

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПОВІТРЯНИХ СИЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА

В. Є. Кудряшов, Д. М. Литовченко

**ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ З ОСНОВИ СТРІЛЬБИ
РАКЕТАМИ ТА УПРАВЛІННЯ ВОГНЕМ
КОМПЛЕКСІВ МАЛОЇ ДАЛЬНОСТІ**

Навчальний посібник

Харків
2023

УДК 623.462.22 (075.8)
К88

*Рекомендовано до друку вченою радою
Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
(протокол № 3 від 23.02.2021)*

Рецензенти: В. В. Бурцев, канд. техн. наук, професор, заслужений
працівник освіти України
С. М. Піскунов, канд. техн. наук, стар. наук. співроб., доцент

Кудряшов В. Є.

К88 Числове моделювання з основ стрільби ракетами та управління
вогнем комплексів малої дальності : навч. посіб. / В. Є. Кудряшов,
Д. М. Литовченко. – Х. : ХНУПС, 2023. – 533 с.

Навчальний посібник містить систематизований виклад матеріалу з блоку військово-технічних та військово-спеціальних навчальних дисциплін. У ньому розглядаються питання помилки наведення ракет та систем підриву, координатний закон ураження цілі, методи оцінки ефективності стрільби з урахуванням надійності елементів комплексу і різних видів протидії стрільбі. Наведено методи оцінки ефективності стрільби ракетами по груповій цілі та при відбитті нальоту, середня витрата ракет, а також основи управління вогнем зенітних комплексів та методи оцінки їх ефективності з урахуванням надійності систем управління вогнем та різних видів протидії противника.

Відповідає програмі дисципліни “Основи стрільби та керування вогнем підрозділів, озброєних зенітними ракетними комплексами малої дальності” і буде корисним для більш ефективного використання курсантами часу на самостійну підготовку, а також для відпрацювання кваліфікаційних робіт рівня бакалавр та магістр за напрямками підготовки факультету протиповітряної оборони Сухопутних військ.

УДК 623.462.22 (075.8)

© Кудряшов В. Є., Литовченко Д. М., 2023
© Харківський національний університет
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2023

З М І С Т

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ	5
СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	11
1 ЧАСТКОВІ МОДЕЛІ З ОСНОВ ТЕОРІЇ СТРІЛЬБИ РАКЕТАМИ ЗРК МАЛОЇ ДАЛЬНОСТІ ПО ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЯХ	15
1.1. Моделювання значень першого і другого роду помилок стрільби ракетами та величин умовної імовірності ураження цілі	15
1.2. Координатний закон ураження повітряних цілей ЗРК малої дальності	29
1.3. Загальний показник ефективності стрільби ракетою	47
1.4. Загальні пропозиції щодо модернізації елементів БМ та ракет для підвищення ефективності їх застосування за призначенням	62
2 ЧАСТКОВІ МОДЕЛІ ОЦІНОК ЕФЕКТИВНОСТІ СТРІЛЬБИ ЗРК МАЛОЇ ДАЛЬНОСТІ ПО ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЯХ В УМОВАХ ПРОТИДІЇ ПРОТИВНИКА	64
2.1. Умовні імовірностей ураження БМ та елементів ВТЗ з радіолокаційними та інфрачервоними ГСН	64
2.2. Показники завадостійкості станцій і систем ЗРК малої дальності з урахуванням маневру цілей та значення показників ефективності стрільби	87
2.3. Автономні дії особового складу БМ при стрільбі ракетами по нетиповим цілям	127
2.4. Стрільба ракетами по різних цілях при відпрацюванні цілевказівці з батареиноного командного пункту	150
2.5. Ефективність бойового застосування при стрільбі з використанням телевізійного оптичного візира БМ	171
2.6. Загальні пропозиції до доопрацювання елементів БМ та ракет для підвищення ефективності їх застосування за призначенням	197
3 ЧАСТКОВІ МОДЕЛІ З ОСНОВ УПРАВЛІННЯ ВОГНЕМ ЗЕНІТНИХ КОМПЛЕКСІВ	202
3.1. Імовірності входу цілі у зону цілерозподілу та не виходу її з зони пуску після пуску ракет при маневруванні цілі	202
3.2. Вплив імовірності правильного виявлення цілей РЛС старшого начальника та РЛС розвідки БМ на ефективність цілерозподілу в умовах протидії противника	228
3.3. Математичне сподівання кількості знищених цілей підрозділом при різних видах цілерозподілу на k -ту добу операції	249
3.4. Загальні пропозиції щодо доопрацювання елементів системи управління вогнем для підвищення їх ефективності	278

ВИСНОВОК	282
ДОДАТКИ	284
ДОДАТОК 1. Часткові моделі з основ теорії стрільби ракетами ЗРК малої дальності по повітряним цілям	284
Д.1.1. Моделювання значень I та II роду помилок стрільби ракетами та величин умовної імовірності ураження цілей	284
Д.1.2. Координатний закон ураження повітряних цілей ЗРК малої дальності	292
Д.1.3. Загальний показник ефективності стрільби ракетою	304
ДОДАТОК 2. Часткові моделі оцінок ефективності стрільби ЗРК малої дальності по повітряних цілях в умовах протидії противника	314
Д.2.1. Умовні імовірності ураження БМ та елементів ВТЗ з радіолокаційними і інфрачервоними ГСН ...	314
Д.2.2. Показники завадостійкості станцій і систем ЗРК малої дальності з врахуванням маневру цілі та значення показників ефективності стрільби	332
Д.2.2.1. Стрільба в умовах постановки завад по радіолокаційному каналу ССЦ БМ при маневруванні цілі	362
Д.2.2.2. Ефективність стрільби при постановці завад по радіолініях БМ і ракети з врахуванням маневру цілі	378
Д.2.2.3. Показник завадостійкості РЗ ракети та коефіцієнт пристосованості комплексу при стрільбі по цілі що маневрує	394
Д.2.3. Автономні дії особового складу БМ при стрільбі ракетами по нетипових цілях	406
Д.2.4. Стрільба ракетами по різних цілях при відпрацюванні цілевказівки з БКП	424
Д.2.5. Ефективність бойового застосування при стрільбі з використанням ТОВ БМ	440
ДОДАТОК 3. Часткові моделі з основ управління вогнем зенітних комплексів	464
Д.3.1. Імовірності входу цілі у зону цілерозподілу та не виходу її з зони пуску після пуску ракет при маневруванні цілі	464
Д.3.2. Вплив імовірності правильного виявлення цілей РЛС старшого начальника та РЛС розвідки БМ на ефективність цілерозподілу в умовах протидії стрільбі	488
Д.3.3. Математичне сподівання кількості знищених ці- лей підрозділом при різних видах цілерозподілу на k -ту добу операції	502
ЛІТЕРАТУРА	530

ВСТУП

При дослідженні показників ефективності стрільби ракетами та управлінню вогнем (УВ) бувають випадки, коли розв'язати задачу внаслідок значних математичних розрахунків неможливо. Це важливо і актуально при веденні бойових дій в Україні. При плануванні відбиття удару за прийнятою системою УВ виникають складнощі, пов'язані з визначенням показників її ефективності. Крім того, проведення тактичних навчань з бойовою стрільбою (ТН з БС), які наближені до умов застосування системи УВ, вимагає значних ресурсів та коштів.

Із РЛС старшого начальника, командних пунктів (КП) і ЗРК малої дальності складається система УВ, за якою надалі і досліджуються математичні моделі. Для автоматизації процесу визначення ефективності у різноманітних умовах повітряної обстановки використовуємо програмне забезпечення MathCAD. Під час підготовки до ведення бойових дій потрібно обрати найоптимальніші варіанти побудови системи УВ та визначити прийнятні умови стрільби ракетами.

За сучасною термінологією моделлю називають явище, предмет, установку або умовний образ (схему), які знаходяться у певній відповідності з об'єктом, що вивчається [1, 2]. Цей об'єкт замінює РЛС старшого начальника, КП, лінії передачі даних або ЗРК під час досліджень, надає інформацію про їх можливості (ефективність). Відповідно моделюванням називають загальний метод вивчення об'єкта шляхом досліджень моделі. Така модель замінює елементи системи УВ, отримана інформація переноситься на об'єкт, що розглядається. При такому визначенні до моделювання належать різні методи досліджень складних систем – від аналітичних розрахунків до перевірки на ТН з БС.

У навчальному посібнику розглядаємо найбільш зручний для визначення ефективності стрільби та УВ вид моделювання – числове моделювання (цифрове моделювання) [1, 2]. При числовому моделюванні враховано досвід ведення бойових дій в Україні. Вказане моделювання має ряд переваг – економічність, гнучкість, наочність – і дозволяє значною мірою спростити одну з наукових проблем науки – проблему складності. Числове моделювання зводиться до проведення експерименту з математичною програмою, що імітує роботу станцій та систем бойової машини (БМ) і ракети, лінії передачі даних, КП та РЛС старшого начальника. При цьому враховано вплив протидії противника у вигляді завад, маневру цілей, малої ефективної поверхні розсіювання (ЕПР) та високоточної зброї. У підсумку проводиться статистична обробка результатів експерименту.

Моделі описують формалізований процес функціонування елементів системи УВ, які охоплюють тільки їх основні технічні характеристики та параметри. При цьому в моделях не беруться до уваги другорядні фактори системи УВ. При моделюванні не можна допускати суттєвих виправлень кількісних технічних характеристик, незважаючи на те, що модель у загальному вигляді не ідентична реальному ЗРК, КП тощо.

Складну систему можна охарактеризувати за допомогою достатньої кількості характеристик та параметрів. Існують два напрямки – це розробка загальної моделі, яка дозволяє отримувати оцінки усіх показників, та часткові моделі, що надають значення окремих характеристик і параметрів [1, 2]. Розробка та реалізація загальної моделі є досить трудомістким завданням, тому доцільно створювати часткові моделі (ЧМ), що відповідають другому напрямку.

Математичний опис, формалізацію процесів, що протікають у наявних зразках озброєння системи УВ, доцільно проводити поетапно. Допускається суттєво спрощувати модель, виключаючи окремі елементи опису зразка та упорядкувати його блочну структуру. До блочної структури входять групи, блоки, які безпосередньо пов'язані з описом станцій та систем. До блоків можуть належати процеси виявлення цілей, узяття їх на автосупровід (АС), пуску ракети та ін. Блочна побудова ЧМ полегшує її управління, програмування, а при проведенні досліджень дозволяє прийняти рішення про необхідність використання окремих блоків для конкретного завдання.

При розробці ЧМ необхідно враховувати досвід ведення бойових дій ППО СВ на сучасному етапі, хоча надмірна деталізація і підвищення точності призводить до ускладнення моделі. Складність моделі визначається метою досліджень та співвідношенням між точністю опису елементів станцій і систем (вхідними даними) й отриманими статистичними характеристиками. Тобто, при моделюванні необхідно прагнути досягти компромісу між точністю результатів та складністю ЧМ. У посібнику запропоновані автономні ЧМ, робота яких проводиться не у реальному масштабі часу, а із застосуванням основних вхідних даних елементів озброєння.

За допомогою ЧМ досліджуються характеристики елементів системи УВ, вплив усіх видів протидії противника та можливі варіанти оптимізації (модернізації) відповідних параметрів; проводиться оцінка роботи елементів (систем) у складних умовах по різних цілях; відпрацьовуються найбільш характерні ситуації, отримуються оцінки ефективності стрільби та УВ, здійснюється аналіз результатів моделювання. ЧМ надає ряд оцінок статистичних характеристик елементів УВ з урахуванням відповідності сучасним вимогам. Це дозволяє сформулювати загальні пропозиції до модернізації (створення нових) елементів схеми УВ для підвищення ефективності її застосування за призначенням.

До переваг моделювання за ЧМ відносять: а) можливість досліджень процесів будь-якої складності з урахуванням великої кількості вхідних параметрів і факторів; б) простоту організації досліджень, відносно короткий час і вартість цих робіт; в) можливість контролю усіх вхідних параметрів і факторів та результатів моделювання; г) достовірність і повторюваність результатів.

Оцінка ефективності стрільби та УВ за допомогою ЧМ достатньо проста, але вимагає перевірку на відповідність моделі і реальної системи проти повітряної оборони (ППО) Сухопутних військ (СВ), яка досліджується. Тобто, потрібне калібрування (відпрацювання) моделі, що буде зводитися до узгодження результатів моделювання з результатами ТН з БС. При цьому загальна задача відпрацювання ЧМ полягає: а) у встановленні однакових вхідних

даних ЧМ і реальному елементу системи УВ; б) у встановленні подібного між параметрами ЧМ і існуючим зразком станції (системи) елемента УВ; в) у обраному об'ємі та умовах проведення експерименту на ЧМ та на реальному зразку озброєння; г) в узгодженні результатів моделювання з підсумками ТН з БС.

Узгодженні результатів моделювання з підсумками ТН з БС, як правило, проводиться шляхом параметричного або структурного доопрацювання ЧМ. Після цього перевіряють статистичну сумісність вихідних параметрів ЧМ з результатами ТН з БС. Таким чином, при напрацюванні ЧМ необхідно прагнути до узгодження основних параметрів моделі та реальних станцій (систем) УВ. Не слід прагнути збігу кінцевих вихідних характеристик ЧМ і станції, що у більшості випадків виявляється неможливим. Якщо узгодження кінцевих вихідних характеристик ЧМ і станції (системи) УВ все ж таки можливе, то остаточне відпрацювання моделі проводимо за ними.

Вибір обсягу та умов проведення досліджень на ЧМ і на реальній системі (її частини) УВ визначається отриманням кінцевих оцінок з обумовленою точністю та достовірністю. При цьому метою ТН з БС (натурного експерименту) є: а) отримання необхідного обсягу, виду і кількості вхідних даних, придатних для введення у ЧМ і проведення моделювання; б) одержання результатів натурних експериментів на станціях і системах УВ при ТН з БС, які можна порівняти і пов'язати з результатами моделювання для уточнення і коригування моделей; в) здобуття необхідного обсягу контрольних статистичних результатів (точок вимірювання) для виключення методичних помилок. Вказана мета ТН з БС повинна бути вирішена при найменшій кількості натурних випробувань з урахуванням реальних можливостей їх проведення. Обираючи кількість випробувань на ЧМ слід підтримувати необхідну точність отримання статистичних характеристик моделювання, враховувати точність вхідних початкових даних.

Питання моделювання стрільби ракетою та УВ викладені у ряді робіт вітчизняних та закордонних авторів. Хоча в цілому літератури на вказану тему недостатньо і важливі питання моделювання висвітлені мало. При напрацюванні навчального посібника автори мали на меті по можливості поповнити цю прогалину і викласти основні питання числового моделювання у систематичному вигляді. При цьому наведено опис і файли (у додатках) кожної ЧМ у середовищі MathCAD. Матеріали доступні курсантам, які навчаються за спеціальністю “Управління діями підрозділів військ ППО СВ” і “Комплекси та системи зенітного озброєння”.

Актуальність запропонованого видання полягає у тому, щоб у простій формі ЧМ, пояснити розв'язання складних задач дисципліни. При цьому вказано на логічну послідовність і взаємозв'язок технічних характеристик елементів озброєння з ефективністю стрільби ракетою та УВ у підрозділі. Слід підкреслити значення імовірнісних моделей, як продукту абстрагування – необхідного етапу у пізнавальному процесі. Бажане підвищення ефективності прийняття рішень за практичними завданнями ППО СВ пояснює актуальність імовірнісних підходів. Розглядається загальна структурно-логічна схема

рішення завдань статистичного синтезу та аналізу при стрільбі ракетою та УВ. Серед типових завдань, що характеризують ефективність бойового застосування виділені завдання виявлення цілей, узяття їх на автосупровід (АС), пуску ракети та формування цілевказівки (ЦВ) і процесу УВ в умовах протидії противника.

Навчальний посібник має три розділи. У першому розділі запропоновано ЧМ з основ стрільби по одиночних цілях; надано числове моделювання значень I та II роду помилок стрільби ракетами та величин умовної імовірності ураження цілі; визначено координатні закони ураження повітряних цілей ЗРК малої дальності та величини загального показника ефективності стрільби ракетою. Відповідні програми у середовищі MathCAD наведені у дод. 1. Також обґрунтовано загальні пропозиції щодо доопрацювання елементів БМ та ракет для підвищення ефективності їх застосування за призначенням.

У другому розділі відображені ЧМ оцінок ефективності стрільби ЗРК малої дальності по повітряних цілях в умовах протидії противника; обчислюються значення умовних імовірностей ураження елементів високоточної зброї (ВТЗ) та ЗРК; розраховуються показники завадостійкості станцій і систем ЗРК малої дальності з урахуванням маневру цілі та значення показників ефективності стрільби ракетою; проведено аналіз автономних дій особового складу БМ при стрільбі ракетами по нетипових цілях; розглядається ведення стрільби ракетами по різних цілях при відпрацюванні цілевказівки з БКП; показана ефективність бойового застосування при стрільбі з використанням телевізійного оптичного візиру (ТОВ) БМ. Відповідні програми у середовищі MathCAD наведені у дод. 2. Наприкінці розділу надаються сформовані загальні пропозиції щодо доопрацювання станцій та систем БМ і ракет для підвищення ефективності їх бойового застосування.

У третьому розділі подано ЧМ з основ управління вогнем зенітних комплексів малої дальності; обчислено значення імовірностей входу цілей у зону цілерозподілу та не виходу їх з зони пуску (ЗПУ), після пуску ракет, при маневруванні; розраховується вплив імовірності правильного виявлення цілей РЛС старшого начальника та РЛС розвідки БМ на ефективність цілерозподілу (ЦР) в умовах протидії стрільбі; визначається математичне сподівання (МС) кількості знищених цілей підрозділом при різних видах ЦР на k -ту добу операції. Відповідні програми у середовищі MathCAD наведено у дод. 3. Обґрунтовано загальні пропозиції до доопрацювання елементів системи УВ для підвищення її ефективності.

На сьогодні результати числового моделювання можуть бути корисні для фахівців, які планують застосування озброєння ППО СВ за призначенням при веденні бойових дій в Україні.

В основу навчального посібника покладено роботи авторів.

Матеріали посібника відпрацьовані спільно обома авторами.

Автори вважають своїм приємним обов'язком виразити вдячність рецензентам В. В. Бурцеву і С. В. Піскунову за зауваження, які сприяли поліпшенню навчального посібника.