. *International Journal of Protective Structures*, 12 (4), 417–436. <https://doi.org/10.1177/2041419620988553>
33. Евстафьев, Д. (1996). Ограниченные вооруженные конфликты и проблемы безопасности России. ПИР- Центр. Научные записки, 2, 3–27. Available at: <https://www.files.ethz.ch/isn/55012/nz2.pdf>
34. Усачев, О. (2020). Предела совершенства не бывает. Армейский сборник, 9, 36–41.

35. Хоменко, И. П., Цема, Е. В., Коваль, Б. М., Гангал, И. И., Динец, В. А., Мишалов, Г. В. (2019). Сочетанное осколочное ранение нижней полой вены, вызвавшее пулевую эмболию легочной артерии (клиническое наблюдение и обзор литературы). *Хірургія України*, 2, 69–80.
36. Beyer, D., Lemberger, T.; Strichman, O., Tzoref-Brill, R. (Eds.) (2017). *Software Verification: Testing vs. Model Checking. Hardware and Software: Verification and Testing. HVC 2017. Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer, 99–114. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70389-3_7
37. Gilson, L., Rabet, L., Imad, A., Coghe, F. (2020). Experimental and numerical assessment of non-penetrating impacts on a composite protection and ballistic gelatine. *International Journal of Impact Engineering*, 136, 103417. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2019.103417>
38. Ozirkovskyy, L., Volochiy, B., Shkiliuk, O., Zmysnyi, M., Kazan, P. (2022). Functional safety analysis of safety-critical system using state transition diagram. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2, 145–158. <https://doi.org/10.32620/reks.2022.2.12>
39. Mandziy, B., Seniv, M., Mosondz, N., Sambir, A. (2015). Programming visualization system of block diagram reliability for program complex ASNA-4. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics*, 258–262. <https://doi.org/10.1109/CADSM.2015.7230851>
40. Федасюк, Д., Волочій, С. (2017). Методика розроблення структурно-автоматних моделей відмовостійких систем з альтернативними продовженнями випадкових процесів після процедур контролю, перемикання і відновлення. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні науки та інформаційні технології*, 864, 49–62. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPKNIT_2017_864_9
41. Yakovenko, V., Volochiy, B., Sydorenko, Y., Furmanova, N., Malyi, O., Tkachenko, A., Olshevskiy, Y. (2021). Building a model of the process of shooting a mobile armored target with directed fragmentation-beam shells in the form of a discrete-continuous stochastic system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (114)), 51–63. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245703>
42. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Baker, J. H., Ayaz Ahmad, M., Lyashenko, V. (2021). Development of a cyber design modeling declarative language for cyber physical production systems. *Journal of Mathematical and Computational Science*, 11 (1), 520–542. <https://doi.org/10.28919/jmcs/5152>
43. Yakovenko, V., Volochiy, B., Furmanova, N., Savina, I., Malyi, O. (2022). Application of states and transitions graph for developing the model of the process of shelling a mobile armored target. Paper presented at the Proceedings – 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2022, 727–732. <https://doi.org/10.1109/TCSET55632.2022.9766916>