Петренко М. О., бакалавр, Волох Л. В., доцент

Київський національний університет технологій та дизайну

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТЕЙ ПРИ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ РОЗРАХУНКАХ

Анотація. *В роботі розглянуто актуальність застосування елементів теорії ймовірностей у системи розрахунків артилерійської стрільби. Кількісне вираження можливості окремих наслідків і подій, як то одиничний чи залповий вогонь, ґрунтується на понятті ймовірності. Знання правил оцінювання ймовірностей подій допоможе артилерійському розрахунку підвищити якість прийняття рішень та влучність удару. Актуальністю дослідження статті є нагальна вимога часу.*

Ключові слова: *теорія ймовірностей; статистична похибка; потрапляння у ціль.*

Petrenko M. O., Volokh L. V.

Kyiv National University of Technologies and Design

THE USE OF ELEMENTS OF PROBABILITY THEORY IN ARTILLERY CALCULATIONS

Abstract*. The paper considers the relevance of the use of elements of probability theory in the system of calculations of artillery firing. The quantitative expression of the possibility of individual consequences and events, such as a single or volley fire is based on the concept of probability. Knowledge of the rules for assessing the probabilities of events will help artillery calculation to improve the quality of decision-making and the accuracy of the impact. The relevance of the study of the article is an urgent requirement of time.*

Keywords: *probability theory; statistical error; hitting the target.*

Вступ. У період між Другою світовою війною та нинішньою, яка почалася в 2014 році та набула ескалації цього року, були розроблені методи стрільби на ураження різних цілей: придушення та знищення прихованої та відкрито розміщеної живої сили, знищення різних оборонних споруд та танків артилерійським вогнем прямою наводкою та із закритих вогневих позицій, ураження неспостережних цілей, зокрема джерел масового ураження противника. Вирішення цих завдань вимагало ретельного та вивчення загальних теоретичних питань та насамперед питань, пов’язаних із використанням теорії ймовірностей до дослідження ефективності стрільби і до вивчення похибок, які супроводжують різні способи підготовки та ведення вогню. Поняття ймовірності є базовим для кількісного вираження можливості окремих наслідків і подій. Припускається, що кожній події, можливій за певних обставин, може відповідати чисельна міра її об’єктивної можливості, названа ймовірністю події. Предметом класичної теорії ймовірностей в даній області є питання оцінювання вражаючої дії боєприпасів, дослідження похибок, що супроводжують стрільбу, керування зосередженим та масованим вогнем великих мас артилерії.

Виникнення теорії ймовірностей належить до XVI–XVII ст. і пов’язане з потребами розвиненого тоді торговельного капіталу. Варто зазначити, що теорія ймовірностей була підготовлена не лише страхуванням, а й астрономічними та фізичними спостереженнями. Кеплер і Берігг користувалися різними методами оброблення результатів спостережень, які потім були розвинені в теорії ймовірностей. На початку XVII ст. Галілей враховував ймовірні відхилення під час оброблення результатів фізичних спостережень. Професор В.І. Романовський вирішив ряд питань теорії ймовірностей, наприклад, про точність результатів за малої кількості вимірювань, що має важливе значення в артилерійській практиці. Теорія ймовірностей успішно 30 застосовується у фізиці, в теорії будови атомів, у статистиці, в страховій справі, в біології, в сільському господарстві, в метеорології, астрономії та в інших науках [1]. Останніми десятиліттями теорія ймовірностей стала успішно використовуватися у виробничих процесах, особливо в масовому поточному виробництві при вирішенні питань про допуски, точності роботи механізмів і т. п. Теорія стрільби як наука змогла стати міцною науковою базою лише в результаті використання теорії ймовірностей та її висновків. Вивчення питань теорії стрільби та обґрунтування правил стрільби базуються на висновках, даних теорією ймовірностей. Правила стрільби, обґрунтування різних способів ведення вогню, норм витрати снарядів і часу, поправки на погодні умови, врахування особливостей ланшафту і т. п. – все це спирається на висновки теорії ймовірностей.

Саме тому застосування теорії ймовірностей стало для військової стпари в цілому, і для артилерійської стрільби зокрема, вагомим аспектом. В артилерійській академії курс теорії ймовірностей вперше був введений до програми зовнішньої балістики в 1858 році (у той час теорії стрільби як окремої науки не було). Цей курс викладав професор І.В. Маієвський, який тоді опублікував статтю про застосування теорії ймовірностей до стрільби. У 1870 р. Маієвський видав капітальну працю «Зовнішня балістика», що вміщувала й теорію стрільби з основами теорії ймовірностей. У цьому курсі вперше введено поняття про серединну (ймовірну) похибку як для окремих вимірювань, так і для середнього результату з ряду вимірювань [2]. Після Маієвського курс зовнішньої балістики (разом з теорією ймовірностей і теорією стрільби) викладав професор Н.А. Забудьский. У 1898 р. ним була видана праця «Теорія ймовірностей і застосування її до стрільби і пристрілювання».

Застосування основних понять теорії ймовірностей до вирішення питань стрільби і керування вогнем артилерії укріпило теорію бойової ефективності артилерії, зробило навчальні настанови науково обґрунтованими, а вирішення бойових (вогневих) завдань звільнило від «сліпої» випадковості. Проте залишаються невирішеними багато завдань, а саме – статистична похибка при стрільбі та врахування якомога більшого числа стохастичних чинників ,які впливають на якість стрільби, а в підсумку – на характер бою.

Постановка завдання. Під час практичної стрільби, та під час теоретичних досліджень способів підготовки та ведення артилерійського вогню часто виникають такі питання: чи буде за певних умов мати місце влучення в ціль; чи завжди або як часто за цих умов буде мати місце влучення в ціль; скільки потрібно за цих умов витратити снарядів, щоб мати бажану кількість влучень? Особливо актуальні ці питання за умови недоукомплектації боєзапасами. За допомогою звичайних класичних визначень відповісти на них практично неможливо. Такі питання тісно пов’язані з випадковим характером явища, тому потрібно ретельно вивчити це випадкове явище (або випадкові похибки, що супроводжують стрільбу) з точки зору закономірностей, властивих саме йому як випадковому явищу. Потрібно досліджувати закон, за яким розподіляються стохастичні величини, з’ясовувати випадкові причини, що викликають розсіювання, порівнювати їх між собою за ступенем важливості й т.п. Необхідно висовувати певні гіпотези та перевіряти їх згідно критеріїв згоди.

Результати досліджень. Теорія ймовірностей виникла як наука на основі твердження, що в основу масових випадкових однорідних подій покладені детерміновані закономірності. У природі немає жодного явища, в якому б не був наявним елемент випадковості. Як би точно не фіксувались умови експерименту, неможливо досягти того, щоб під час повторення експерименту результати повністю і точно збігалися. Випадкові відхилення супроводжують будь-яке закономірне явище. У багатьох практичних завданнях цими випадковими елементами можна знехтувати, розглядати замість реального явища його спрощену схему або «математичну модель». При цьому з величезної кількості факторів, що впливають на це явище, можна виділили найголовніші, впливом решти другорядних факторів можна знехтувати. Таку схему дослідження явищ постійно застосовують у фізиці, механіці, техніці тощо. Однак для вирішення ряду завдань описана «класична схема» є недоцільною. Існує багато завдань, у яких результат залежить від такої великої кількості факторів, що їх практично неможливо врахувати і дослідити. У цих завданнях численні другорядні випадкові фактори тісно переплітаються між собою, відіграють вагому роль, а загальна їх кількість така велика, що неможливо вилучити численні зайві фактори, і тоді застосування класичних методів дослідження себе не виправдовує.

Розглянемо декілька типових завдань, з якими справлялися наші герої, застосовуючи прийоми теорії ймовірностей.

Приклад 1 (Чорнобаївка). Стрільба по цілі площею $S_{ц}$ (рис. 1) проводиться так, що при кожному пострілі середня траєкторія проходить через центр цілі (Координати аеродрому в Чорнобаївці відомі і незмінні). Визначити ймовірність влучення в ціль з одного пострілу, якщо $S_{ц} = 2В_{\partial} \cdot 2В_{\delta}$.

Розв'язання. Із елементарного курсу теорії стрільби відомо, що снаряди розподіляються на площі $8В_{\partial} \cdot 8В_{\delta}$ з урахуванням відхилення. Із деяким припущенням можна вважати, що в межах прямокутника $2В_{\partial} \cdot 2В_{\delta}$ снаряди розподіляються рівномірно. Ймовірність потрапляння на аеродром $p_{пр}$ = 1/4.

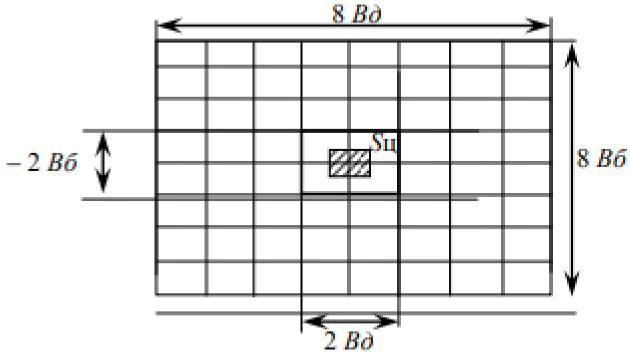

Рис. 1. **Стрільба по цілі $S_{ц}$**

Тоді ймовірність, що снаряд попаде у точкове зосередження літаків ворога $S_{ц}$, обчислиться зі співвідношення ${р_{ц}}/{S_{ц}} = {р_{пр}}/{S_{пр}}$, звідси $р_{ц}$ = ($S_{ц}$·1/4) / $(2В_{\partial} \cdot 2В_{\delta})$ = $S_{ц}$ / $(16В_{\partial} \cdot 16В_{\delta})$. Цей вираз використовується для розрахунку *потрібної витрати снарядів* при стрільбі на знищення ворожої техніки: N = 1 / $р_{ц}$ = = $16(В_{\partial} \cdot В_{\delta})$ / $S_{ц}$. Таким чином, можна обчислити числове значення ймовірності події як відношення площ. Варто зазначити, що геометричний спосіб визначення ймовірності події, як і класичний, вимагає точного знання умов і обстановки, в якій будуть проходити випробування. Це досягається за допомогою зняття рельєфу та даних аеро-космічної розвідки.

Наведений приклад був «ідеальної» форми в сенсі прямокутного типу розташування ворожого угруповування у Чорнобаївці. На практиці ж бійцям часто доводиться розв`язувати завдання, пов'язані з розрахунком ймовірності потрапляння випадкової точки в площини різних контурів.

Наприклад, необхідно розраховувати ймовірності потрапляння випадкової точки в різні площини, такі, як:

– ймовірність потрапляння в прямокутник зі сторонами, паралельними головним осям розсіювання;

– ймовірність потрапляння до смуги нескінченної довжини, наприклад, Кримський міст або смугу мінного загороджування;

– ймовірність потрапляння в еліпс розсіювання та коло;

– ймовірність потрапляння в площини довільної форми з використанням сітки колового розсіювання.

Ці ймовірності необхідні для розрахунків середніх витрат снарядів на конкретній місцевості. Так, у Правилах стрільби та управління вогнем наведена середня витрата снарядів для ураження різних цілей, розрахована за формулою $N = m/p$, де m – необхідне число влучень, а p – імовірність влучення в ціль (у наведені роз-міри цілі) при одному пострілі.

Часто доводиться розв'язувати й обернену задачу: за заданою ймовірністю ураження цілі визначати величину радіуса наведеної зони ураження, а за нею – необхідну потужність заряду, що забезпечує виконання завдання із заданою точністю.

Приклад 2 (Бій під Ізюмом). Проводиться стрільба прямою наводкою з гармати по танку, що наближається. Першою робить постріл гармата з імовірністю ураження танка 0,6. Якщо гармата не знищує танк, то останній відповідає вогнем з імовірністю ураження гармати 0,4. Якщо гармата не знищена, то вона робить другий постріл по танку, що наближається, з імовірністю ураження його 0,8. Якщо танк другим пострілом гармати не знищений, то він своїм другим пострілом знищує гармату (ймовірність знищення гармати дорівнює 1). Знайти ймовірність знищення в цьому бою: а) танка; б) гармати.

Розв'язання.

1. Введемо позначення подій: A_1 – знищення танка першим пострілом з гармати; A_2 – знищення танка другим пострілом з гармати. Тоді подія знищення танка А буде сумою подій $\mathrm{A} = \mathrm{A}_1 + \mathrm{A}_2$. Аналогічно до знищення гармати (подія B) $\mathrm{B} = \mathrm{B}_1 + \mathrm{B}_2$, де B_1 – знищення гармати першим пострілом з танка; B_2 – знищення гармати другим пострілом з танка.

2. Визначимо ймовірність знищення танка: $p\ (A) = p\ (A_1) + p\ (A_2)$, $p\ (A_1) = 0{,}6$. Подія A_2 є добутком подій $\mathrm{A}_2 = \mathrm{A}_1^*\mathrm{B}_1^*\mathrm{A}_2^*$, де A_1^* – не знищення танка першим пострілом гармати; B_1^* – не знищення гармати першим пострілом танка; A_2^* – знищення танка другим пострілом гармати. Тоді $p(\mathrm{A}_2) = p(\mathrm{A}_1^*)p(\mathrm{B}_1^*)p(\mathrm{A}_2^*)$, але $p(\mathrm{A}_1^*) = 1 - p(\mathrm{A}_1) = 1 - 0{,}6 = 0{,}3$, $p(\mathrm{B}_1^*) = 1 - p(\mathrm{B}_1) = 1 - 0{,}4 = 0{,}6$; $p\ (A_2) = 0{,}8$ (за умовою прикладу), отже, $p\ (A_2) = 0{,}3 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}8 = 0{,}144$, а повна ймовірність знищення танка $p\ (A) = 0{,}6 + 0{,}144 = 0{,}744$.

3. Визначимо ймовірність знищення гармати вогнем танка: $p\ (B) = p\ (B_1) + p\ (B_2)$, $p\ (B_1) = p(\mathrm{A}_1^*)p(\mathrm{B}_1^*) = 0{,}3 \cdot 0{,}6 = 0{,}18$, $p\ (B_2) = p(\mathrm{A}_1^*)p(\mathrm{B}_1^*)p(\mathrm{A}_2^*)\ p(\mathrm{B}_2^*) = 0{,}4 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}2 \cdot 1 = 0{,}048$, $p\ (B) = 0{,}18 + 0{,}048 = 0{,}228$.

Висновок**.** Під час багаторазового повторення бою гармати з танком в умовах розглянутого прикладу в середньому в 74 випадках (боїв) із 100 буде знищений танк, а в 22 – гармата.

Теорія ймовірностей та її прийоми мають найширше застосування у військовій справі. Так, математичне сподівання відображає середнє значення випадкової величини і не відображає інших сторін розподілу. Математичне сподівання кількості або відсотка уражених елементарних цілей – основний показник ефективності стрільби по груповій цілі. У ряді завдань зовсім недостатньо знати лише положення центра розподілу випадкової величини. Наприклад, якщо під час стрільби з двох гармат різних зразків будуть одержані однакові дальності до центрів розривів, то ще не можна сказати, який зі зразків знарядь має кращі балістичні якості. Необхідно за місцем розміщення точок падіння снарядів визначити характер розкиду розривів щодо центра. І той зразок гармати, в якого розсіювання точок падіння відбувається в менших межах, має кращі балістичні якості, оскільки можливі значення випадкової величини (похибки розсіювання) групуються у більш купчастому вигляді біля центра розсіювання снарядів. Характеристикою розсіювання снарядів, наприклад, за дальністю є серединне відхилення.

Також слід звернути увагу на точність вимірювання, а саме, на похибки. Наприклад, під час підготовки вихідних даних визначається топографічні дальність і напрямок (від основного напрямку, кутомір та інші) і використовуються результати вимірювання таких чинників, як метеорологічні і балістичні умови стрільби. Будь-які вимірювання супроводжуються помилками. Незалежно від ретельності вимірювань і точності застосованих при цьому приладів результат вимірювань дає не істинне значення вимірюваної величини, а наближене. За кожного вимірювання одержимо різні результати. Незважаючи на всю акуратність у роботі, зазвичай одержимо 3–4 різних показників і змушені брати середній. Це пояснюється тим, що внаслідок похибок суміщення магнітної стрілки з індексом, похибок відзначення, зняття відліку та інших, величини яких за кожного вимірювання різні, ми одержимо не істинне, а наближене значення азимута.

Ураховуючи це, результат вимірювання можна подати як алгебраїчну суму істинного значення вимірюваної величини і похибки, яка має місце при цьому вимірюванні, Спільна дія великої кількості джерел похибок призводить до того, що похибка вимірювання може набувати безлічі значень на деякому інтервалі. Отже, похибки і результати вимірювань – випадкові величини безперервного типу.

Із теорії закону розподілу випадкових величин нам відомо, що законом розподілу суми досить великої кількості доданків є нормальний закон незалежно від видів законів розподілу випадкових величин, що становлять суму. Отже, похибки вимірювання підпорядковані нормальному закону.

Також слід зазначити, що в артилерійській практиці під час полігонних відстрілів зарядів із гармат доводиться визначати характеристики розсіювання снарядів, а оброблення результатів стрільб дозволяє значною мірою позбутися по-милок внаслідок зміни вимірюваної величини та одержати тим самим більш точні, ніж при звичайному обробленні, значення шуканих характеристик.

Висновки. Таким чином, вивчення питань теорії ймовірностей, її основних теорем та положень дозволяє використовувати їх не лише в теоретичних аспектах при проведенні розрахунків, а й на практиці у визначенні точності влучення у ціль, імовірності розміщення центра розсіювання снарядів від цілі, оброблення результатів спостережень і засікання цілей для їх ураження. Під час розгляду бойової задачі з позицій визначення кількісної величини відхилення точки падіння снаряда від цілі виникає необхідність розглядати випадкові величини, а вони можуть бути дискретні та безперервні, а також необхідність введення поняття закону розподілу випадкової величини. Цей закон дозволяє використовувати випадкові величини на практиці у визначенні точності попадання артилерійським снарядом у будь-яку ціль під час вогневого ураження противника.

Список використаної літератури

1. Макеєв В. І., Пушкарьов Ю. І., Ляпа М. М. та ін. Використання теорії ймовірностей в артилерії: підручник. Суми: Сумський державний університет, 2019. 494 с.
2. Петренко В. М., Ляпа М. М., Житник В. Є. Підготовка стрільби і управління вогнем артилерії. Суми: Видавництво СумДУ, 2015. 524 с.
3. Правила стрільби та управління вогнем наземної артилерії. Дивізіон, батарея, взвод, гармата. Київ: Видавництво «Варта», 2008. 254 с.
4. Жлуктенко В. І., Наконечний С. І., Савіна С. С. Стохастичні процеси та моделі в економіці, соціології, екології: навчальний посібник. Київ: КНЕУ, 2002. 226 с.
5. Гихман И. И., Скороход А. В., Ядренко М. И. Теория вероятностей и математическая статистика. Киев: Вища школа, 1988. 438 с.

6. Жлуктенко В. І., Наконечний С. І. Теорія ймовірностей і математична статистика: навч.-метод. посібник: у 2 ч. Ч. 1. Теорія ймовірностей. Київ: КНЕУ, 2005. 304 с.
7. Жлуктенко В. І., Наконечний С. І., Савіна С. С. Теорія ймовірностей і математична статистика : навч.-метод. посібник : у 2 ч. Ч. 2. Математична статистика. Київ: КНЕУ, 2005. 364 с.
8. Brownlee K. A. Statistical theory and metohodology in science and engineering. New York; London; Sydney, 1977. 485 p
9. Вітлінський В. В., Верченко П. І. Аналіз, моделювання та управління економічним ризиком : навчально-методичний посібник для самостійного вивчення дисципліни. Київ: КНЕУ, 2000. 292 с.