



Максим Иванов

Тем, кто хочет стрелять далеко...

Продолжение. Начало в №3 2009

В предыдущем материале мы выделили две группы проблем, возникающих перед стрелком на большие дистанции – это техника производства выстрела и расчёт поправок. Мы договорились подразумевать, что базовая стрелковая подготовка должна быть достаточна для решения задач дальней стрельбы и сконцентрировали внимание на проблемах расчёта поправок с использованием баллистических калькуляторов. Был дан краткий обзор переменных, ввод которых необходим для вычисления значений вертикальной и горизонтальной поправок, также была рекомендована последовательность действий при получении ошибки в расчётах – в первую очередь проверка «ноля» и правильности работы механизма ввода поправок прицела. После этого мы поставили под сомнение правильность значения начальной скорости пули и её (скорости) температурной зависимости, как наиболее вероятные источники ошибки в расчётах.

Если после коррекции начальной скорости мы получили хорошее совпадение расчётной траектории с реальной на ближних и средних дистанциях, а с увеличением дистанции обнаружили прогрессирующую ошибку, то вероятно мы имеем дело с суммарной ошибкой математической модели баллистической программы. Для понимания проблемы необходимо более подробно разобраться, как работает баллистический калькулятор.

Уже давно описана математическая модель, которая может очень точно предсказать траекторию снаряда/пули, учитывая его поступательное и вращательное движение, а также силы и моменты которые с этими видами движения связаны, более того быстроедействие даже домашних современных компьютеров

достаточно для получения численного решения. Единственной и непреодолимой проблемой является получение так называемых «начальных условий» – значений переменных и коэффициентов, необходимых для решения уравнений математической модели. Получить «начальные условия» с точностью, достаточной для успешного расчёта траектории, может позволить себе только крупная баллистическая лаборатория, коих во всём мире единицы – это колоссальная работа, которую нужно провести для каждого вида пули.

Используемая в подавляющем большинстве современных баллистических калькуляторов математическая модель – это модель центра масс или различные варианты её упрощения. Она рассматривает пулю, как точку, движущуюся в поле действия силы тяжести, силы сопротивления воздуха и силы, создаваемой ветровой нагрузкой. Направление действия и значение силы тяжести известны, трудности с точным определением ветровой нагрузки связаны с невозможностью измерить скорость и направление воздушных потоков по дистанции. Основной проблемой для расчёта является значение силы сопротивления воздуха. Эта сила имеет переменную величину, её мгновенное значение нелинейным образом зависит от мгновенной скорости пули, а также от её (пули) массы, диаметра, формы и плотности среды.

Для решения этой проблемы необходимо получить зависимость сопротивления воздуха от скорости снаряда при прочих равных условиях – то есть задаться какой-то стандартной плотностью среды и стандартной формой снаряда. Что и было сделано в разное время для снарядов различных форм. Полученные зависимости стали называть функциями сопротивления. На иллюстрациях представлен внешний вид некоторых снарядов стандартных форм, для которых были получены функции сопротивления:

Графически типичная функция сопротивления выглядит следующим образом (см. график 1).

На указанном графике скорость снаряда исчисляется в числах Маха – отношении мгновенной скорости снаряда к скорости звука в воздухе при данных условиях. Коэффициент сопротивления рассчитан для единицы массы снаряда, отнесённой к квадрату единицы его калибра (например, для снаряда массой один фунт и калибром один дюйм). Отношение массы пули к квадрату её калибра

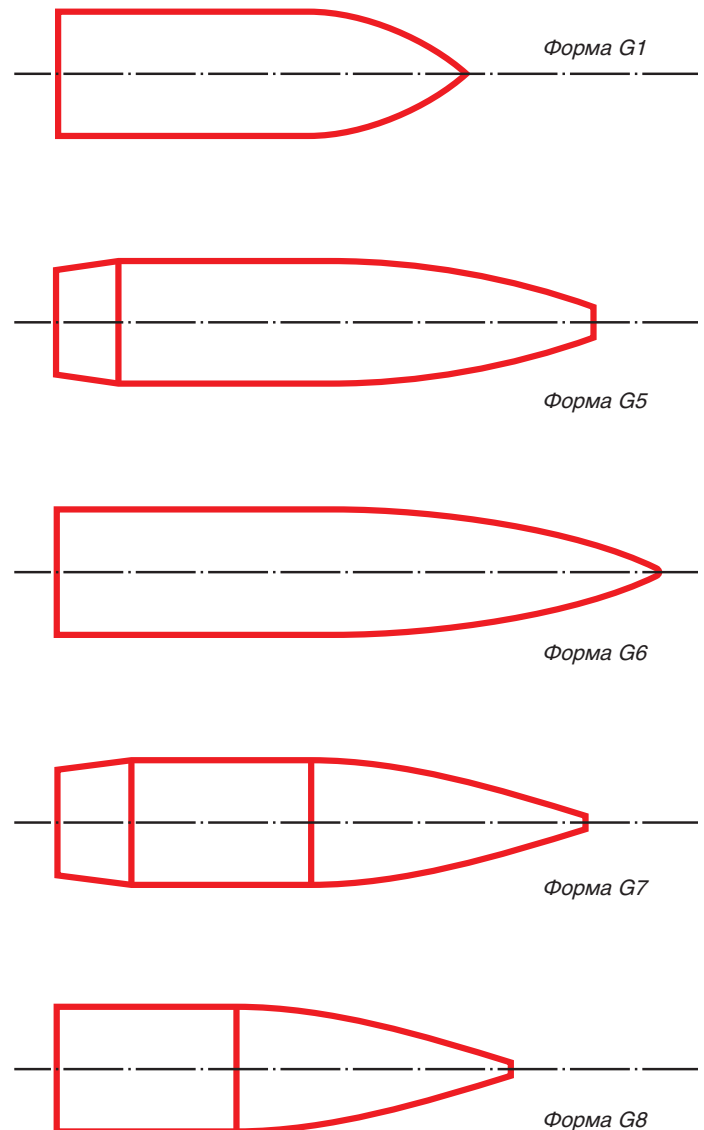


График 1. Типичная вид функции сопротивления

называется поперечной нагрузкой. Значение поперечной нагрузки необходимо для получения значения коэффициента сопротивления для снаряда стандартной формы, но любой массы и калибра, при любой скорости.

Пример: имеется функция сопротивления для снаряда какой-то стандартной формы, необходимо получить значение коэффициента сопротивления для снаряда (такой же стандартной формы) массой 11 г, и калибром 7,82 мм, на скорости 800 м/с. Допустим, функция сопротивления получена для снаряда массой 1 кг и калибром 1 м (то есть этот снаряд имеет поперечную нагрузку равную 1 кг/кв. м) и значение коэффициента сопротивления такого снаряда на скорости 800 м/с равно 10. Вычисляем значение поперечной нагрузки для нашего снаряда: $0,011 \text{ кг} / (0,00782 \text{ м})^2 = 179,9 \text{ кг/кв. м}$. И, наконец, значение коэффициента сопротивления для нашего снаряда равно $10/179,9=0,0556$. Упрощённо получение численного решения для траектории снаряда стандартной формы можно описать следующим образом:

Внешний вид некоторых снарядов стандартных форм



Начало отсчёта – дульный срез оружия (точка вылета), снаряд имеет скорость равную начальной скорости, перемещение, снижение и боковое перемещение (ветровой снос) снаряда равны нулю. С помощью функции сопротивления находится значение сопротивления воздуха для начальной скорости с учётом массы и калибра снаряда. Берётся интервал времени (чем меньше – тем точнее расчёт траектории) для которого рассчитывается значение средней (на этом интервале) скорости, вычисляется перемещение, снижение и ветровой снос за это время. Следующий шаг – снаряд имеет скорость, перемещение, снижение и боковое перемещение, рассчитанные в предыдущем шаге. Для новой мгновенной скорости с помощью функции сопротивления вычисляется новое значение сопротивления воздуха и все вычисления повторяются для нового интервала времени, и так до достижения снарядом искомого перемещения. Далее снижение пересчитывается в вертикальную поправку, а боковое перемещение – в горизонтальную. Всё

просто, когда наш снаряд стандартной формы и мы предполагаем функцией сопротивления для этой стандартной формы снаряда – единственная наша задача пересчитать сопротивление воздуха на данную массу и калибр снаряда (поперечная нагрузка) и на данную плотность среды (как мы говорили выше, функция сопротивления вычисляется для какой то стандартной плотности воздуха, пересчёт сопротивления воздуха на новую плотность среды сложности не представляет и приводить его здесь мы не будем).

Если бы для каждой формы снаряда/пули имелась своя функция сопротивления, то не было бы необходимости в понятии «баллистический коэффициент» (БК), его бы заменяла поперечная нагрузка, значение которой элементарно вычислить для каждой пули, зная её массу и калибр.

Уже понятно, что необходимость в понятии БК появилась из-за невозможности иметь функцию сопротивления для каждой из великого многообразия форм пуль стрелкового оружия. На самом деле долгое время единственной доступной была функция сопротивления G1, как можно увидеть, форма снаряда этой функции сопротивления совсем не похожа на формы пуль современного стрелкового оружия. Это связано с тем, что первым родом войск, которому понадобилось рассчитывать свою траекторию, была артиллерия. Назначение БК всё то же – получить значение коэффициента сопротивления данной пули, при данной мгновенной скорости, используя доступную функцию сопротивления стандартной формы снаряда. Упрощённо вычисление баллистического коэффициента относительно модели G1 выглядит следующим образом: производитель пули практическим или расчётным способом получает значение коэффициента сопротивления для начальной скорости испытываемой пули и далее вычисляет, при каком значении поперечной нагрузки снаряда стандартной формы G1 для заданной скорости (начальная скорость данной пули) функция сопротивления даст значение коэффициента сопротивления, равное полученному для тестовой пули.

Итак, численно значение баллистического коэффициента испытываемой пули относительно стандартной показывает какую поперечную нагрузку должна иметь стандартная пуля, чтобы показывать коэффициент сопротивления равный полученному для испытываемой пули при начальной скорости. Например, возьмём крайне распространённую пулю .30 калибра Sierra HPBT 168 гран, при начальной скорости около 790 м/с и стандартных атмосферных условиях (давление – 1013 мБар, температура – 15°C, влажность 0 % – условия ICAO) производитель указывает БК относительно модели G1 = 0,454. Это значит, что коэффициент сопротивления пули Sierra при 790 м/с скорости будет таким же, как у пули стандартной формы G1, имеющей поперечную нагрузку равную 0,454 фунта на квадратный дюйм при такой же скорости (хотя сама пуля Sierra имеет поперечную нагрузку равную 0,253 фунта на квадратный дюйм).

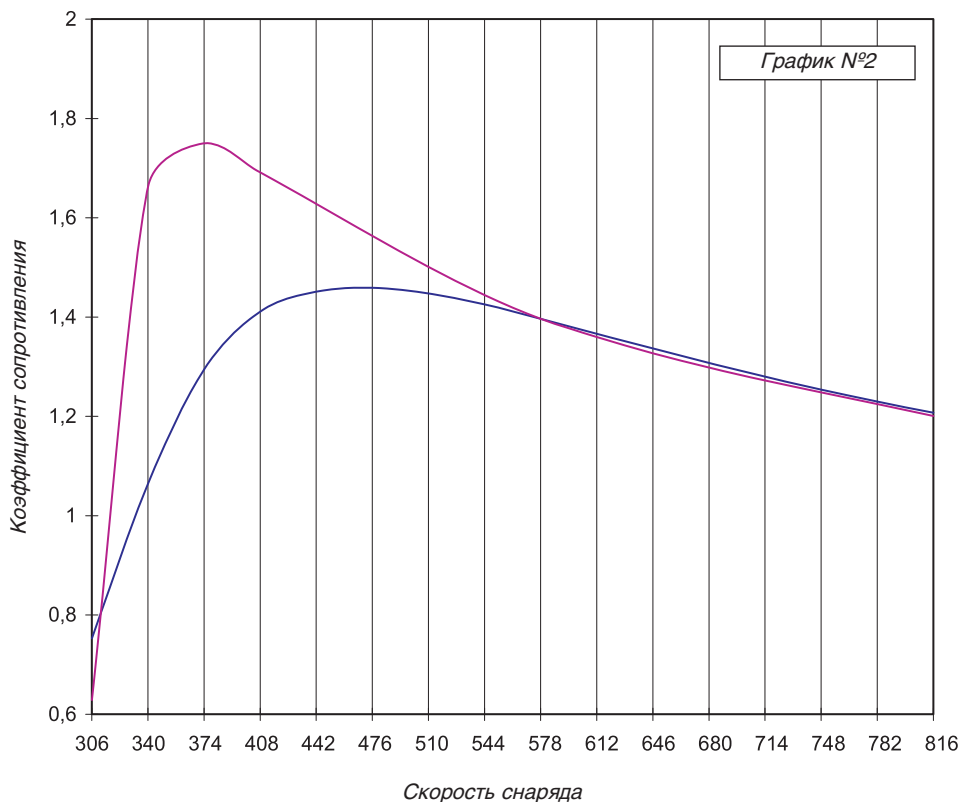
Итак, численно значение баллистического коэффициента испытываемой пули относительно стандартной показывает какую поперечную нагрузку должна иметь стандартная пуля, чтобы показывать коэффициент сопротивления равный полученному для испытываемой пули при начальной скорости. Например, возьмём крайне распространённую пулю .30 калибра Sierra HPBT 168 гран, при начальной скорости около 790 м/с и стандартных атмосферных условиях (давление – 1013 мБар, температура – 15°C, влажность 0 % – условия ICAO) производитель указывает БК относительно модели G1 = 0,454. Это значит, что коэффициент сопротивления пули Sierra при 790 м/с скорости будет таким же, как у пули стандартной формы G1, имеющей поперечную нагрузку равную 0,454 фунта на квадратный дюйм при такой же скорости (хотя сама пуля Sierra имеет поперечную нагрузку равную 0,253 фунта на квадратный дюйм).



Итак, как уже наверно ясно, идея расчёта траектории с использованием баллистического коэффициента относительно модели G1 – это подмена пули, для которой мы рассчитываем траекторию, пулей стандартной формы G1 с такой поперечной нагрузкой (численно равной указанному производителем БК), при которой значение коэффициента сопротивления, вычисленного с помощью известной стандартной функции сопротивления G1, будет равно коэффициенту сопротивления рассчитываемой пули при начальной скорости. Именно в этом и заключается причина ошибки, которую мы получаем при расчёте траектории с использованием модели G1 – форма пули этой модели совсем не похожа на формы современных дальнобойных пуль. На близких дистанциях расчёт даёт хорошее соответствие с реальной траекторией, а с увеличением дистанции возникает быстро прогрессирующая ошибка.

Попробуем проиллюстрировать это графически (см. график 2).

В качестве примера опять возьмем пулю Sierra 168 гран НРВТ с БК(G1-ICAO) = 0,454 для начальной скорости около 790 м/с. Сравним две кривые сопротивления G1 – функция сопротивления, относительно которой ведётся расчёт (синий цвет) и G7 – функция сопротивления, форма снаряда которой очень близка к форме пули Sierra, которую мы используем в качестве примера (красный цвет). Обе функции сопротивления скорректированы с помощью БК и для начальной скорости около 790 м/с имеют одинаковое значение коэффициента сопротивления. Из графика видно, что вплоть до скоростей 600-550 м/с для стандартных условий ICAO (соответствует дальности 400-450 м) обе функции сопротивления параллельны и очень близки друг к другу, а далее следует нарастающее расхождение, которое и даёт наблюдаемую нами на практике прогрессирующую ошибку.



Итак, после того как мы в общих чертах выяснили как работает баллистический калькулятор, что такое и какую роль в расчёте играет баллистический коэффициент и почему при расчёте траекторий современных пуль с использованием модели G1 наблюдается несовпадение вычисленной траектории с практической, осталось понять как всё-таки с помощью баллистического калькулятора получить значения поправок для стрельбы на выбранную дистанцию с удовлетворительной точностью.

В настоящее время доступны функции сопротивления снарядов множества стандартных форм (G5, G6, G7, G8), гораздо более близких к формам современных пуль. Если вы имеете калькулятор, который может вычислять траекторию относительно этих функций, то всё что нужно сделать это выбрать функцию сопротивления форма снаряда которой наиболее близка к форме вашей пули, а также получить



значение баллистического коэффициента вашей пули относительно выбранной функции сопротивления. Несмотря на то, что в большинстве своём доступны значения БК различных пуль относительно модели G1, пересчитать БК(G1) например в БК(G7) – дело техники, и если вы обладатель калькулятора с возможностью расчёта траектории относительно нескольких функций сопротивления, такой пересчёт там должен быть предусмотрен.

Если ваш калькулятор ограничен моделью G1, то необходимо всю траекторию разбить на два или более интервала дальностей, для каждого из которых использовать свой БК. Например до 400 метров использовать БК, указанный производителем боеприпаса, для дистанций от 400 до 700 метров с помощью данных стрельбы подобрать значение БК, которое при подстановке в расчёт будет давать результаты, совпадающие с практическими поправками, то же сделать для дистанций свыше 700 метров. Некоторые модели баллистических калькуляторов предусматривают возможность использования для расчёта множественного БК, в остальных случаях это нужно делать вручную – в зависимости от того в каком интервале находится дистанция, на которую необходимо произвести расчёт, подставляется то или иное значение БК.

Существуют баллистические калькуляторы, которые используют для расчёта сильно упрощённую математическую модель и может выйти так, что даже использование множественного БК не позволит получить поправки с удовлетворительным соответствием с практическими. В этом случае исправить ситуацию может построение т. н. «мнимой» траектории. Для этого, как и в случае с множественным БК, траектория разбивается на участки, на каждом из которых совместно с БК корректируется начальная скорость, таким образом, чтобы обеспечить приемлемое совпадение расчётных поправок с практическими.


Все описанные выше методы коррекции, необходимые для выработки методики работы с имеющимся у вас баллистическим калькулятором, требуют проведения достаточно большого количества серий выстрелов на различные дистанции тестируемых пуль. Для получения результатов, приемлемых для анализа и в итоге вычисления

необходимых коррекций тех или иных переменных, необходимо минимизировать следующие факторы: ветровая нагрузка, мираж, переменное освещение.

Боковой ветер, поворачивая ось пули вокруг центра тяжести, вследствие гироскопического эффекта, вызывает вертикальное смещение пули. Этот эффект называют вертикальным ветровым сносом. Для пуль, стабилизируемых правыми нарезами ветер слева направо опускает пулю и наоборот. Вычислить величину этого эффекта возможно, но для этого необходимо знать положение центра тяжести пули, центра приложения давления, осевой и поперечный моменты инерции пули и другие величины, значениями которых мы не располагаем. Если рассматривать вертикальный ветровой снос как величину, связанную с горизонтальным ветровым сносом, то грубо оценить его можно следующим образом: на дистанции 100 метров величина вертикального ветрового сноса составляет 30-50 % от горизонтального, с увеличением дистанции значение вертикального ветрового сноса уменьшается в процентном соотношении и нарастает в абсолютном. Например, если вы пристреливаете оружие на 100 метров и боковой ветер составляет, например, 4 м/с, горизонтальный ветровой снос составляет, например, 4 см, то следует ожидать вертикального ветрового сноса до 2 см, что на 500 метров даст ошибку как минимум 10 см.

Эффекты миража и переменного освещения тоже могут дать ошибку при определении истинной поправки на какую либо дальность.

Вывод: лучшее время для проведения стрелковых тестов – это раннее утро и вечер перед закатом.

Необходимо отметить ещё следующее: чтобы не погрязнуть в уточнении переменных и терзании своего баллистического калькулятора до максимального совпадения расчётных поправок с практическими, необходимо понимать, что точность расчёта на какую-либо дистанцию должна зависеть от кучности, которую вы можете на эту дистанцию показать. Для начинающих достаточной будет точность определения поправок в половину кучности. Например если на 700 метров стрелок демонстрирует группу в 30 см, то желание добиться совпадения поправок с точностью 5 см – наверное самообман. Совпадение поправок с точностью в четверть кучности можно считать уже весьма достойным результатом. 

Соревнования снайперов в Краснодаре

13-21 сентября в Краснодаре состоятся восьмые международные соревнования снайпер пар подразделений специального назначения, посвящённые памяти Виктора Лисовского.

Предполагается участие до 50-ти команд, в том числе 20-ти из ближнего и дальнего зарубежья. Категории оценки и награждения: группа полицейских упражнений, группа ночных упражнений, группа дальних упражнений, группа упражнений IPSC.

Отдельные награждения: за дуэль, за искусство маскировки, специфика боевой работы снайпера. По наименьшей сумме мест во всех группах упражнений будут определены лучшие снайперские пары.

На этой же базе с 24 по 27 сентября пройдут открытые соревнования среди любителей высокоточной стрельбы, на которые приглашаются владельцы самых разнообразных высокоточных винтовок. Специально для «гражданских» стрелков

будет предложена укороченная программа снайперских соревнований за вычетом упражнений: «искусство маскировки», «специфика боевой работы снайпера» и дуэли. Возможно, и эти соревнования станут традиционными. Организацией открытого турнира занимается краснодарское отделение ФПСР. Детали можно уточнить у Владимира Атаманенко по телефону +7 (910) 380 00 31 или электронной почте ipsc-nn@yndex.ru.