При решении оперативно-тактических задач планирования и управления боевыми действиями войск, разработке и испытании вооружения активно используются результаты расчетов различных показателей боевой, военно-экономической, тактической и оперативной эффективности. Без расчетов, которыми занимается теория боевой эффективности, уже нельзя представить обоснование новых образцов оружия, разработку рекомендаций по их боевому применению и анализ динамики военных операций.

Применительно к военным проблемам различают следующие основные направления теории боевой эффективности:

– оценка эффективности огня средств поражения (боевая эффективность вооружения);

– военно-экономическая оценка характеристик и систем вооружения (военно-экономическая эффективность вооружения);

– оценка двусторонних боевых действий войск, подразделений, частей и соединений (тактическая и оперативная эффективность войск).

Каждое из этих направлений имеет свои особенности, проблемы, задачи и методы их решения. Но при анализе военно-экономической, тактической и оперативной эффективности всегда используют результаты расчетов боевой эффективности вооружения.

Следует подчеркнуть, что боевая эффективность вооружения зависит от большого числа факторов, а их учет предполагает иногда значительные трудности. На помощь приходят ЭВМ, позволяющие применять более сложные и точные методы расчетов и тем самым учитывать большее число факторов, влияющих на боевую эффективность.

К настоящему времени разработаны различные методы расчетов боевой эффективности - простые и сложные, точные и приближенные, аналитические и статистические, основанные на применение ручного или машинного труда.

Методическое указание составлено для трёх лабораторных работ, выполняемых студентами в процессе изучения курса "Эффективность

РиСО". Все методические указания содержат необходимые теоретические сведения, порядок проведения, написаны с единых методических позиций и будут способствовать лучшему ведению учебного процесса.

Лабораторная работа № 1. Оценка рассеивания методом статистических испытаний и обработка результатов эксперимента.

Точность попадания является одной из важнейших характеристик создаваемых артиллерийских комплексов, поскольку наряд средств, необходимый для выполнения боевой задачи, а также эффективность действия комплекса зависят от характеристик рассеивания точек падения снарядов.

Характеристики рассеивания снарядов можно быть определить расчетным или опытным путем. При проектировании технических систем возможно применение только расчетных методов, причем результаты вычислений являются составной частью экономической оценки системы в целом. Из-за большой стоимости испытаний опытную отработку систем целесообразно сочетать с расчетными методами для контроля характеристик комплекса.

С появлением быстродействующих ЭВМ стало возможным с высокой точностью проводить электронный эксперимент, имитирующий большое количество случайных факторов, вызывающих рассеивание.

Общий подход к оценке рассеивания рассмотрим на примере неуправляемого артиллерийского снаряда, поскольку с методической точки зрения нет существенных различий в решении этой задачи для других типов систем.

Цель лабораторной работы

– ознакомление с расчетными методами определения рассеивания с помощью ЭВМ;

– определение характеристик рассеивания;

– получение навыков обработки экспериментального материала с оценкой полученных данных.

Теоретическая часть

Отклонение точки падения (x,z) от центра рассеивания вызывается случайными причинами, такими как разбросы начальных скоростей, углов бросания, масс, температур и пр. Если известны законы распределения случайных величин, вызывающих рассеивание, и уравнения движения тела, то с помощью компьютера можно получить действительные характеристики рассеивания.

При создании математической модели движения снаряда приняты следующие допущения:

- снаряд является материальной точкой, на которую действует лишь силы тяжести и лобового сопротивления;

- снаряд движется в нормальной неподвижной атмосфере, которую характеризуют следующие параметры у поверхности Земли: плотность воздуха $\Pi_{0N} = 1,206 кг/м^3$; температура $\tau_{0N} = 288,9K$; давление $p_{0N} = 0,99 \cdot 10^5 Па$; скорость звука $a_{0N} = 340,8 м/с$; ускорение свободного падения; $g = 9,81 м/с^2$. Принят следующий закон изменения виртуальной температуры от высоты:

$$\tau(y) = \begin{cases} 286,9 - 0,006328y \quad \text{при } y \geq 9300\text{м}, \\ 230 - 0,006328(y-9300) + 0,000001172(y-9300)^2 \quad \text{при } 9300\text{м} \leq y \leq 12000\text{м}, \\ 221,5 \quad \text{при} \quad y > 12000\text{м}. \end{cases}$$

- кривизна Земли не учитывается;

- коэффициент формы не зависит от числа Маха.

С учетом этих допущений система уравнений движения примет вид:

$$\frac{dV}{dt} = -g\sin\theta - J_x i_{43} c_{x43}(M)\Pi(y)M^2,$$

$$\frac{d\theta}{dt} = -g\frac{\cos\theta}{V},$$

$$\frac{dy}{dt} = V\sin\theta,$$

$$\frac{dx}{dt} = V\cos\theta,$$

$$\frac{d\Pi(y)}{dt} = -\frac{dy}{dt}\Pi(y)/RT(y),$$

$z = x\rho_0 / \cos\theta_0,$

где $J_k = \dfrac{kp_{0N}\pi d^2}{8m_0}$, $M = \dfrac{V}{a}$, $\Pi(y) = \dfrac{p(y)}{p_{0N}}$, k - показатель адиабаты воздуха; p_{0N} - атмосферное давление у поверхности Земли; i_{43} - коэффициент формы; a - скорость звука; $c_{x43}(M)$ - закон сопротивления воздуха; V - скорость полета; θ - текущий угол наклона траектории; x, y, z - координаты центра масс; ρ_0 - угол вылета в боковом направлении; $p(y)$ - атмосферное давление на высоте y; R - газовая постоянная для воздуха.

Начальные значения случайных параметров, входящих в правые части уравнений, формируются с помощью датчика случайных чисел. В частности, *j*-е значение произвольного параметра ξ_i формируется в виде $\xi_{ij} = M\left[\xi_i\right] + W_{ij} \cdot \sigma_i$, где ξ_{ij} - значение *i*-го параметра при *j*-й реализации; $M\left[\xi_i\right]$ - математическое ожидание *i*-го параметра; W_{ij} - случайное число, характеризующее величину *i*-го параметра при *j*-й реализации, распределенное по нормальному закону с $M\left[W_{ij}\right] = 0$ и $\sigma_{W_{ij}} = 1$.

Полученные таким образом случайные значения параметров вводятся как исходные данные для каждого расчета дальности и бокового отклонения. Число реализаций модели и шаг интегрирования задаются из условия достижения требуемой точности.

Порядок проведения лабораторной работы

1. Студенты самостоятельно прорабатывают методические указания, знакомятся с таблицами случайных чисел, функции Лапласа, функции Колмогорова, подготавливают исходные данные для работы на ЭВМ в виде табл. 1.

Таблица 1.

Параметр	Математическое ожидание	Среднее квадратическое отклонение

Начальная скорость, м/с	V_0	$\sigma_{V_0} = (0,3-0,6)\cdot 10^{-2}V_0$
Угол бросания, градус	θ_0	σ_{θ_0} =(0,1-0,2)^0
Угол вылета в боковом направлении, градус	ρ_0	$\sigma_{\rho_0} = (0,05-0,1)^0$
Коэффициент формы	i_{43N}	$\sigma_{i43} = 0,01 i_{43N}$
Масса, кг	m_0	$\sigma_{m_0}\, 0,001 m_0$

2. Проводятся расчетные работы на ЭФМ. Координаты точек попадания заносятся в табл. 2.

Таблица 2.

Номер	Координаты точек попадания	
	x	z
1 … N	x_1 … x_N	z_1 … z_N

Обработка результатов электронных опытов включает в себя определение:

оценок математического ожидания координат точек попадания

оценок дисперсии

оценок среднего квадратического отклонения

оценки корреляционного момента

угла поворота главных осей рассеивания относительно главных соей рассеивания.

3. В результате расчета получаются координаты n точек падения. Происходит расчет следующих характеристик: μ_X, μ_Z - оценки математического ожидания координат точек падения; σ_X, σ_Z - оценки среднеквадратических отклонений координат точек падения; $\alpha = 0,5 arctg \dfrac{2\operatorname{cov}(X,Z)}{\sigma_X \sigma_Y}$ - угол поворота главных осей рассеивания относительно

осей OX и OY; $\sigma_\xi = \sqrt{\sigma_X^2 \cos^2\alpha + \mathrm{cov}(X,Z)\sin 2\alpha + \sigma_Z^2 \sin^2\alpha}$, $\sigma_\eta = \sqrt{\sigma_X^2 \sin^2\alpha - \mathrm{cov}(X,Z)\sin 2\alpha + \sigma_Z^2 \cos^2\alpha}$ - оценки среднеквадратических отклонений относительно главных осей рассеивания.

Если коэффициент корреляции r мал, то можно считать, что системы случайных величин X и Z практически независимы, а главные оси рассеивания ξ и η параллельны осям координатной системы X, Z.

Дальнейшая обработка результатов эксперимента проводится обычным путем: высказывается гипотеза о нормальности распределения координат точек рассеивания, по критериям согласия проводится подтверждение этой гипотезы и строится доверительный интервал для оценки математического ожидания точек падения снарядов.

Лабораторная работа № 2. Сравнительный анализ двух образцов при различных дальностях их применения.

Задачи работы - оценить влияние возможных ТТХ изделий на исход боя и дать рекомендации на назначение этих характеристик.

Теоретическая часть (формульные зависимости):

В качестве примера рассматривается дуэльная ситуация образцов военной техники. Один из возможных вариантов - рассмотрение дуэльной ситуации боя танка и противотанковой системы (ПТС).

Пусть танк и ПТС сближаются со скоростями V_1 и V_2 (индекс «1» обозначает параметры, характеризующие танк, а индекс «2» - ПТС). Необходимо оценить исход боя этих боевых единиц с целью дальнейшего назначения их тактико-технических характеристик (ТТХ).

В общем случае учитываются следующие исходные данные, включая характеристики рассматриваемой техники:

- начальное расстояние между техникой;
- погодные условия;
- характеристика обнаружения противника;
- время подготовки выстрела, скорострельность;
- закон, характеризующий точность стрельбы, в зависимости от дальности до цели;
- вероятность поражения цели,
- учет противодействия со стороны противника.

Процесс розыгрышей соответствующих параметров в рамках функционирования ИМ дуэльной ситуации можно разбить на следующие этапы:

Разобьем процесс конструирования ИМ и розыгрышей соответствующих параметров на этапы.

Этап I. Розыгрыш внешних условий. К примеру, с использованием равномерного распределения, на основе статистики, может быть разыграна ясная или пасмурная погода, влияющая на обнаружение противника.

Этап II. Розыгрыш начальной дальности боя D_0. Бой может начинаться с максимальной дальности D_{max_0}, к примеру, $D_{\max_0} = 3000$ м.

Этап III. Розыгрыш вероятностей обнаружения друг друга. Эти вероятности зависят от типа приборов боевых единиц и типа погоды Для реализации на ЭВМ, с учетом ясной (Я) и пасмурной (П) погоды, их можно описать аналитически.

Для танка: $D < 1000$ м $P^{Я}_{ОБ1} = 1$; $D > 1000$ м $P^{Я}_{ОБ1} = 1 - 0{,}0004(D - 1000)$; $P^{П}_{ОБ1} = 1 - 0{,}00033D$.

Для ПТС: $D < 500$ м $P^{Я}_{ОБ2} = 1$; $D > 500$ м $P^{Я}_{ОБ2} = 1 - 0{,}0036(D - 500)$; $P^{П}_{ОБ2} = 1 - 0{,}0004D$.

В случае, когда оба объекта обнаруживают друг друга одновременно, сравнивают времена подготовки выстрела; если $t_{под_1} = 2c$ и $t_{под_2} = 3c$, то первым стреляет танк, однако ПТС его сразу обнаруживает.

Если оба объекта друг друга не обнаружили, то они сближаются, и розыгрыш процесса обнаружения повторяется с некоторым интервалом по времени, например $\Delta t = 10c$.

Этап IV. Розыгрыш вероятности попадания первого стреляющего, и если он попал сразу идет проверка на предмет поражения.

Зависимости вероятностей попадания можно аппроксимировать следующим образом:

- для танка: $D > 500$ м $P_{П1} = 1 - 0{,}0004(D - 500)$, $D < 500$м $P_{П1} = 1$.
- для ПТС: $D > 1000$м $P_{П2} = 1 - 0{,}0005(D - 1000)$, $D < 1000$м $P_{П2} = 1$.

Вероятности попадания объектов для различных дальностей могут быть получены аналитически с помощью функций Лапласа при известных габаритах целей и ошибках стрельбы.

Этап V. Розыгрыш поражения зависит от курсового угла обстрела q. Аналитическая аппроксимация вероятностей поражения может быть представлена в виде

$$P_{пор_1} = 0{,}7 - 0{,}0033\left(q - 30^0\right),\ P_{пор_2} = 0{,}5 - 0{,}0033\left(q - 30^0\right).$$

Этап VI. Расчет моментов времени последующих выстрелов. Задавшись значениями скорострельностей λ_1, $\lambda_в$, определим промежутки между выстрелами: t_1 и t_2. Эти времена можно не разыгрывать и брать их средние значения.

Возможен стохастический переход, если считать поток событий пуассоновским, т.е. интервалы времени между выстрелами получать розыгрышем по интегральной функции. Определение времен t_1 и t_2 проводится в соответствии с графиком.

Интегральная функция описывается выражением $F(t) = 1 - e^{-\lambda t} = R$, тогда $t_i = -\dfrac{1}{\lambda_1}\ln\left(1 - R_i\right),\ i = \overline{1,2}$.

Если первый стреляющий не поразил противника, то он начинает готовить выстрел и производит его через время t_1, если не был поражен сам за время подготовки выстрела.

Здесь необходима временная проверка, кто первый производит 2-ой выстрел и т.д.

Процесс боя продолжается до поражения одной из сторон, а затем весь процесс розыгрыша (этапы I - VI) повторяют n раз, и вероятности победы каждой из сторон определяются по зависимостям $W_1 = \dfrac{N_{уд_1}}{n}$; $W_2 = \dfrac{N_{уд_2}}{n}$ причем $W_1 + W_2 = 1$. Здесь $N_{уд_1}$, $N_{уд_2}$ - число успешных исходов для танка и ПТС, соответственно.

В момент выстрела любой из единиц фиксируется текущая дальность, по которой определяются все остальные параметры боя. В целях выбора наилучших параметров в данной имитационной модели можно варьировать основные ТТХ (λ, и т.д.). Если учесть скорости полета снарядов, то можно получить вариант одновременного поражения противников, что, впрочем, маловероятно. Кроме того, на исход боя может влиять текущий боекомплект каждой из сторон, т.к. одна из сторон, когда он заканчивается, выходит из боя.