

Гарольд Р. Вогн

**ФАКТОРЫ
ТОЧНОСТИ
ВИНТОВКИ**

Труд жизни выдающегося ученого, стремящегося разгадать секреты «Экстремальной точности винтовки»

Precision
SHOOTING

Манчестер, Коннектикут, США

Признательности

Ниже приведен частичный список лиц, которые содействовали технической экспертизе и помогли автору в редактировании книги.

Ed Adams (инженер) – стрельба бенчрест, Туннельное стрельбище

Roy Baty (доктор физич. наук, аэро) – математика, распространение потока, Туннельное стрельбище

W. T. Atkinson (изготовитель штучных стволов) – работы по стволам

Harold Bennet (магистр, инженер-электрик) – электроника, стрельба бенчрест

James K. Cole (доктор физич. наук, аэро) – теневая фотография

Robert Croll (магистр, инженер-электрик) – технология теневой фотографии

Frank A. Hemsted (изготовитель обжимных прессов для пуль – ныне покойный) – обработка развертками и прессы

Jack E. Jackson (доктор физики и математики, химик) – проблемы точности в бенчресте, химия, работа с теневой фотографией, первичное редактирование

Walter Jankowsky (Cook Bullets, ныне покойный) – изготовление пуль, рэйлганы

A. A. Lieber (магистр, инженер-электрик, ныне покойный) – проблемы точности, редактирование

George Reis (физик) – внутренняя баллистика, измерения

Frank Tirrell (оружейник) – изготовление стволов, технология рэйлгана, стрельба бенчрест

Mark Vaughn (доктор физич. наук, инженер-технолог) – конструирование, конструкция резб, Туннельное стрельбище

Leslie Vaughn (магистр химии) – химия

Члены Оружейного клуба Зиа, которые помогали в изготовлении Туннельного стрельбища (Stan Barnhart, John Winder, Allan Rittgers, Richard Henderson, Dick Vivian и другие), а также Bill White.

Посвящение

Эта книга посвящается

моей жене Mary,

которая поддерживала меня все это время

и редактировала черновик книги.

Об авторе

Гарольд Рой Вогн (Harold Roy Vaughn) родился в 1924 году на семейной ферме в нескольких милях к югу от Амарильо, Техас. После окончания средней школы, он поступает в Амарильский Юношеский Колледж в Сентябре 1941 года, чтобы учиться на инженера. Он поступает добровольцем в Армейский Авиационный Резерв (начальная ступень Военно-Воздушных Сил США) в Июне 1942 года, и отправляется на службу в Феврале 1943 года. Он налетал 100 боевых миссий на P-47 и P-51, базировавшихся на Новой Гвинее, Моротай, Филиппинах, в Китае и Окинаве, был награжден Воздушной Медалью с четырьмя Дубовыми Ветками и семью боевыми звездами за время своей службы. Полковник Чарльз Линдберг участвовал в нескольких миссиях в составе эскадрильи Гарольда в качестве гражданского технического консультанта с целью демонстрации возможности обеспечения большего радиуса действия самолета при оптимальных установках газа и скоростях вращения винта. Гарольд вернулся к гражданской жизни в Январе 1946 года в Амарильский Юношеский Колледж, чтобы закончить последний семестр второго курса. Летом 1946 года он поступил в Университет Колорадо, где получил степень бакалавра аэродинамики в 1948 году, а степень магистра аэродинамики в 1949 году. Он работал в Исследовательской Лаборатории Эймс НАКА (теперь НАСА), Моффет Филд, Калифорния с Сентября 1949 по Сентябрь 1951, где участвовал в исследованиях аэродинамики стреловидного крыла. В Сентябре 1951 года он попадает в Национальную Лабораторию Сандия, Альбукерк, Нью Мексика, в качестве сотрудника Аэродинамического Отдела. Он был выдвинут на должность Руководителя Аэробаллистического Отдела в Июле 1959 года, и занимал эту должность до ухода на пенсию из Национальной Лаборатории Сандия (НЛС) в 1986 году. Этот отдел обеспечивал исследования и разработку проблем динамики полета и аэродинамики, а также конструирование оборудования для ядерного оружия. В качестве руководителя отдела, он осуществлял техническое руководство большим штатом ученых.

Гарольда называют в НЛС «дедушкой» аэробаллистической/полетной технологической базы для ядерного оружия. В начале 1950-х он определил баллистическую проблему резонанса вращения-тангажа на тактических бомбах. Он математически смоделировал это движение и потом рекомендовал устанавливать выступающие пластины, наклоненные пластины и вращательные ракеты для вращения бомбы с определенной частотой, что устраняло движение по осям тангажа/рыскания. Это решение использовалось на всех ядерных бомбах и ракетных зондовых системах в НЛС. Он был ответственным за конструкцию аэродинамической части ракетного носителя Мах 5, предназначавшегося для тестирований баро-запальных систем в 1957 году. Он был пионером в использовании компьютеров для расчета параметров запуска с целью минимизации рассеивания для нескольких сотен неуправляемых измерительных ракет, запущенных на Гауаи и острове Джонсона во время высотных ядерных испытаний с 1958 по 1962 годы. Он был ответственным за аэродинамическую конструкцию 14000 фунтовой ракетной системы Стрипи, которая была разработана в конце 1962 года для доставки 560 килограммовой ядерной боеголовки на высоту 150 километров для испытания «Шах и мат» на острове Джонсона во время Доминиканской серии высотных испытаний. Он разработал и опубликовал теории для анализа движения и рассеивания аппаратов для входа в атмосферу, включая эффекты резонанса вращения, термальной дисторсии теплового поля, аэродинамической и инерционной асимметрии, вращения и экзоатмосферной ядерной атаки. Одна из этих публикаций часто упоминается в книге F.J. Regan'a 1984 года «Динамика аппаратов для прохождения атмосферы». Он разработал и опубликовал теорию для баллистического совпадения (одна и та же точка попадания для идентичных условий запуска) артиллерийских снарядов с ядерными и бризантными боеголовками. Эта теория идентифицирует необходимые для совпадения инерциальные параметры, которые необходимы Национальным Лаборатори-

ям Лос Аламос и Лоуренс Ливермор для конструирования ядерных боеголовок. Он разработал и опубликовал всеобъемлющую теорию расчета сил и моментов вращающихся снарядов. В начале 1980-х он опубликовал несколько вариантов решений формул Навье-Стокса для описания движения жидкости внутри вращающихся вращающихся цилиндров, используя суперкомпьютер Крэй. Это первое теоретическое решение, описывающее неустойчивости полета стабилизируемых вращением жидкостно-наполненных артиллерийских снарядов. Он также был инициатором множества других программ, таких как (1) использование впервые компьютеров для обеспечения полного расчета траекторий бомб, снарядов, ракет, спускаемых аппаратов и др., (2) работа с организацией Полевого Тестирования НЛС с целью разработки миниатюрных 3-осевых систем для использования в бортовых тестовых аппаратах, измеряющих угловое движение, с последующей передачей данных на наземную телеметрическую станцию, и (3) задумка и создание Лаборатории Моделирования Полета на базе НЛС.

Гарольд получил премию по механике и управлению полетом 1974 года Американского Института Аэронавтики и Астронавтики. Эта награда была за «его фундаментальный вклад в понимание механики полета спускаемых аппаратов, бомб и снарядов, а также за новшества в аэродинамическом конструировании, направленные на стабилизацию и минимальное рассеивание для сверхзвукового полета». Он получил Награду За Выдающуюся Гражданскую Службу от Департамента Армии США в 1976 году за решение серьезной баллистической проблемы со снарядом M422. Подвижность частей внутри снаряда было причиной сильного недемпфируемого нутационного движения, которое увеличивало лобовое сопротивление, существенно уменьшая дальность полета. В 1982 году он получил «Награду за непревзойденное мастерство» Департамента Энергетики из рук Генерал-майора W.W. Hoover'a за значительный вклад в программу ядерного оружия за «Баллистическое Подobie» артиллерийских снарядов.

У Гарольда много увлечений – охота на крупную дичь, рисование маслом, фотография, электроника, катание на лыжах, рыбная ловля нахлыстом, сад, сверхлегкая авиация и точная стрельба. Его преклонные годы сделали многие из увлечений приятными воспоминаниями, но некоторые, требующие небольших физических усилий, все еще занимают его. Над доской в его большом рабочем кабинете висит волшебный олень, занимающий по сей день 13 место в книге рекордов. Большой шлем по барану украшает каминную стену. Множество других охотничьих трофеев также украшают кабинет. Небольшая хорошо экипированная фотолаборатория примыкает к его кабинету. Короткий коридор ведет в мастерскую в заднем крыле его гаража, в которой находится токарный станок Clausing и вертикально-фрезерный станок, а также большое количество другого оборудования. Эта хорошо укомплектованная мастерская используется по сей день для проектов, связанных с точной стрельбой.

Джек Е. Джэксон

Содержание

Глава	Стр.
Признательности.....	3
Об авторе.....	4
Содержание.....	6
1 Введение.....	8
Содержит данные по ожидаемой точности различных типов винтовок и информацию о том, почему и как была проведена настоящая работа.	
2 Внутренняя баллистика.....	12
Обсуждаются методы измерения давления в патроннике, экспериментально определяются все внутриваллистические величины для данного патрона (270 Винчестер) для использования в последующих главах. Обсуждаются такие вещи, как сила врезки пули, различные пороха, разрушения гильз.	
3 Конструкция патронника и пульного входа.....	32
Обсуждаются методы изготовления патронника и пульного входа и их влияние на точность. Анализируются различные типы нарезов и проблемы стволов.	
4 Вибрация ствола.....	38
Детализированные измерения и теоретические расчеты вибрации ствола приводятся совместно с методами уменьшения ствольной вибрации. Влияние вибрации ствола измерено на спортерах, бенчрест винтовках и рэйлганах.	
5 Проблемы оптических прицелов.....	76
Исследованы проблемы оптических прицелов и их крепления и найдены некоторые методы решения этих проблем.	
6 Подвижность в резьбовом соединении ствола и ресивера.....	82
Экспериментально доказано, что резьбовое соединение ствола и ресивера движется в результате ударов при выстрелах. Описано простое решение этой проблемы.	
7 Дульный выхлоп.....	96
Влияние наклона пули в стволе и дульного выхлопа на рассеивание были определены экспериментально и теоретически. Методы уменьшения рассеивания от этого источника также представлены в этой главе.	

Глава	Стр.
8 Проблемы сердечников пуль.....	120
<p>Было измерено прокручивание сердечников пуль из-за возникающего при выстреле скручивающего момента, и это оказалось проблемой. Анализируются другие проблемы пуль.</p>	
9 Разбалансировка пуль.....	132
<p>Был измерен статический и динамический баланс пуль и теоретически и практически определено влияние разбалансировки на рассеивание.</p>	
10 Внешняя баллистика.....	142
<p>Показано в деталях движение пули после покидания ствола, и найдена зависимость этого движения от заданного начального возмущения. Влияние ветра, фактора гироскопической стабильности и баллистического коэффициента на траекторию пули показаны в деталях. Обсуждаются конструкции хронографов и их использование. Также описываются ветровые датчики и их использование.</p>	
11 Другие проблемы.....	174
<p>Различные проблемы, такие как чистка стволов, покрытие пуль, конструкции пуль без ветрового сноса, напряжение в дульце гильзы и техника стрельбы обсуждаются в данной главе.</p>	
 Приложения/Другое 	
А Конструкция акселерометра.....	184
В Компьютерная программа по вибрации ствола.....	190
С Конструкция приспособлений для балансировки пуль.....	194
Д Компьютерная программа Шесть Степеней Свободы (6DOF).....	200
Е Создание Туннельного стрельбища.....	204
Ф Рэйлган.....	208
Г Теневая фотография.....	210
Ссылки.....	214

Глава 1

Введение

Каких-то 45 лет назад, когда я увлекся охотой на крупную дичь, я был не удовлетворен точностью коммерческих винтовок. Вы просто не хотите промазать после проведенных в поисках большого трофея дней а иногда и недель, и, в конце концов, получив возможность сделать один выстрел с расстояния триста ярдов или более. Большинство спортивных винтовок недостаточно точны для такого дальнего выстрела. Коммерческие винтовки, которые я тестировал, стреляли 5-патронные группы в пределах от 4 до 12 дюймов на 300 ярдов, а это недостаточно кучно для серьезного охотника за трофеями.

Сейчас многие из вас могут сказать, что их винтовка в состоянии стрелять точнее, чем они сами могут из нее стрелять. Я соглашусь с этим, если вы считаете себя одним из тех людей, которые просто не могут стрелять из-за боязни выстрела, или не в состоянии хорошо видеть, или по какой-то другой причине. Тем не менее, я не могу согласиться с большинством из таких стрелков, потому что отстрелял тысячи патронов из точных спортеров с использованием станка, когда единственным требуемым навыком является наведение центра перекрестия 20-ти кратного прицела в центр мишени. Неизменно я получал ту же точность, когда я и другие парни стреляли из одной и той же винтовки с плеча в позиции лежа или со станка. Бенчрестеры единообразно годами стреляют 10 патронные группы лучше 0,3 дюйма на 100 ярдов из специально изготовленных тяжелых винтовок с использованием тщательно снаряженных боеприпасов, в то же время спортер, стреляющий лучше 1,5 дюйма на 100 ярдов 5-патронной группой – большая редкость. Точно доказано, что большинство людей в состоянии стрелять намного лучше, чем их винтовки. В начале 1960-х у меня были легкие спортеры, которые воспроизводимо стреляли 2,5 дюймовые группы на 300 ярдов, что приемлемо для охоты на крупную дичь. Это было достигнуто после замены ствола на сделанный под заказ с патронником, пройденным изготовленной мной специальной разверткой и с прикладом, замененным на тщательно подогнанный приклад.

Так, с чисто практической точки зрения, проблема точности охотничьей винтовки может быть решена так, как я описал. Тем не менее, я не остановился на достигнутом из-за моей природной любознательности как инженера и профессионального баллистика. Это тот же стимул, который движет бенчрестерами, положить все пули в одну и ту же дырку в мишени, за исключением того, что я намного больше заинтересован ПОЧЕМУ пули не ложатся в одну и ту же дырку, как это происходит на соревнованиях. Бенчрестеры и люди, использующие сделанные под заказ стволы и затворные группы, делают усовершенствования, в основном, методом проб и ошибок – когда некоторая работа может ничего не изменить. Хотя в конце концов они и добиваются существенных успехов, они не могут дать аргументированного ответа на вопрос почему так получилось, а также не могут указать, какие факторы более важны, а какие менее. За очень редкими исключениями, вы не сможете найти в литературе ничего, где бы люди что-то измеряли или что-то точно определяли так, чтобы вы были в этом уверены. Обычно все основано на чьих-то мнениях, которые могут быть, а могут и не быть правильными. К сожалению, большинство частных оружейников и стрелков не имеют никакого оборудования, кроме как для измерения размеров групп, и даже не подозревают о существовании проблемы статистического изолирования малых ошибок. И почему никто не применяет современного экспериментального и компьютерного оборудования для изучения проблемы точности винтовочной стрельбы, в то время как это оборудование доступно уже многие годы? Даже военных не очень интересует максимальное повышение точности в винтовках. Их интересует эффективность, т.е. надежность, темп стрельбы, стоимость и вес (логистика). Они очень заинтересованы в точности крупнокалиберных систем (пушек), но эти

проблемы отличаются. Производители винтовок несомненно должны быть заинтересованы, но, как это не прискорбно, большинство стрелков покупают винтовки по причинам, не касающимся точности, а такое исследование было бы очень дорого при его проведении в большой исследовательской лаборатории. В общем, единственным средством провести такие исследования является привлечение на безвозмездной основе человека, имеющего хорошие знания и опыт во внешней и внутренней баллистике, электронике, конструировании, механо-обработке, лабораторном оборудовании, стрельбе, а также имеющего много свободного времени. Итак, я вышел на пенсию после 37 лет решения разных типов ракетных проблем и решил заняться этим.

Основной смысл этой книги – привести данные экспериментальных измерений там, где это возможно, а там где не возможно – теоретические и компьютерные данные. Могут приводиться и догадки по определенным эффектам в случаях, когда получение неопровержимого доказательства затруднено, но в таких случаях эти догадки однозначно оговариваются как догадки. В то время как автор уверенно изолировал, определил и минимизировал, путем внесения изменений в конструкцию, основные источники неточности, следует четко отметить, что все проблемы решены не были. Попытка прочитать и понять эту книгу может быть предпринята людьми, имеющими небольшие или просто неформальные технические навыки. Не пугайтесь нескольких формул в данной книге, которые я привел в помощь моим коллегам-ученым, чтобы они лучше смогли понять суть вопроса. Вся теория изложена простым физическим языком, так что вы можете опустить эти формулы и все равно понять суть вопроса.

Читатель заметит, что я употребляю термины точность, кучность, размер групп в этой книге. Вообще говоря, они имеют несколько различный смысл. Точность описывает способность винтовки поражать определенную площадь на мишени, в то время как кучность и размер групп определяют возможность получать малые группы в любом месте мишени. Кучность это термин, используемый стрелками бенчрест для описания малых групп. Я использовал эти термины слегка без разбора, потому что осознаю, что вы не получите точности без обеспечения малого размера групп.

Перед определением практической важности винтовочной точности, мы должны определить основную идею – получение достижимой точности при приемлемом весе. Я считаю любую винтовку весом более 8 фунтов слишком тяжелой, чтобы считаться стандартным спортером. В Таблице 1 приведены данные по точности некоторых винтовок, взятые из журнала “Rifleman” и других источников за последние несколько лет. Приведенные данные получены в результате отстрела нескольких 5-патронных групп самыми точными зарядами для каждой винтовки. Винтовки разбиты на 4 класса – стандартный спортер, тяжелый спортер, бенчрест винтовка и рэйлган (винтовка, смонтированная на направляющих). Основная мысль таблицы – то, что максимальный размер группы составляет 2 дюйма, а средний – 1,5 дюйма для стандартного спортера. Мой опыт с данным классом винтовок, начавшийся в середине 1940-х годов, показывает, что такой уровень точности является типичным. Он также типичен для Ремингтона 721, который я выбрал для экспериментов. Таблица также показывает, что тяжелые винтовки обычно точнее легких, что не является открытием для меня и не должно быть сюрпризом для читателя. Также видно, что некоторые патроны, такие как 6мм РРС, более точны, чем другие. Во время курса моих исследований мы определим причины большинства из этих различий. Я не хочу, чтобы вы обращали повышенное внимание на хорошие либо плохие показатели конкретных спортеров в Таблице 1, потому что вы должны помнить, что эти винтовки отстреливались разными людьми с использованием разных прицелов и боеприпасов при различных условиях. Данные должны рассматриваться просто как приблизительное отражение происходящего.

Таблица 1. Сводная таблица точности коммерческих винтовок
(5-патронные группы на 100 ярдов)

Винтовка	Патрон	Вес, фунтов	Дата	Размер групп (дюймов)	
				Макс.	Средний
Стандартные спортеры					
Antonio Zoli, AZ1900	308 Win	7.5	7/90	2.02	1.84
Winchester, M70	270 Wby	7.9	1/89	2.04	1.54
BSA, CF2	30-06	7.9	2/83	2.01	1.51
McMillan Signature	308 Win	7.5	5/88	1.40	.90
Dumoulin Diane	270 Win	7.5	6/88	2.93	2.28
Steyer-Mannlicher	7x64	7.5	7/88	1.52	1.36
Sako, PPC Repeater	6mmPPC	6.5	4/89	1.33	.96
Weatherby, VGX	270 Wby	7.7	2/90	2.36	2.03
Ruger, Mod 77	223 Rem	6.6	12/89	<u>1.73</u>	<u>1.37</u>
Среднее значение				1.93	1.53
Тяжелые спортеры					
Sako, Six	6mmPPC	8.5	1/88	1.00	.50
Winchester, M70	222 Rem	9.4	4/90	1.52	1.19
Parker Hale, Mod 87	308 Win	11.2	3/88	1.81	1.30
Тяжелые варминтеры (бенчрест)					
Затворная группа Kelbly, Ствол фирмы Hart Джима Бордена, 6mmPPC, 13.5 фунтов					0.20
Рэйлган класса «без ограничений»					
Затворная группа Ремингтон, Ствол фирмы Shilen конструкции Vaughn, 6mmBR, 90 фунтов					0.18

Читатель должен понимать, что хотя в соответствии с приведенными данными тяжелые винтовки стреляют лучше легких, вес не является решающим фактором. Наибольшее значение имеет используемый патрон. Заметьте, что 6mm PPC, 6mm BR, 222 Ремингтон и 223 Ремингтон в основном показывают лучшие результаты, чем остальные патроны. Мы найдем, что так происходит из-за того, что данные патроны имеют меньший диаметр гильзы, что минимизирует силу удара затвора, и, кроме того, они используют более легкие пули, что уменьшает силу отдачи. Оба фактора – удар затвора и сила отдачи влияют на точность через вибрацию ствола. Диаметр этих маленьких гильз составляет 0.378 дюйма по сравнению с 0.473 дюйма для стандартных калибров и 0.532 дюйма для гильз магнумов. Маленькие гильзы для бенчрест и варминта используют быстрее сгорающий порох, что приводит к уменьшению влияния эффекта дульного выхлопа на точность.

Мы начнем с винтовки на базе стандартной затворной группы и ложи Ремингтон 721, переделанной на ствол Douglas Premium под патрон 270 Винчестер. 270-й выбран потому, что он не отличается выдающейся точностью, очень широко используется, имеет средний размер гильзы и средний диапазон отдачи. Ремингтон 721 выбран потому, что он был доступен, легок, прост, достаточно прочен и имел цилиндрический ресивер, что наилучшим образом подходит для проведения измерений. Мы взяли изготовленный на заказ ствол потому, что эффекты тепловых подвижек, не концентричности патронника, плохой конструкции пульного входа могут быть сведены к минимуму сразу. Все коммерческие винтовки, с которыми автор когда-либо сталкивался, имели дефекты патронника и пульного входа, что обуславливало неточность боя. Эти причины будут обсуждены далее, а начинать эксперименты, имея заведомо что-то, что приводит к плохому бою, не имеет смысла. Позже, когда все эксперименты будут проведены, мы модифицируем Ремингтон 721 калибра 270 Винчестер и пока-

жем, что обычная винтовка может показывать результаты, близкие к Варминт винтовке. Читатели, использующие бенчрест винтовки тоже не будут разочарованы, потому что проблемы, обнаруженные на 270 калибре, характерны и для бенчрест винтовок, за исключением того, что на 270-м спортере они существенно больше и легче регистрируются.

В конце мы не только получим экстремально точную винтовку, но мы поймем причины неточности и как с ними бороться. Конечно, некоторые проблемы точности остались не решенными, и я надеюсь продолжить работу над их решением. Я надеюсь, что читатель узнает также много для себя, как и я, когда делал эту работу. Это сделает мой труд востребованным.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Автор не рекомендует повторять эксперименты, описанные в этой книге, так как они могут быть опасны. У автора нет причин полагать, что все проделанные модификации затворной группы и ствола могут быть безопасно применены при производстве, так как не накоплено достаточно опыта, чтобы доказать их безопасность. Все стрелковые тесты проводились со станка с использованием дистанционного механизма спуска, что является единственным безопасным методом проведения исследований подобного рода.

Никогда не стреляйте из экспериментальной винтовки с плеча, потому что это может убить или серьезно покалечить вас.

Глава 2

Внутренняя баллистика

Лучшим местом для того, чтобы начать выявлять причины неточности, является внутренняя баллистика. К ней относятся воспламенение пороха капсюлем, следующее за этим возрастание давления в патроннике от горения пороха, и проход пуль каналом ствола до ее вылета. Если мы захотим изучить практическое действие и устранить все из этих проблем неточности, нам придется узнать все о внутренней баллистике.

Измерение давления в патроннике

Для того, чтобы определить количественно все необходимые нам величины, относящиеся к внутренней баллистике, мы должны вначале замерить давление в патроннике. Существуют три метода определения давления в патроннике, крешерный метод (1), пьезоэлектрический метод (2) и тензометрический датчик (3). Опишу каждый из этих методов.

- (1) Крешерный метод – предполагает сверление в канале ствола маленького отверстия, в которое ввинчивается маленький цилиндр с внутренним диаметром около 0,2 дюйма. Внутри цилиндра помещается стальной стерженек, на него помещается крешерный датчик, сверху все завинчивается колпачком. Крешерный датчик представляет собой маленький медный цилиндр, который сжимается стальным стерженьком, на который, в свою очередь, воздействует давление в патроннике. Давление в патроннике достаточное для того, чтобы пробивать отверстие в стенке гильзы. Крешер калибруется в статическом тестовом оборудовании путем приложения известной силы сжатия и измерения расстояния, на которое сжался медный цилиндр. Мы не будем использовать этот метод, потому что он сложен, требует большого количества точной механической обработки, разрушает винтовку для всех остальных целей, кроме измерения давления, дает только пиковое давление, в то время, как мы хотим знать изменение давления от времени, а для такого измерения этот метод очень неточен. Большинство данных в старых книгах по перезарядке патронов получены этим методом, и они обычно помечены маркировкой CUP, что означает Крешерный или Медный Датчик Давления.
- (2) Пьезоэлектрический метод – более новый метод, превосходящий крешерный. Тем не менее, он все равно требует сверления отверстия (порта давления) в патроннике ствола. Также, метод чувствителен к ускорению винтовки и температуре, и, что особенно важно, очень дорог. Пьезоэлектрический датчик содержит керамический кристалл, который генерирует электрический сигнал при сжатии под воздействием давления. Это электрическое напряжение будет пропорционально давлению и записывается осциллоскопом.



Рисунок 2-1 – Фотография полевой тестовой установки показывает винтовку, установленную на станок, и измерительное оборудование.

- (3) Тензометрический метод – наилучшим образом подходит для наших целей, потому что он дешев, имеет хороший линейный отклик, не разрушает винтовку и не требует механической обработки, дает временную историю давления, нечувствителен к температурным изменениям. Единственная проблема заключается в калибровке прибора, но метод калибровки был найден, о чем будет описано очень подробно. Тензодатчик – это маленький кусочек металлической фольги, наклеенный на внешнюю поверхность ствола в районе патронника. Внутреннее давление в патроннике заставляет ствол слегка расширяться, при этом растягивая тензодатчик. Когда датчик растягивается, его электрическое сопротивление также изменяется. Это изменение сопротивления может быть измерено подсоединенным к датчику электрическим мостом. Новая Баллистическая Лаборатория Модель 43 фирмы Oehler использует этот принцип.

Измерение давления в патроннике тензометрическим методом

На Рисунке 2-1 показана полевая тестовая установка, с помощью которой получено большинство результатов, приведенных в этой книге. Винтовка удерживается в станке тисочного типа, который закреплен на задней откидной дверце кузова грузовика. Осциллоскоп расположен на правой передней части установки, а переносной генератор в передней части грузовика. Рисунок 2-2 демонстрирует экспериментальную винтовку, смонтированную на станке. Винтовка удерживается на двух направляющих типа «ласточкин хвост», позволяющих ей свободно откатываться под действием отдачи после того, как выстрел производится дистанционно при помощи давления струны на спусковой крючок. Провода подсоединены к тензодатчикам, расположенным на стволе в районе патронника и на переднем кольце ресивера. Датчики на переднем кольце ресивера служат для измерения момента переднего кольца ресивера, что будет описано позже (Глава 4). Расположение тензодатчиков для измерения давления показано на Рисунке 2-3, где видно два датчика, смонтированных на расстоянии около 0,4 дюйма перед передним кольцом ресивера на цилиндрической части ствола, где наблюдается максимальное расширение.

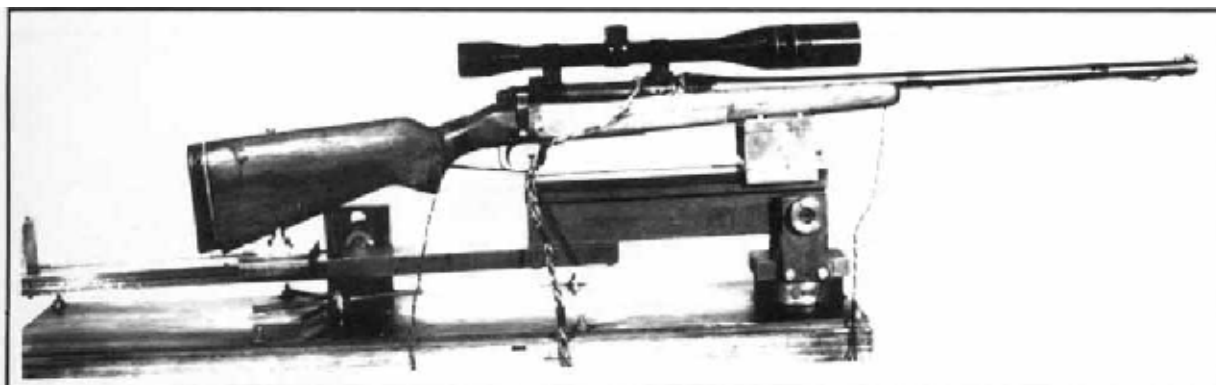


Рисунок 2-2- Экспериментальная винтовка смонтирована на станке.



Рисунок 2-3- Фотография переднего кольца ресивера и ствола демонстрирует два тензодатчика смонтированных над патронником ствола для измерения давления и один из четырех датчиков на переднем кольце ресивера для измерения момента.

Если вы присмотритесь внимательно, то сможете увидеть также один из четырех датчиков для определения момента, расположенный на ресивере прямо под блоком крепления оптического прицела. Под действием давления патронник расширяется в радиальном направлении и в длину, тем не менее радиальное расширение значительно больше, чем продольное, поэтому мы измеряем радиальное расширение. Фотография тензодатчика показана на Рисунке 2-4. Активная часть датчика составляет 1/4 X 1/8 дюйма. Датчик представляет собой очень тонкую металлическую фольгу, электрическое сопротивление которой при растяжении увеличивается. Это изменение сопротивления может быть преобразовано в изменение напряжения при помощи тензометрического моста (Рисунок 2-5). Тензометрический мост представляет собой ни что иное, как два резистора и два тензодатчика, которые, в свою очередь, тоже резисторы, соединенные вместе. Шесть соединенных параллельно батарей от фонарика подсоединены к верхнему и нижнему узлам моста и обеспечивают напряжение питания в 6 Вольт.

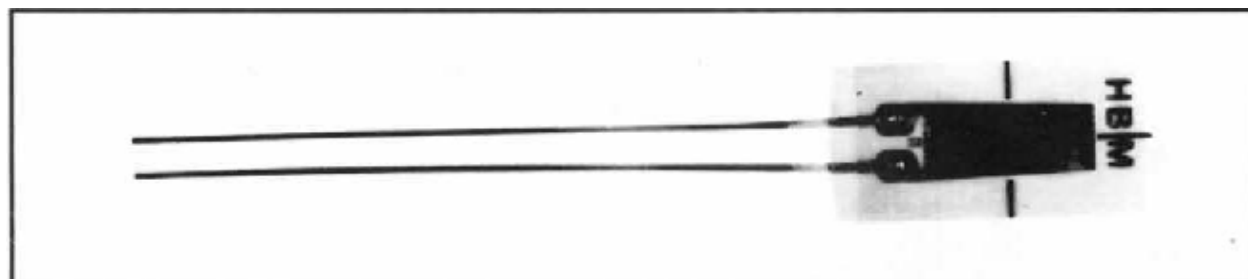


Рисунок 2-4 – Фотография тензодатчика, используемого при экспериментальных измерениях давления в патроннике и момента переднего кольца ресивера. Реальный размер – 0,25 на 0,5 дюйма.

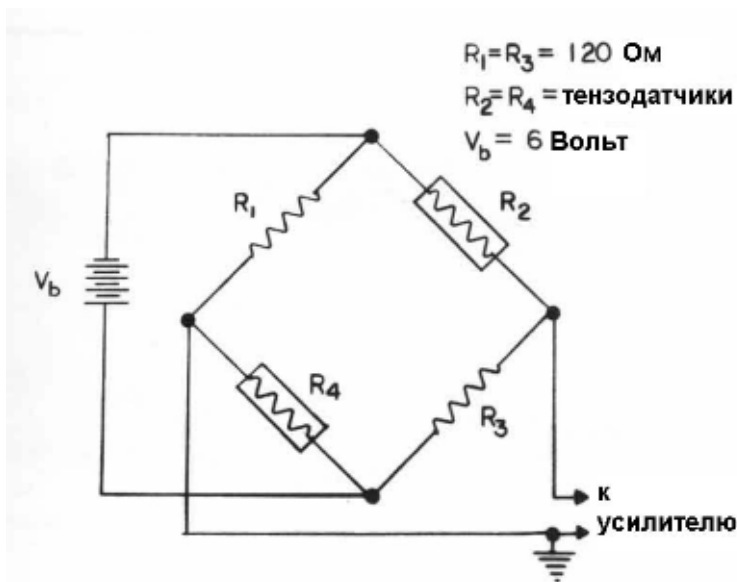


Рисунок 2-5 – Схема тензометрического моста, использованная для измерения давления.

Когда два датчика растягиваются, мост выходит из равновесия, изменяя напряжение на двух точках выхода. Два тензодатчика используются, так как при этом удваивается чувствительность измерения и увеличивается точность. Изменение напряжения после усиления высвечивается на осциллопоскопе (Рисунок 2-6) и фотографируется. Это дает возможность долговременной записи напряжения в сантиметрах (см) отклонения в зависимости от времени. Используемым осциллопоскопом был Tektronix 555 (Рисунок 2-6), который дает возможность одновременной записи двух трасс.

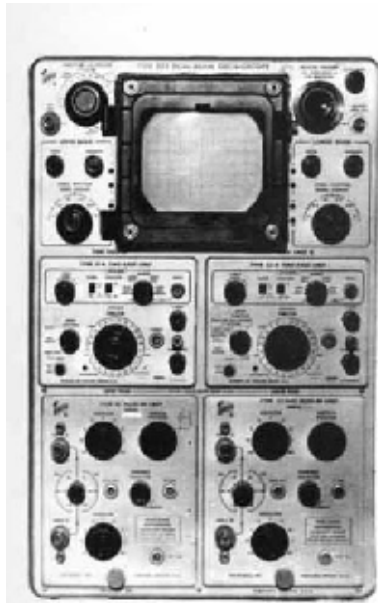


Рисунок 2-6- Фотография осциллопоскопа Tektronix 555 с функцией одновременной записи двух трасс, который был использован в процессе экспериментов.

Итак, если мы можем измерить, насколько отклонилась трасса осциллопоскопа по вертикали при данном изменении давления в патроннике, мы можем напрямую измерить зависимость давления в патроннике от времени. Горизонтальное отклонение от времени обеспечивается внутренней схемой осциллопоскопа. Обычным решением является использование теоретических расчетов количества растяжения для заданного изменения давления в патроннике. Однако в этом кроется источник большой ошибки, поэтому был использован более точный метод экспериментальной калибровки.



Итак, если мы можем измерить, насколько отклонилась трасса осциллопоскопа по вертикали при данном изменении давления в патроннике, мы можем напрямую измерить зависимость давления в патроннике от времени. Горизонтальное отклонение от времени обеспечивается внутренней схемой осциллопоскопа. Обычным решением является использование теоретических расчетов количества растяжения для заданного изменения давления в патроннике. Однако в этом кроется источник большой ошибки, поэтому был использован более точный метод экспериментальной калибровки.

Рисунок 2-7- Разрез патронника и гильзы калибра

270 Винчестер

Экспериментальная калибровка для определения давления в патроннике

На Рисунке 2-7 показан разрез патронника ствола калибра 270 Винчестер с гильзой и указанным продольным размещением тензодатчиков. Вы можете видеть, что радиальное расширение патронника будет сдерживаться с обоих концов при присоединенном ресивере, так как ресивер и район шейки гильзы оба толще и будут сдерживать расширение. Это основная причина трудности при калибровке. Если бы патронник был настолько длинным, что удерживания ми от расширения на концах можно было пренебречь, то мы использовали бы простую теоретическую калибровку для нахождения коэффициента усиления для тензодатчика. Мы же будем калибровать датчики, подвергая модифицированную гильзу, размещенную в патроннике, давлению, при этом снимая показания отклонения осциллоскопа и одновременно измеряя давление внутри гильзы точным манометром высокого давления. Гильза прикреплена к стальной трубке с внешним диаметром 0,25 дюйма и внутренним 0,15 дюйма. На Рисунке 2-8 показана фотография гильзы и ¼ дюймовой трубки, а на Рисунке 2-9 разрез модифицированной гильзы.



Рисунок 2-8- Фотография модифицированной гильзы 270 Винчестер с присоединенной стальной трубкой с внешним диаметром 0,25 дюйма для измерения давления в процессе калибровки. Стальная трубка проходит через весь ствол и выходит из его дульной части, где присоединяется к гидравлическому цилиндру, показанному на Рисунке 2-10.

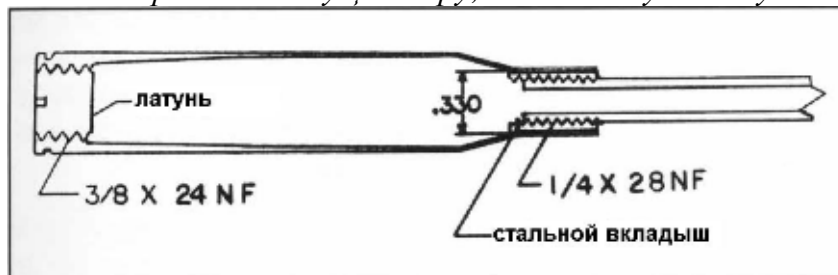


Рисунок 2-9- Разрез гильзы, модифицированной для калибровки с показанными элементами крепления. Левая сторона стального вкладыша имеет больший диаметр, чем дульце гильзы, для предотвращения выдавливания вкладыша из гильзы под воздействием давления. Вкладыш, кроме того, припаян к гильзе. Отверстие в донце гильзы с латунной заглушкой необходимо для сборки.

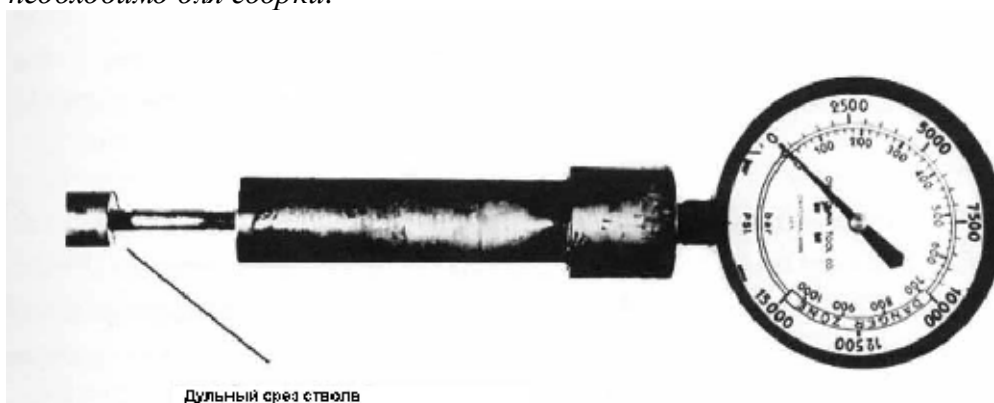


Рисунок 2-10 – Фотография Гидравлического цилиндра и манометра, использованных в процессе калибровки давления в патроннике.

Естественно, трубка проходит через весь ствол и выходит из дульной части, где к ней привинчивается гидравлическая камера с манометром, измеряющим давления до 15000

фунтов/квадратный дюйм (psi) (Рисунок 2-10). Цилиндр, трубка и гильза заполняются гидравлической жидкостью, а воздух изнутри откачивается настолько это возможно. После этого цилиндр герметизируется, создавая закрытую систему. Когда давление в цилиндре возрастает, производится прямая калибровка давления от отклонения трассы осциллоскопа, и мы получаем измерение давления, в котором можем быть полностью уверены. Этого нельзя сказать про другие методы, применяемые другими исследователями. Этот метод можно использовать до как минимум 20000 psi, однако манометры на такое давление очень дороги, и я выбрал манометр на 15000 psi. Тем не менее, одно мы делаем одно допущение, что тензодатчик обладает линейностью, это означает, что мы предполагаем отклик датчика пропорциональным на более высоких растяжениях и уровнях давления. Тензодатчики известны своей исключительной линейностью, поэтому в пределах наших возможностей чтения трасс осциллоскопа и давления на манометре, нам не о чем беспокоиться.

ОПАСНОСТЬ, не проводите этот эксперимент без должной защиты оператора. Гидравлическая струя под давлением 15000 psi очень опасна, поэтому проводите эксперимент внутри закрытого ящика. Не используйте воду в качестве рабочей жидкости, потому что она может мгновенно испариться при разгерметизации цилиндра, вызвав сильный взрыв. Используйте термоупрочненную сталь для изготовления цилиндра, такую как 41L42, упрочненную как минимум до 120000 psi. Мягкая сталь очень слаба.

Хорошей идеей было бы уменьшить внутренний диаметр трубки с 0,15 до 0,125 дюйма, что усилило бы резьбовые соединения с обеих сторон трубки. Для уплотнения соединений в гильзе был использован Локтайт, на других соединениях – Тефлоновая лента. Была взята новая гильза, потому что она мягче стреляной и быстрее может обжаться по патроннику.

Результат калибровки приведен на Рисунке 2-11, где вертикальное отклонение осциллоскопа в см (.05 Вольт/см) начерчено в зависимости от давления, измеренного манометром. Точки не лежат на прямой линии до давления около 12000 psi, последние три точки лежат на прямой линии, проходящей через начало координат. Расчет по формуле Ламеса показал, что при нарастании давления до 12000 psi происходит расширение донной части гильзы до осуществления плотного контакта с внутренними стенками патронника. После того, как гильза расширилась до полного контакта с патронником, расширение патронника становится пропорционально давлению и появляется прямая линия на калибровочном графике.

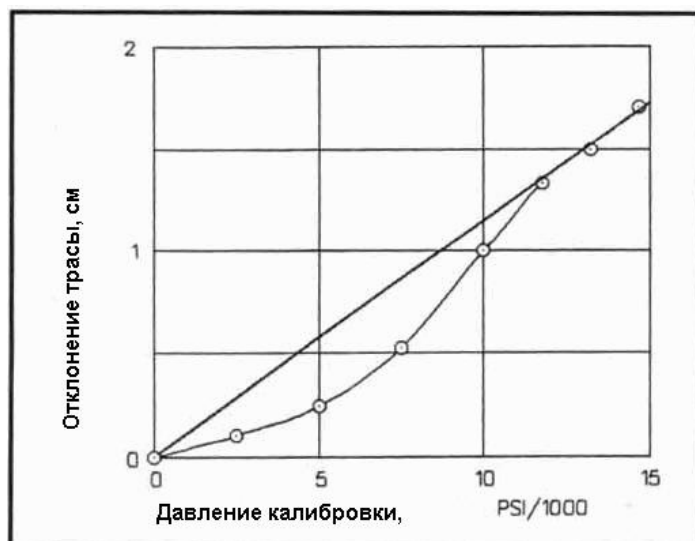


Рисунок 2-11 – Экспериментальная калибровочная кривая для измерения давления. На 12000 psi гильза расширяется до контакта с патронником. С 12000 psi и выше калибровочная кривая – прямая линия, то есть линейна.

При этом максимальное регистрируемое осциллоскопом напряжение составит 0,285 Вольта (2,85 см отклонения по осциллоскопу) при давлении в патроннике 50000 psi и напряжении питания тензометрического моста 6 Вольт. При многократном проведении данного эксперимента получалась разбежка в данных только в несколько десятых процента. Точность измерения давления манометром га-

рантируется производителем в 1-1,5%. В общем, точность калибровки находится в пределах 1-2%, или количественно 500-1000 psi при давлении в патроннике в 50000 psi. Такая точность вполне достаточна для наших целей и намного точнее большинства опубликованных данных по давлению в патроннике.

Теоретическая калибровка

Этот теоретический метод калибровки, описанный Браунеллом в 1965 году (Ссылка 1), использует формулу Ламеса для толстостенных цилиндров для расчета радиального расширения их внешней поверхности. Эта величина расширения совместно с известными электронными характеристиками тензодатчиков и усилителя для осуществления теоретической калибровки. К сожалению, формула Ламеса предполагает, что расчетный толстостенный цилиндр имеет бесконечную длину и постоянную толщину. На самом же деле мы имеем короткий толстостенный цилиндр утолщенный с одного конца передним кольцом ресивера, а с другого коническим сужением патронника. В результате, формула Ламеса дает значение растяжения приблизительно на 20% больше реального значения, так как район патронника ствола существенно прочнее, чем стандартный толстостенный цилиндр. Это означает, что при теоретической калибровке при реальном пиковом давлении 50000 psi мы получим результат лишь в 40000 psi. Короче говоря, я предпочел экспериментальный метод калибровки.

Электроника тензометрических измерений

Ввиду того, что кто-нибудь может захотеть использовать этот метод для измерения давления в патроннике, кратко опишу использованное электронное оборудование. Тензометрические датчики модели HBM 6/120LY11, купленные в Omega Engineering, Inc. (1-(203)-359-1660) подсоединялись к мосту, схема которого приведена на Рисунке 2-4. Питание моста осуществлялось четырьмя параллельно соединенными 6-Вольтовыми батарейками от карманного фонарика, контролируемые при помощи цифрового вольтметра с точностью 0,2%. Корпуса батареек заземлялись. Любое изменение этого напряжения изменяет калибровку в прямо пропорциональной зависимости. Резисторы сопротивлением 120 Ом должны быть максимально точны. Провода – неэкранированные скрученные пары. Фотография усилителя для тензометрического моста приведена на Рисунке 2-12, а его схема – на Рисунке 2-13.

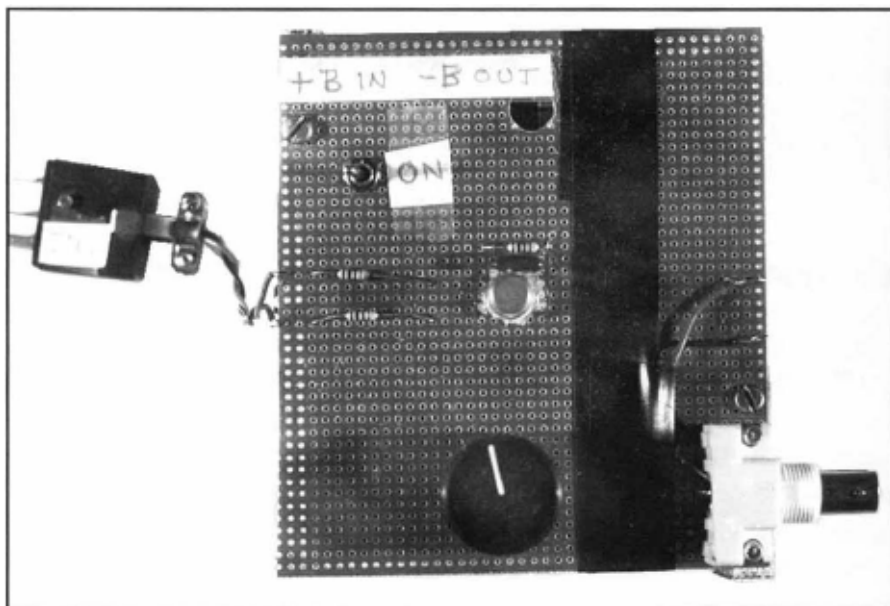


Рисунок 2-12 – Фотография усилителя для тензометрического моста.

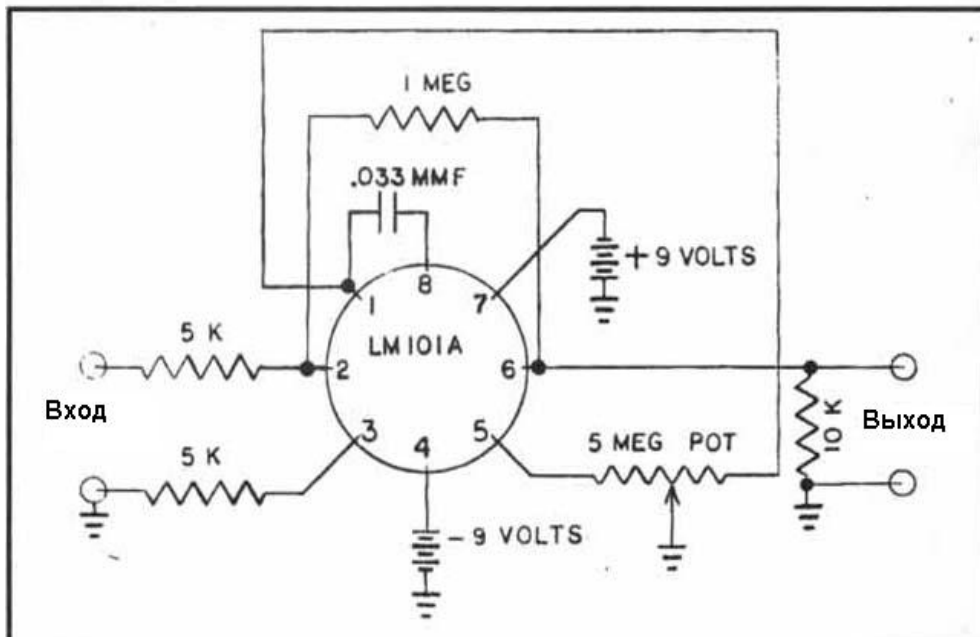


Рисунок 2-13 – Схема усилителя для тензометрического моста.

Коэффициент усиления зависит от точности входных резисторов и резистора обратной связи и постоянен в пределах 5 кГц (скорее всего 5000 раз – *Прим. перев.*), что соответствует нашему эксперименту. Чипы операционных усилителей модели LM101A дешевы, просты в использовании и стабильны, и изготавливаются несколькими компаниями. Плюс и минус 9 Вольт, необходимые для питания усилителя, обеспечиваются 9-Вольтовыми батареями.



Рисунок 2-14 – Фотография ключа для старта осциллографа, срабатывание которого начинает процесс измерения.

Выходной сигнал обнуляется при помощи потенциометра с использованием цифрового вольтметра на выходе. Выход усилителя присоединяется ко входу двухлучевого осциллографа Tektronics 555 при помощи 12 футовых экранированных кабелей. Общее питание 120В, 1кВт переменного напряжения обеспечивается маленьким переносным генератором.

Ключ, включающий 9-Вольтовое напряжение для начала измерений осциллографа показан на Рисунке 2-14. Латунная пластинка, припаянная к курку, перекрывает пучок инфра-

красного света, падающего на фотодиод. Источник излучения и приемник заключены в пластиковую коробочку, которая, как видно из рисунка, привинчена к заднему кольцу ресивера. Инфракрасным источником света служит светодиод (Radio Shack № 276-066А), питаемый от 1,5 Вольтовой батарейки. Фототранзистор (Radio Shack № 276-145) питается от 9 Вольтовой батареи и не требует внешних электрических подключений. Белая пластиковая коробочка обычно обматывается черной лентой для устранения паразитных засветок. Осциллоскоп имеет устройство настройки временной задержки, что дает возможность смещать временную историю давления в патроннике в необходимое нам положение на экране прибора, в зависимости от времени.

Шум электрической схемы тензометрического метода получился низким, около 0,2 мВ. Это произошло потому, что мост с низким импедансом (т.е. полным сопротивлением) (120 Ом) присоединяется к усилителю с высоким входным импедансом (5000 Ом), и, соответственно, низкий выходной импеданс усилителя (10000 Ом) присоединяется к высокоимпедансному входу осциллоскопа (10 мегом). Это приводит к тому, что при коротком замыкании сигнал на осциллоскопе относится к сигналу на усилителе как шум.

Результаты

Теперь, когда вы достаточно утомились от всей этой предварительной информации – я предупреждаю вас, что сейчас вы узнаете о давлении в патроннике даже больше, чем вы предполагали узнать – давайте взглянем на результаты. Пять зарядов пороха IMR4831 (53,55,57,59,61 гран) были тестированы с использованием Ремингтоновских гильз 270 калибра и 90 грановых пуль. На Рисунке 2-15 показана трасса осциллоскопа для 57-гранового заряда. Верхняя трасса соответствует давлению в патроннике, а нижняя – одному из каналов измерения момента переднего кольца ресивера, которую мы пока проигнорируем. Большие деления обоих шкал проградуированы в сантиметрах, а время по горизонтальной оси измеряется слева направо с ценой деления 0,2 мсек.

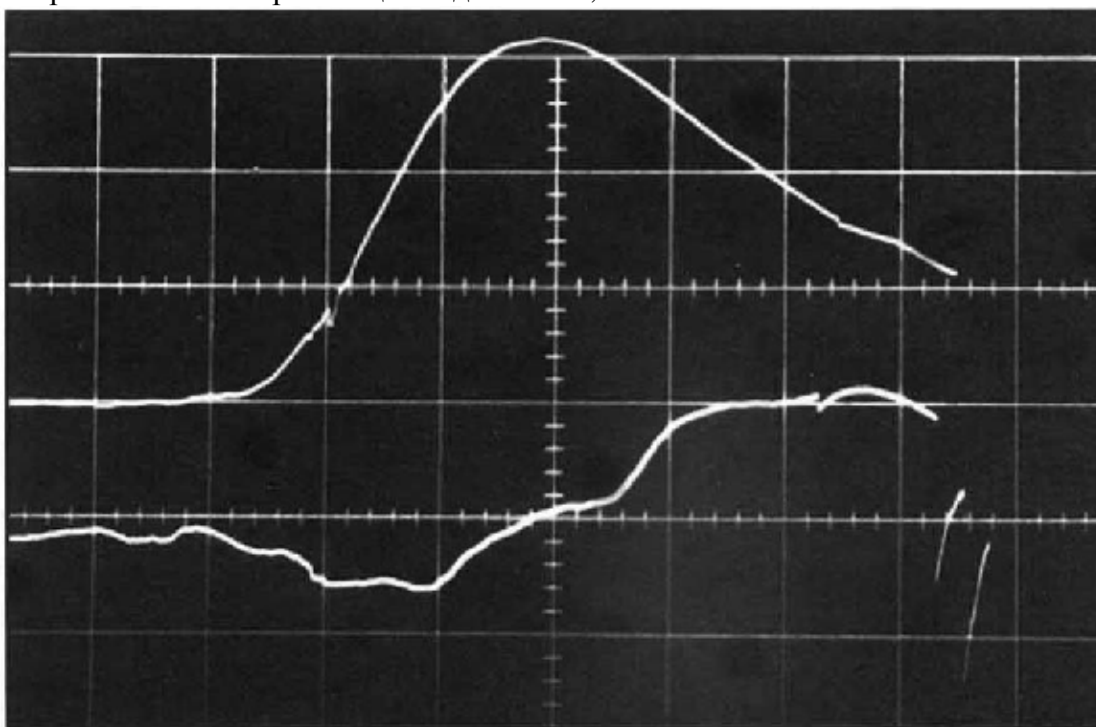


Рисунок 2-15 – Трасса осциллоскопа показывающая изменение давления в патроннике от времени для заряда в 57 гранов пороха IMR4831 и 90 грановой пули калибра 270. Большие деления равны 1 сантиметру. Горизонтальная шкала установлена в 0,2 мсек/см.

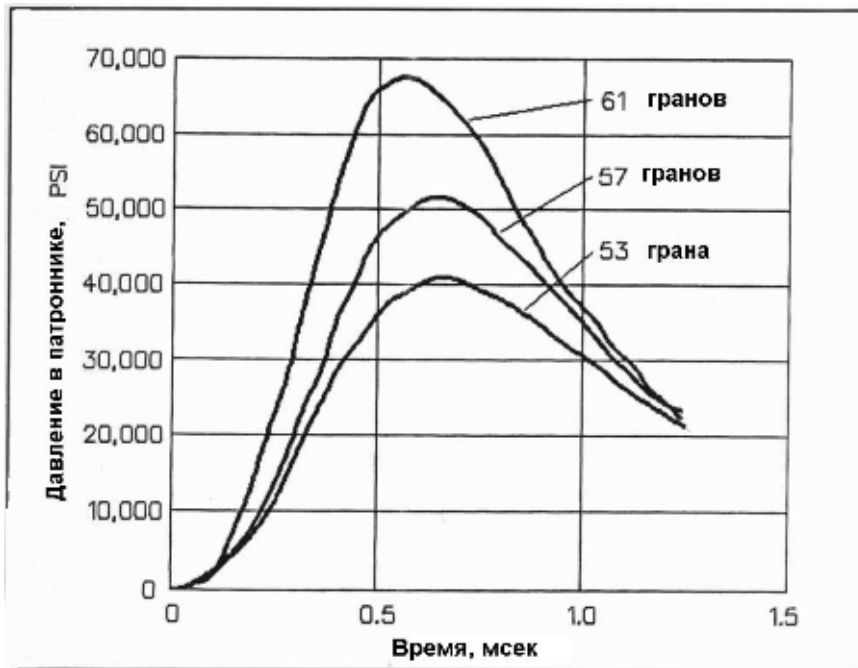


Рисунок 2-16 – Экспериментальные данные по давлению в патроннике, полученные на трех разных навесках пороха для патрона 270 Винчестер с использованием Ремингтоновских гильз, 90-грановых пуль Сьерра и пороха IMR4831. Трассы осциллографа прерваны в момент выхода пули из канала ствола.

Трассы были остановлены в момент, когда вылетающая из ствола пуля отклоняет проволочку, примотанную к дульному

срезу ствола, при этом добавляется сигнал в 9 Вольт в момент выхода пули из ствола и замыкания контакта с проволочкой. Нам нужен момент вылета пули, когда мы будем сравнивать скорость, измеренную хронографом, со скоростью, полученной из измерения давления в патроннике. Кстати, 59-грановый заряд заполняет гильзу до самого донца пули, а 61-грановый полностью заполняет гильзу и требуется утопить пулю приблизительно на 0,15 дюйма до ее посадки в гильзу. Давления, полученные при чтении трасс осциллоскопа с использованием экспериментальной калибровки для трех зарядов пороха приведены на Рисунке 2-16. Заметьте, что эти кривые очень ровные и правильные, что мы, собственно, и ожидали. Несколько измерений проводились, чтобы определить разницы в пиковом давлении и скорости на разных зарядах пороха. Данные приведены в следующей таблице.

Таблица 2

Гильза 270 Винчестер, порох IMR4831, Пули Сьерра 90 гран					
Заряд пороха, гран	Среднее давление, psi	максимальное давление, psi	Вариации максимального давления, %	Средняя скорость, футов/сек	Вариации скорости, %
53	40046		2.3	2758	6.0
55	48709		1.0	3002	3.1
57	53580		3.3	3018	1.3
59	64924		-	3154	<0.6
61	69366		2.5	3235	<0.6

Обратите внимание на несколько важных вещей. Во-первых, колебания максимального (пикового) давления составляют порядка 2% (1000 psi), в то время, как колебания значений скорости намного больше на малых зарядах, а в случаях более полного заполнения гильзы, колебания значений скорости снижаются до <0.6, что составляет предел разрешения старого хронографа, используемого при измерений (см. Главу 10.) другими словами, значения скорости постоянны для двух максимальных зарядов настолько, насколько может измерять хронограф (Рисунок 2-17). Символ < означает МЕНЬШЕ ЧЕМ.

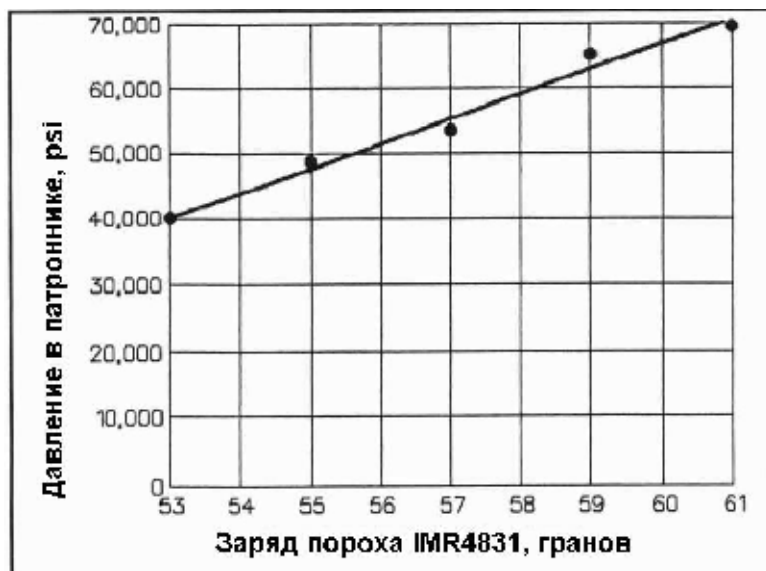
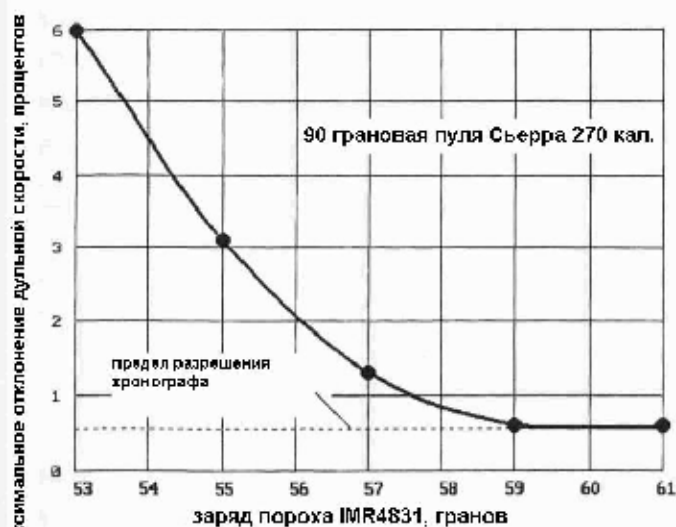


Рисунок 2-17 – Максимальное давление в патроннике для различных зарядов пороха IMR4831 и 90-грановой пули 270 калибра.

Рисунок 2-18 – Вариации рассеивания максимальных дульных скоростей в процентах от скорости для различных зарядов пороха IMR4831 с использованием 90-грановой пули калибра 270.



Графики пикового давления и вариаций скорости показаны на Рисунках 2-17 и 2-18. Эти данные подтверждают мнения специалистов о том, что гильза должна быть наполнена порохом до уровня чуть ниже донной части пули для обеспечения постоянства скоростей,

что очень важно для получения хорошей точности. Однако раньше я никогда не видел подтверждающих это конкретных данных. Обычно описывалось, что порох распределяется различным образом в гильзе при наличии свободного пространства в гильзе, приводя к появлению различий в воспламенении заряда. Кроме того, данные говорят, что оптимальным является заряд в районе 57 гранов. Заряд в 58 гранов дает максимальное давление около 60000 psi, а расчетное давление, соответствующее напряжению растяжения (пределу упругости), 73000 psi. Это около 40% от предела текучести ствольной стали, даже не принимая во внимание места концентрации напряжений (острые углы и т.д.), которые тоже присутствуют в определенной степени.

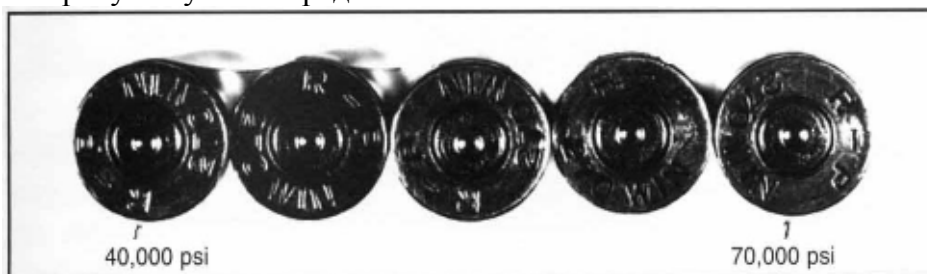


Рисунок 2-19 – Фотография шляпок гильз, показывающая разницу в раздутии капсулей с увеличением давления в патроннике слева направо.

Поэтому, ввиду гражданского применения наших исследований, заряд в 58 гранов должен быть максимальным для выталкивания 90-грановой пули в этой винтовке. Еще эта винтовка может обеспечивать более низкие рабочие давления, чем большинство коммерческих винтовок, потому что имеет вдвое меньший угол конуса на пульном входе ($0,75^\circ$), что составляет половину от стандартного угла для патронника 270 калибра ($1,5^\circ$). Это было сделано при помощи специальной развертки с целью упрощения процесса врезки пули в нарезы при выстреле для уменьшения биения пули (более подробно об этом позже). Я читал много раз о том, что заряд в полную гильзу пороха 4831 безопасен для калибра 270 Винчестер. Заряд в полную гильзу пороха IMR4831 под 130-грановой пулей может быть очень опасен – достаточно опасен для ученых мужей, дающих такие советы, не имея соответствующих фактов.

Я также читал, что вы можете определять давление по состоянию капсюля. Это похоже на правду, но это очень грубый метод, требующий калибровки вашего глазного яблока. Чтобы помочь вам откалибровать глазное яблоко, на Рисунке 2-19 привожу фотографии шляпок пяти гильз, отстрелянных пятью различными зарядами пороха в соответствии с данными Таблицы 2. Максимальное давление в патроннике увеличивается от 40000 psi слева до 70000 psi справа. Вы можете видеть, что кромки капсюля (Federal №210) и кромки следа от удара ударника получаются острее и более прямоугольные на увеличенных давлениях. Это зависит от самого капсюля, но при достаточном опыте может служить грубой индикацией уровня давления в патроннике. Я не верю, что раковины на капсюле от удара ударника смогут много сказать, потому что они зависят от формы носика ударника и от зазора между ударником и отверстием в зеркале затвора. Такой тип износа капсюля более просто обнаружить на более дешевых винтовках, таких как военные, изготовленных с большими допусками. На Рисунке 2-20 показана ситуация, когда капсюль нам может сказать очень много – как вы видите, он просто выпал!!!

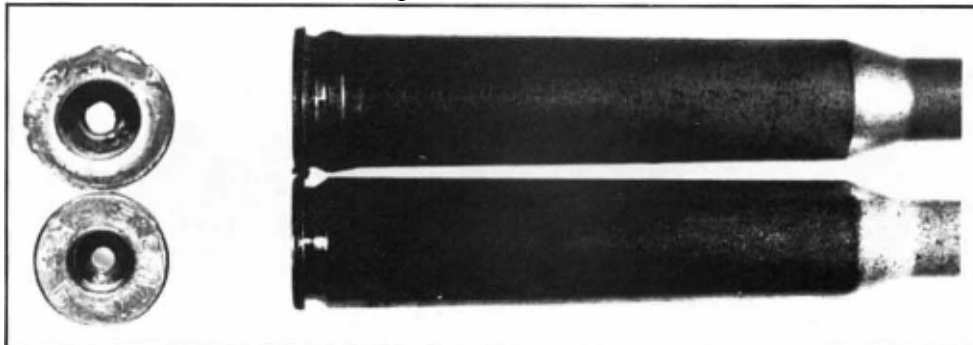


Рисунок 2-20 – Фотография шляпки гильзы 270 калибра, подвергшейся воздействию повышенного давления (сверху) по сравнению с нормальной гильзой (снизу).

Давление, вероятно, было чудовищным, так как гнездо под капсюль расширилось с 0,210 до 0,275 дюйма. Сравните деформированную гильзу сверху фото со стандартной гильзой 270 калибра снизу. Вы видите, этот парень случайно зарядил 7мм пулю (0,284 дюйма диаметром) в гильзу 270 калибра (0,277 дюйма диаметром) и попытался таким патроном выстрелить через ствол 270 калибра. Кажется невозможным использование такого сочетания в патроннике, но я провел соответствующие измерения района пульного входа патронника и нашел это возможным. Стрелок родился в рубашке, потому что винтовка имела затвор, полностью охватывающий шляпку гильзы, который не разорвало, хотя винтовка была полностью разбита. Каждый может ошибиться, поэтому будьте особенно внимательны, когда занимаетесь ручным снаряжением патронов.

Расчет внутренней баллистики

Теперь мы имеем скорость, усилие затвора, давление на донце пули и расстояние, которое проходит пуля в стволе, поэтому прибегнем к помощи персонального компьютера (ПК) и специальной компьютерной программы по расчету внутренней баллистики, которую я написал. Мы сделаем это, чтобы получить информацию для определения и описания первопричин неточности. Мы также произведем эти расчеты, чтобы еще раз подтвердить правильность измеренного нами давления в патроннике. Может показаться чересчур еще одно подтверждение правильности измерения давления, но этот ружейный параметр должен быть для нас бесспорным. К счастью, это не очень сложно, потому приступим.

Существует два вида давлений – статическое и динамическое. Динамическое давление (q) происходит от движения газа и составляет

$$q = (1/2) * \rho * V^2$$

где ρ – плотность газа, а V – скорость. Статическое – давление, вызываемое стоячим газом. Полное давление это сумма двух давлений и это то же самое, что вы ощущаете, высунув руку из окна быстро движущегося автомобиля. Давным-давно мой коллега по имени Бернулли открыл, что если газ движется со скоростями, не превосходящими скорость звука (т.е. на дозвуковой скорости), то его общее давление постоянно и равно сумме статического и динамического давлений. Это дает то, что давление в патроннике равно общему давлению или давлению застоя, так как скорость движения газов в патроннике пренебрежимо мала. Статическое давление на донце пули равно полному давлению минус динамическое давление. Это означает, что статическое давление на пулю, которое движет пулю по стволу, уменьшается по мере набора пулей скорости. Таким образом,

$$P_b = P_c - (1/2) * \rho * V^2$$

Где P_b – статическое давление, воздействующее на донце пули, а P_c – измеренное давление в патроннике. Плотность газа ρ может быть получена из формулы состояния газа

$$P = R * \rho * T_b$$

Где R – константа (1716 футов²/сек²/deg R) и T_b – эффективная температура газа (температура горения пороха) в градусах Рэнкина (градусы Фаренгейта + 459). Мы знаем из справочных данных, что температура составляет около 6000°F или 6500°R. В общем, мы можем рассчитать давление, действующее на донце пули с точностью, с которой мы знаем температуру газов. Другой вещью из внутренней баллистики, которую мы не знаем, является то, насколько сам заряд пороха ускоряется вместе с пулей. Мы знаем из теории, что около половины массы заряда пороха эффективно разгоняется вместе с пулей, если весь порох сгорает в стволе до момента вылета пули из ствола. Это позволяет заключить, что IMR4831 горит медленно настолько, что не успевает весь сгореть в стволе, и около 60% пороха эффективно разгоняется до скорости пули. Это дает две вещи, которые мы точно не знаем: температура горения пороха и ускоряемую часть пороха. Тем не менее, мы можем их точно рассчитать методом подбора, потому что знаем дульную скорость и максимальное давление в патроннике для двух граничных условий – для 53 и 61 грановых зарядов. На математическом языке это называется система из двух уравнений с двумя неизвестными, и она довольно просто решается. Это делается при небольшом изменении значений температуры газа и массы пороховой фракции до тех пор, пока значения полученных максимального давления в стволе и дульной скорости на совпадут с расчетными.

Кроме того, до выполнения расчетов в компьютерной программе были учтены две тонкости. Первая – это корректировка температуры горения пороха на увеличение давления. В соответствии со Ссылками 2 и 3, температура горения пороха уменьшается приблизительно на 7% при увеличении давления с 1000 psi до 53000 psi. Второй корректировкой, более ощутимой, является наличие струи высокого давления, которая вырывается из дульного среза ствола и продолжает ускорять пулю на пути около 15 диаметров пули (калибров). К счастью, Лаборатории Баллистических Исследований Армии США изучают эффект дульного выхлопа уже несколько лет (Ссылки с 4 по 8). Джион показал экспериментально на винтовке М-16, что пуле после вылета из ствола надо пройти около 15 калибров до обгона ею газовой струи. Все это было включено в компьютерную программу. Позже в Главе 7 мы получим схожие результаты. Эффект трения пули в соответствии со Ссылкой 9 составляет около 2% и не учитывался в программе, так как пренебрежимо мал. Следующая таблица показывает результаты расчетов для трех зарядов (53, 57 и 61 гранов пороха).

ТАБЛИЦА 3

Сравнение данных, измеренных и рассчитанных при помощи Программы Расчета Внутренней Баллистики

Заряд пороха 4831, гранов	Измеренная дульная ско- рость, фу- тов/сек	Рассчитанная дульная ско- рость, фу- тов/сек	Измеренное время в стволе, мсек	Рассчитанное время в стволе, мсек
53	2758	2753	1,58	1,47
57	2940	2951	1,35	1,37
61	3235	3239	1,25	1,23

Скорости находятся в великолепном соответствии, а время в хорошем соответствии. Время в стволе трудно измерить, потому что трудно узнать точный момент начала измерения времени на трассе давления. Зато теперь мы знаем, что измеренные давления в патроннике верны, потому что их мы использовали для расчета скорости. Это дает возможность получить несколько важных рассчитанных величин.

Измеренное давление в патроннике в сравнении с рассчитанным давлением на донце пули для 57 гранового заряда показано на Рисунке 2-21, откуда видно, что давление на пулю существенно меньше давления в патроннике. Пуля просто начинает обгонять газы, и это одна из причин того, что ваша обычная винтовка имеет ограничение по скорости. Рисунки 2-22 и 2-23 демонстрируют скорость пули и пройденную ей дистанцию. Заметьте, что в первые 0,4 мсек пуля проходит только 3/8 дюйма, в то время как давление на донце пули (Рисунок 2-21) около 35000 psi и усилие на дно пули (Рисунок 2-24) около 2000 фунтов. Этого более чем достаточно, чтобы деформировать пулю и заставить ее расширяться диаметрально. Это было экспериментально доказано другими исследователями, при отстреле пуль из очень коротких стволов (6 дюймовых) и последующем их отыскании и исследовании. Это очень сильно преувеличило эффект, и практические отстрелы показали увеличение диаметра пули на 10% и больше. К сожалению, никто не знает, как измерить этот эффект в стволах обычной длины, где расширение должно быть значительно меньше. Это может быть рассчитано при помощи очень сложной конечным элементом компьютерной программы, но это находится за пределами данной работы. Биение пули приводит к неточности, потому что оно приводит к перекосу донца, что дает разброс в воздействии дульного выхлопа на пулю, заставляя ее отклоняться (Глава 7). Биение пули также может отклонять центр тяжести, что приводит к появлению тангенциальной скорости из-за вы-

сокой частоты вращения (Рисунок 2-25), обеспечиваемой нарезами, и это также приводит к разбросу (Глава 9). Мы покажем этот эффект в дальнейшем более детально, как теоретически, так и экспериментально.

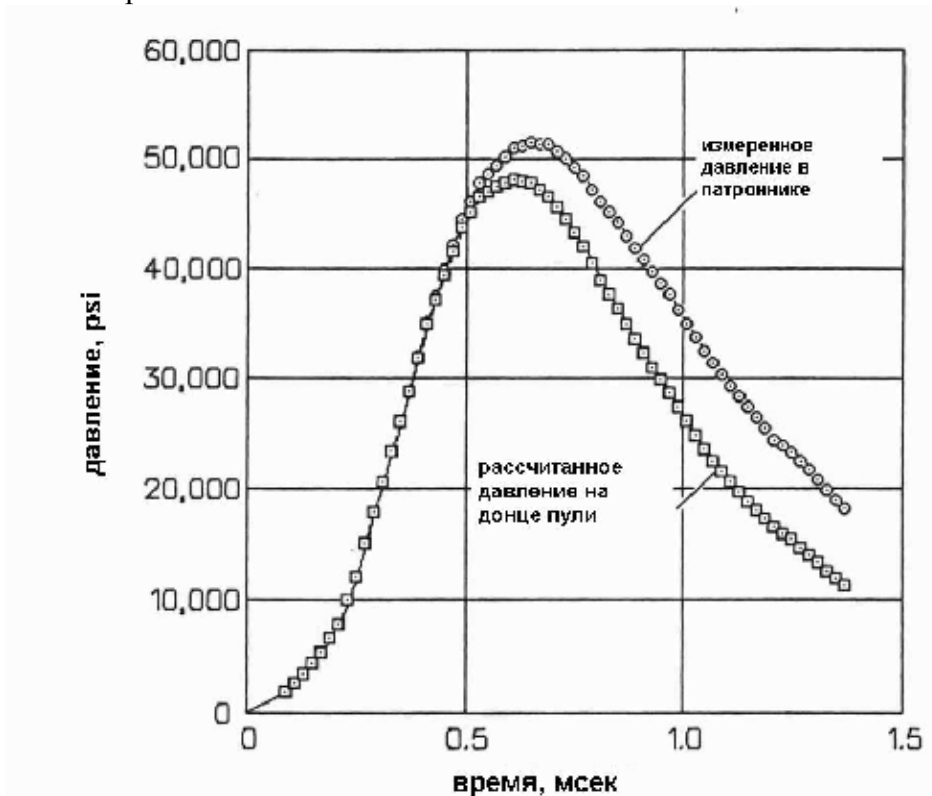


Рисунок 2-21 – Сравнение давления в патроннике с давлением, действующим на донце пули.

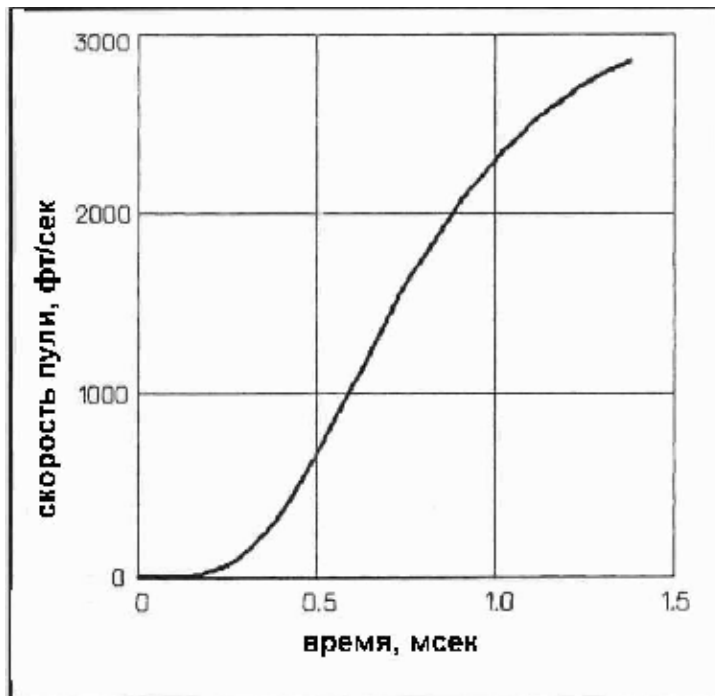


Рисунок 2-22 – Скорость пули в зависимости от времени в стволе. Скорость получена интегрированием измеренного давления для 57-гранового заряда, показанного на Рисунке 2-17.

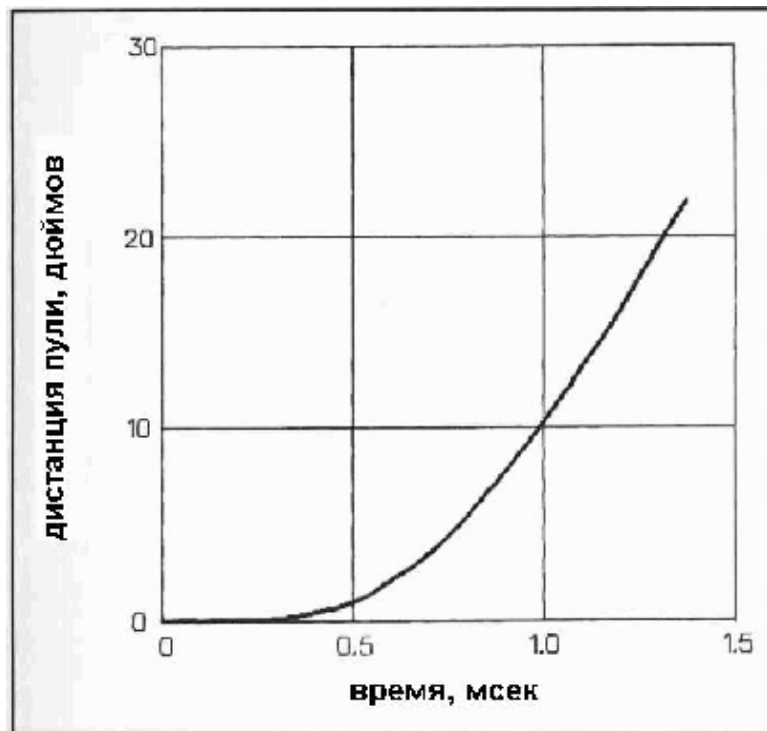


Рисунок 2-23 – Дистанция, проходимая пулей в стволе, в зависимости от времени в стволе. Дистанция получена из компьютерной программы по расчету внутренней баллистики, по которой интегрировалась скорость.

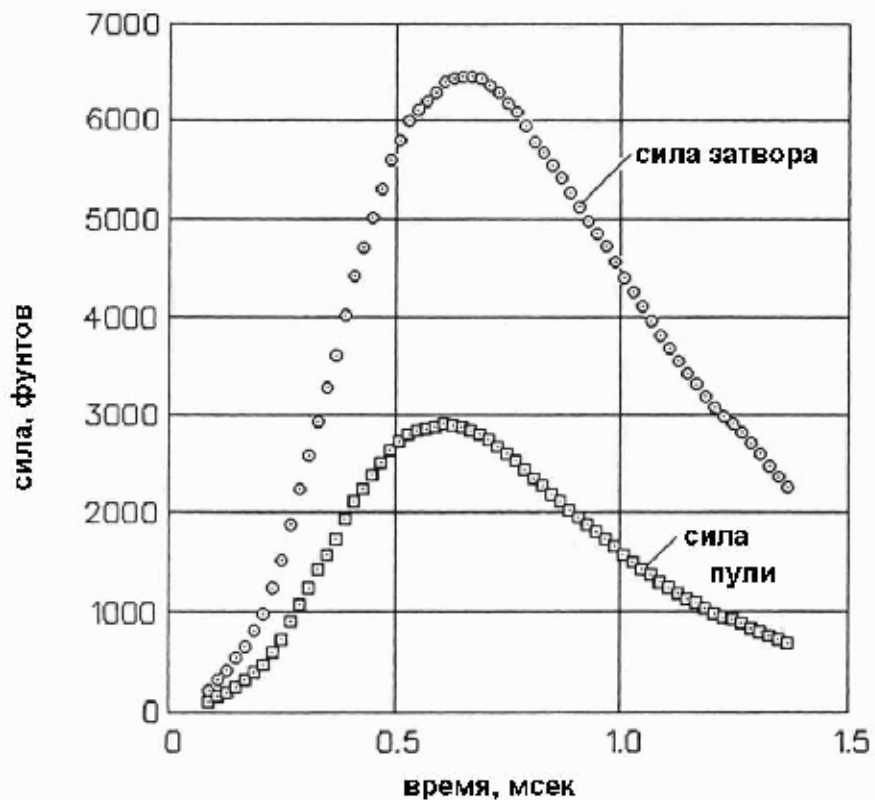


Рисунок 2-24 – Силы, действующие на зеркало затвора и донце пули в зависимости от времени в стволе. Силы рассчитаны с использованием измеренного давления в патроннике для 55-гранового заряда пороха IMR4831.

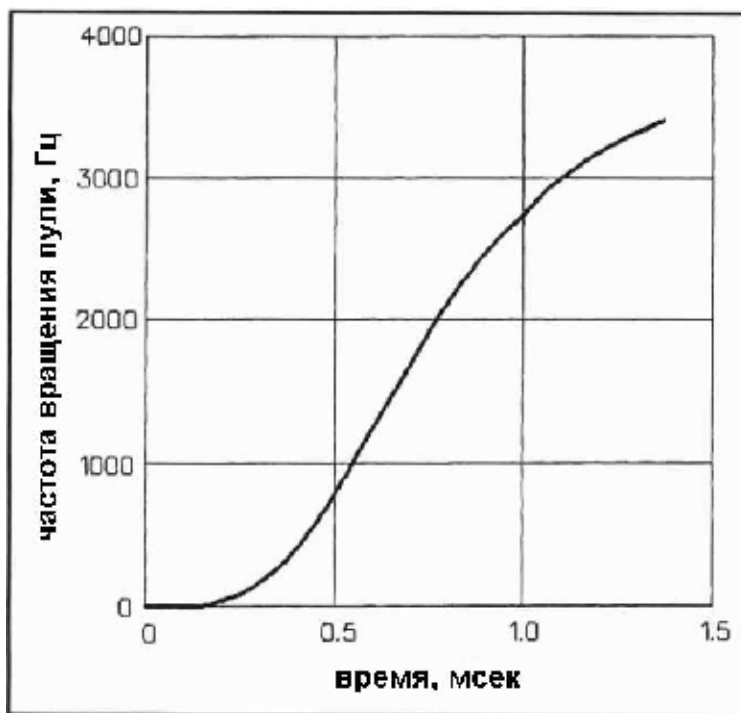


Рисунок 2-25 – Частота вращения пули в оборотах в секунду (об/сек) в зависимости от времени для 10 дюймового шага нарезов. Заметьте, что пуля вращается с частотой 3400 об/сек (204000 об/мин) при вылете из ствола.

Сила врезки пули

Требуется довольно ощутимая сила, чтобы врезать пулю в нарезы и прогнать через них. Я решил попытаться измерить силу врезки, протолкнув пулю 270 калибра через нарезы при помощи калиброванного гидравлического пресса. Измеренная сила врезки получилась равной 1200 фунтов. Тем не менее можно уменьшить это значение грубо вдвое, приняв во внимание разницу между силой трения покоя и силой трения скольжения. Измерения проводились для силы трения покоя, в то время, как сила трения скольжения составит половину от силы трения покоя. Короче, в итоге мы получаем силу врезки в пределах 600 фунтов. Это соответствует давлению на донце пули в 10000 psi. Данные по давлению в патроннике, приведенные в Ссылке 1, показывают минимальное давление, требуемое для прохода 150 грановой пули 30 калибра по стволу в 10000 psi (745 фунтов силы). Я думаю, что сила будет пропорциональна калибру, а давление, необходимое для врезки, будет более-менее постоянным в пределах 10000 psi. Если вы сравните движение пули на Рисунке 2-23 с давлением на Рисунке 2-21, то увидите, что пуля не начинает движение до тех пор, пока давление в патроннике не достигнет значения 10000 psi. Как только пуля вошла в нарезы, сила трения, требуемая для движения пули по стволу, составит около 80% (480 фунтов) от силы врезки, к тому же сила трения будет уменьшаться по мере набора пулей скорости.

В том же источнике (Ссылка 1) выведена зависимость изменения давления от изменения глубины посадки пули в гильзе для .308 калибра. Максимальное давление в патроннике уменьшается по 1000 psi на каждые 30 миллидюймов (милов) дополнительной дистанции (свободного хода) между пулей и пульным входом, где пуля касается полей нарезов. Другими словами, если вы посадите пулю таким образом, что у нее будет 60 миллов свободного хода до контакта с нарезами, максимальное давление в патроннике будет меньше на 2000 psi. Это означает, что давление в патроннике не очень чувствительно к изменению глубины посадки пули. Я предпочитаю оставлять зазор от 5 до 30 миллов для тяжелых пуль

калибров 270 и 30, а легкие бмм бенчрест пули так, чтобы они были в контакте с нарезами. Большинство бенчрест стрелков заряжают патроны так, чтобы пули входили на 10 миллов в нарезы. Возможно, это больше, чем вы хотели бы знать о внутренней баллистике, но я считаю это интересным.

Вариации веса пули

Целевые стрелки обычно взвешивают свои пули и отбирают их по весу, потому что вариации веса пули являются причинами вариаций дульных скоростей и величин понижения траекторий. Различия в гравитационном понижении траекторий пуль будет являться причиной вертикального рассеивания. Проблема в том, что никто не попытался сказать, насколько различия в весе пули будут приводить к вертикальному рассеиванию. Мы попытаемся рассчитать эффект вариации веса пули на дульную скорость и измерим это экспериментально. Расчеты при помощи компьютерной программы по внутренней баллистике показывают, что приращение дульной скорости в зависимости от заданного приращения массы пули можно рассчитать по формуле

$$(\delta V/V) = 0.24 * (\delta W/W)$$

где δV = изменение дульной скорости
 V = дульная скорость
 δW = изменение веса пули
 W = вес пули

Из этой формулы видно, что изменение веса пули на один процент приводит к изменению дульной скорости всего лишь на 0,24%. Причиной того, что скорость не изменяется так сильно, как некоторые могли бы предположить, является то, что существует компенсирующий фактор. При более тяжелой пули максимальное давление в патроннике по величине будет больше, а достигается раньше, что обеспечивает частичный компенсирующий эффект. Для проверки этих теоретических расчетов Уолтер Янковски из Cook Bullets изготовил несколько б мм пуль весом в 65 и 75 гранов в одинаковой оболочке и одинаковой формы. Это соответствует 15,4% увеличению веса, и в соответствии с формулой, мы должны ожидать 3,7% изменения в дульной скорости. Я протестировал эти пули стрельбой из бмм с зажатой в станке винтовки класса Тяжелый Варминт и получил разницу дульных скоростей в 3,2% на использованном хронографе Oehler 35P с отчетной оптической базой в 6 футов. Более подробно об эффекте вариации массы пули на вертикальное рассеивание написано в Главе 10.

Повреждения гильзы

Ввиду того, что я использовал короткие гильзы с большим зеркальным зазором в экспериментальных целях, у читателя может сложиться мнение, что большой зеркальный зазор безопасен и даже полезен для уменьшения рассеивания. Я хочу рассеять суждение о том, что большой зеркальный зазор, то есть большой нескольких миллов, является допустимым. Повторный отстрел гильз, выстрелянных с большими зеркальными зазорами часто является причиной отрыва донца гильзы, что является потенциально опасным. Вспомните, что экспериментальные данные получены в условиях дистанционного спуска курка. Кроме того, эти укороченные гильзы специально упрочнялись для избежания повреждений гильзы. Если вы хотите определить какое-либо выдвигание капсюля на стреляной гильзе, вы имеете увеличенный зеркальный зазор и необходимость регулировать его. На Рисунке 2-26 показаны четыре распространенных типа повреждений гильз. Первая гильза слева это стандартная гильза калибра 270, которая претерпела отделение донной части в результате

повторного отстрела с увеличенным зеркальным зазором. Вторая гильза слева – 300 Магнум гильза, донная часть которой отделилась ввиду большого зеркального зазора. Третья слева – гильза калибра 30-06, имеет осевую трещину возле донной части. Это произошло из-за многократного отстрела переобжатой гильзы из патронника с увеличенным диаметром, и, возможно, является самым опасным из всех видов повреждений гильз. Увеличенные патронники чаще встречаются в военных винтовках, потому что они должны работать в условиях повышенных загрязнений и не предусматривают стрельбу переснаряженными гильзами. Этот экземпляр взят из военных излишков калибра 30-06, которые я приобрел более 40 лет назад. Если у вас есть один из таких раритетов, лучше воздержитесь от переснаряжения старых гильз. Четвертая и последняя слева гильза получена после выстрела патроном калибра 7мм-08, который представляет собой гильзу калибра 308 Винчестер (7,62мм НАТО) переобжатую в дульной части до 7мм, из патронника калибра 280 Ремингтон, который больше напоминает патронник 30-06, показанный слева по рисунку. Гильза почти на 0,44 дюйма короче патронника, поэтому она просто расширилась по размеру патронника. К счастью, пуля была правильного диаметра, и никто не пострадал. Итог – будьте осторожны.



Рисунок 2-26 – фотография четырех гильз, демонстрирующая различные формы повреждений. Отделение донной части показано на двух крайних слева случаях. Осевая трещина около донной части на третьем слева случае. Крайняя справа гильза получена после выстрела патроном 7мм-08 из патронника калибра 280 Ремингтон.

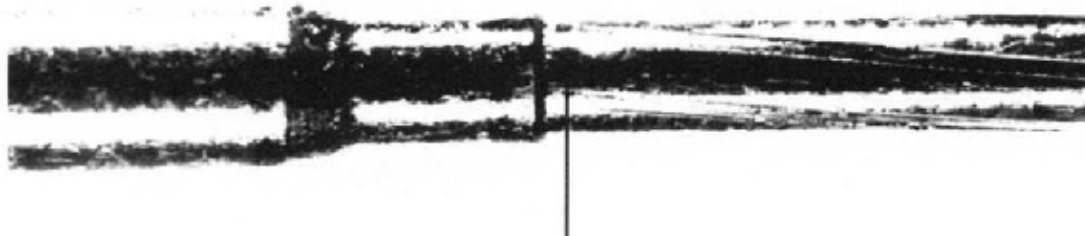
Выводы

Теперь мы имеем все необходимые нам внутрибаллистические характеристики, которые помогут нам определить и изолировать остальные причины неточности. Сила, ускоряющая пулю, показанная на Рисунке 2-24 представляет собой то же самое, что и сила отдачи, то есть сила, которая толкает винтовку назад, и она будет использована нами в дальнейшем для анализа эффекта вибрации ствола.

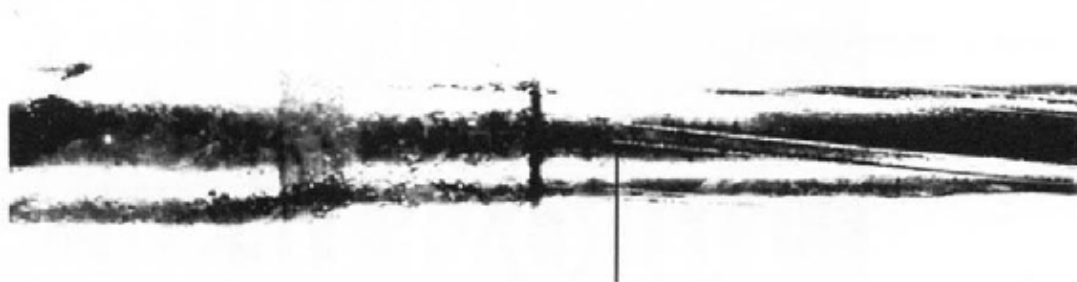
Конструкция патронника и пульного входа

Так как эта книга не является пособием для мастеров- оружейников (уже существует достаточное количество таких пособий), мы должны описать процесс обработки патронника и к чему приводят отклонения от этого процесса. Если патронник и пульный вход не концентричны с каналом ствола или их размеры увеличены, то пуля начнет рыскать (баллотировка) до того, как выровняется с осью канала ствола и пройдет через пульный вход. Это может привести к асимметричной деформации пули. Пульный вход в форме слишком крутого конуса также может быть причиной деформации пули. То, каким образом происходит эта деформация, является догадкой, но скорее всего это происходит от очень небольшого наклона пули относительно оси канала ствола. Это может вызвать смещение центра тяжести с оси канала ствола и стать причиной рассеивания. Это также может приводить к тому, что донце пули оказывается отклоненным в результате взаимодействия с дульным выхлопом, вызывая рассеивание. Это также может приводить к наклону главной оси, что приводит к ошибке, которую мы обсудим позже. Мы минимизируем эти эффекты путем изготовления патронника и пульного входа концентричными с каналом ствола, а также уменьшим наклон пульного входа почти вдвое по сравнению со стандартным пульным входом.

Если вы сделаете отливку патронника и пульного входа коммерческой винтовки, скорее всего вы найдете, что они не концентричны с осью канала ствола – другими словами, не-отцентрованы. Фотография видов спереди и сзади отливки патронника показана на Рисунке 3-1. если вы посмотрите внимательно на верхнее фото, то увидите, что нарезы начинаются от самого начала пульного входа, в то время, как на нижнем фото они начинаются на расстоянии 0,18 дюйма от начала входа.



начало поля нареза



начало поля нареза

Рисунок 3-1 – Фотография отливки пульного входа фабрично изготовленной винтовки, демонстрирующая несовпадение патронника и пульного входа. Отливка повернута на нижнем фото.

Из расчета половинного угла схождения пульного входа в $1,5^\circ$ найдем смещение пульного входа от оси канала ствола в 2,5 миллidayма (0,0025 дюйма). Это превышает в несколько раз допустимую ошибку. Это произошло потому, что обработка патронника проводилась на автоматизированных станках в условиях промышленного производства, что требует применения разверток без пилотов. Любой опытный токарь скажет вам, что беспилотная развертка скорее всего пойдет со смещением от центра и может значительно разбить отверстие. На Рисунке 3-2 показаны развертки для обработки патронника и отдельно пульного входа, где вы можете видеть пилоты (направляющие) на концах обеих разверток. Пилот – это короткая цилиндрическая часть на конце развертки, которая очень плотно садится по каналу ствола и ведет развертку в процессе обработки так, что патронник и пульный вход получаются выполненными на одной оси с каналом ствола.

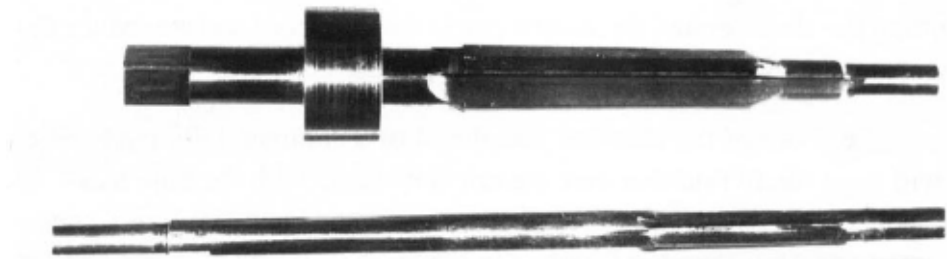


Рисунок 3-2 – Фотография разверток для изготовления патронника и отдельно пульного входа.

Развертки изготовлены из высокоуглеродистых стальных сверл и предварительно обработаны на станке до термообработки. Развертки прошли закалку в масле при температуре 1600°F и отпущены при температуре 500°F . Затем они были заточены на заточном станке и доведены вручную, после чего работали продолжительное время без дополнительной заточки. На хвостовиках разверток имеются регулируемые стопоры для контроля окончательной глубины обработки. Развертки с направляющими затруднено использовать в условиях серийного производства, потому что стружка может попадать на пилот и вызывать его заклинивание в канале ствола. Также, вы должны часто останавливаться и чистить развертку, приблизительно каждые $1/16$ дюйма длины резания. Частота вращения шпинделя токарного станка должна быть очень медленной, в пределах 60 об/мин. Изготовление патронника показано на Рисунке 3-3. Практически ничего нового в этой процедуре нет, за исключением того, что шпиндель токарного станка должен иметь отверстие достаточно большое для прохода ствола. Вы можете хорошо выполнить ту же процедуру на меньшем токарном станке, зажав дульную часть ствола в токарном патроне, а противоположную часть в люнете, но это будет намного сложнее. Мне требуется около двух часов на изготовление патронника и пульного входа с момента закрепления заготовки ствола в токарном станке. Такой отрезок времени слишком велик для серийного производства.

Я не видел большого количества патронников на разном оружии разных производителей, поэтому, может, я еще не встречал хороших патронников на серийно изготовленном оружии. Тем не менее, я не исключаю, что случайно беспилотная развертка пойдет по центру и более точный патронник будет изготовлен. Также, я не изучал современные спортеры последних лет изготовления, поэтому возможно, что сейчас промышленные предприятия делают свою работу лучше, хотя я в этом не уверен.



Рисунок 3-3- Фотография, демонстрирующая изготовление патронника.

Увеличенный в размере патронник – это другая проблема, встречающаяся на винтовках промышленного изготовления. Это получается в результате использования беспилотных разверток, разверток большего размера и плохо заточенных разверток. Патронники промышленно изготовленных винтовок должны иметь достаточные зазоры для приема гильз с толстыми горловинами, полученными в результате перепрессовки по длине и накопления углерода и грязи (продуктов горения), иначе могут возникать опасно высокие давления. Они также должны обеспечивать работу с большой номенклатурой коммерческих боеприпасов. Шейка гильзы должна расширяться достаточно для освобождения пули. цилиндрическая часть и шейка патронника 270 калибра, который я использовал, имели диаметральный зазоры от 3 до 4 миллidyймов, и у меня не возникало никаких проблем. На самом деле, это минимальный размер патронника, и если вы не заботитесь об изготовлении или состоянии тех патронов, которые вы набиваете в свою винтовку, это может вызвать серьезную проблему. Бенчрест винтовки имеют уменьшенные патронники и поэтому шейки гильз, предназначенных для использования там, предварительно обтачиваются до того, как заряженные патроны попадут в патронник. Заводские гильзы Лапуа калибра 220 Русский (5,6x39), используемые для бенчрест винтовок калибра БРРС, имеют толщину стенки шейки гильзы около 13 миллов. Шейка гильзы обтачивается до конечной толщины стенки в 8,5 миллов с разницей по толщине не превышающей 0,1 миллidyйм. Заряженные патроны тщательно обмеряются перед стрельбой, чтобы убедиться, что они соответствуют патроннику. Радиальный зазор между стенкой заряженного патрона и шейкой патронника на бенчрест винтовке обычно составляет лишь от 0,4 до 0,7 миллов (0,0004 до 0,0007 дюймов). Они также садят пулю в нарезы, что помогает отцентрировать пулю. Тем не менее, посадка пули в гильзе, при которой пуля касается нарезов в пульном входе, также увеличивает и пиковое давление в патроннике, что не желательно. Очевидно, стрелки бенчрест нашли, что иметь пулю отцентрированной по каналу ствола важно, и я думаю, что они правы. Не так редко патронники армейских винтовок имеют радиальный зазор в 5 миллов (0,005 дюймов) по всей длине патронника.

Глубина посадки пули в гильзе оказывает влияние на то, насколько близко к центру становится пуля. В общем, пуля становится точно отцентрированной, когда находится в плотном контакте с полями нарезов, тем не менее, Ссылка 1 говорит о том, пиковое давление уменьшается, если пуля имеет свободный ход до контакта с нарезами. Так как минимальное пиковое давление для данного заряда подразумевает минимальное биение пули, автор рекомендует глубину посадки пули, обеспечивающую вхождение пули в поля нарезов на 0,010 дюймов для бенчрест винтовки с легкой пулей, и около 0,020 дюймов свободного хода пули до контакта с нарезами в случае спортивной винтовки (спортера), использующей тяжелую пулю. Это означает, что максимальное отклонение пули в спорттере будет лишь около 0,2 мила (0,0002 дюйма) с половинным углом конуса пульного входа в 0,75 градуса. Хотя возможности проверить это суждение нет, но отклонение пули всего на несколько десятых мила кажется достаточно малым для минимизации деформации пули. Эскиз на Рисунке 3-4 демонстрирует то, о чем мы сейчас говорим.

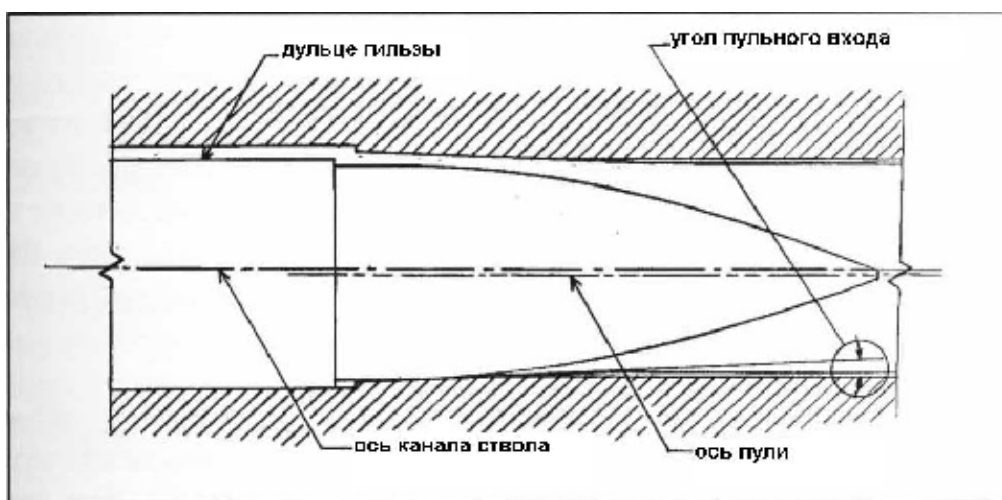


Рисунок 3-4 – Эскиз, демонстрирующий влияние глубины посадки пули в гильзе на центровку пули относительно канала ствола.

Здесь показаны концентричные патронник и пульный вход, которые концентричны, но имеют увеличенный размер. Если пуля движется вперед, она также движется вверх ближе к центральной оси канала ствола. Здесь также показано, почему менее глубокий половинный угол пульного входа улучшает выравнивание пули с каналом ствола, обеспечивая удовлетворительное количество движения пули до начала процесса врезки в нарезы. Я не пробовал делать пульные входы с половинным углом меньше 0,75 градуса, потому что на меньшем половинном угле может возникать обдирание наружной поверхности пули, и я не уверен, что более неглубокий угол может улучшить ситуацию. Я рекомендую более крутой уклон (половинный угол $2,5^\circ$) для пульных входов бмм бенчрест винтовок, потому что короткая пуля слишком неглубоко сидит в гильзе при пологих пульных входах. Многие специально изготовленные бенчрест винтовки имеют половинный угол в $1,5^\circ$.

Стандартные пособия по переснаряжению патронов детально описывают как отрегулировать посадочные пресса для правильной глубины посадки пули. Доступно множество приспособлений для стрелков бенчрест, которые тщательно контролируют глубину посадки пуль. На охотничьих боеприпасах хорошей идеей является проверка патрона, досланного в патронник, на предмет отсутствия следов от нарезов на новой пуле. Иначе, пуля может застрять в нарезах при разряжении, и у вас будет затворная группа полная пороха. В полевых условиях это плохая новость, так как вычистить порох довольно трудно. Тем не менее, такая проверка может быть выполнена на пустой гильзе, либо на стрельбище с заряженными патронами.

Изготовление по-настоящему точных разверток и оправок трудоемко и требует много времени. Полезно сделать сразу две, на тот случай, чтобы продолжить работу второй, если первая испортится. Обычно мне требуется три дня на изготовление развертки патронника. Большинство знаний по изготовлению разверток и оправок я взял у Фрэнка А. Хэмстэда, одного из старых мастеров по изготовлению штучному оборудованию для переснаряжения патронов. Представляете, он сделал для меня комплект оправок для посадки пули в 1969 году, а потом ему стало интересно, как я его использую, и он приехал ко мне. Он остался на несколько дней и рассказал мне много интересного о механообработке. Ему было около 80 лет, когда он отправился в Счастливые Охотничьи Края несколько лет назад.

Экспериментальная винтовка, используемая в данной книге, имела ствол Дуглас Премиум с половинным углом конуса пульного входа в 0,75 градуса, что составляет около половины от соответствующей величины на промышленно изготовленной винтовке (1,53 градуса). Это сделано для упрощения вхождения пули в канал ствола и уменьшения деформации пули. Единственным подтверждением данного служит то, что стала стрелять чуть кучнее, чем обычная заводская винтовка, и основными отличиями были лишь уменьшенный угол пульного входа и отцентрированный с каналом ствола патронник. Другим отличием было то, что ствол Дуглас Премиум изначально имел ровный канал ствола и не испытывал гибки для выпрямления его. Выпрямление винтовочных стволов гибкой является основной причиной температурного ухода точки попадания, потому что вносит напряжения в связи металлической кристаллической решетки, которые ослабевают при повышении температуры. В общем, когда вы стреляете, ствол нагревается и стремится принять свое первоначальное изогнутое положение, смещая точку попадания. Если производители откажутся от процесса глубокого сверления ствола, изгибающего ствол, то, возможно, эта проблема будет решена. Я определил, что температурный уход может быть уменьшен при отстреле, ни много, ни мало, ста патронов в темпе, который обеспечивают такую температуру ствола, что до него еще можно дотронуться. Я недавно отстреливал новый ствол, в котором точка попадания ушла вниз и влево приблизительно на два дюйма и стабилизировалась после 20 выстрелов. На самом деле, это быстрый метод снятия напряжений, потому что высокая температура совместно с напряжениями, возникающими при стрельбе, ускоряют процесс. Используйте малые и средние заряды, так как высокие температуры повышают давление в патроннике. Производители единичных стволов, такие как Дуглас, Шилен и другие, снимают напряжения в заготовках стволов, выдерживая их в печи с инертной атмосферой (для исключения образования отшелушивания) при температуре 1020°F. Насколько я смог определить, в данных стволах присутствует лишь очень небольшой температурный увод, вызванный внутренними напряжениями. Кроме того, температурное искажение могут вызывать не отцентрированные канал ствола и рампообразная деталь крепления мушки, припаяваемая к стволу. Однако снятие напряжений не сможет помочь стволу, имеющему канал ствола и основание мушки не соответствующими центру ствола. Может также возникать небольшое отклонение от выборочного воздушного охлаждения внешней поверхности ствола. Выборочный нагрев происходит из-за того, что нижняя часть ствола предохраняется ложей, а также от действия ветра. Некоторые бенчрест винтовки класса Unlimited (без ограничений) имеют стволы, заключенные в алюминиевые трубки, что по-видимому уменьшает эффект выборочного охлаждения.

Если вы хотите сами заняться оружейными работами, вот несколько источников (Ссылки 10,11,12), которые могут быть полезны. Но будьте осторожны, потому что оружие может взрываться. Остерегайтесь старых армейских затворных групп, потому что большинство из них недостаточно прочны. На Рисунке 3-5 показана старая японская винтовка, которая

«разобралась» после применения гильзы, слишком длинной для патронника. Стрелок был ранен в нескольких местах, но вылезился.

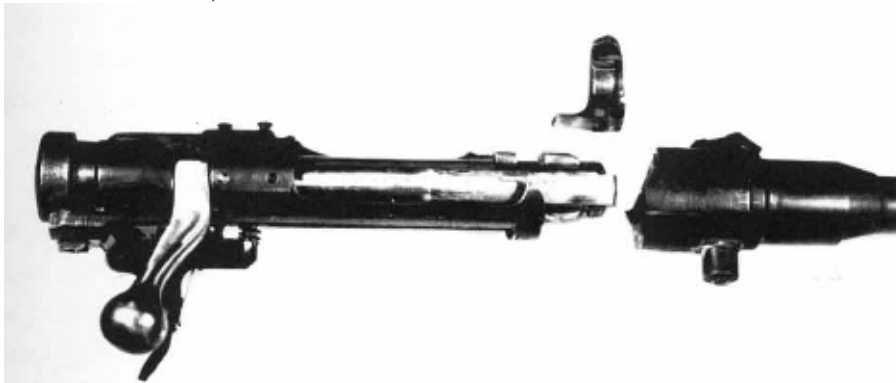


Рисунок 3-5 – Фотография 6,5 мм винтовки Арисака, взорвавшейся в результате применения слишком длинной для патронника гильзы.

Глава 4

Вибрация ствола

Вибрация ствола является одним из основных факторов, приводящих к неточности винтовки, тем не менее, я не смог найти каких-либо признаков экспериментальных работ по этой теме в доступной литературе. Значительной работой по вибрации артиллерийского ствола была работа Эда Шмидта сотоварищи в Американской Армейской Лаборатории Баллистических Исследований (ссылки 13,14,15 и 16), и результаты в ней были получены в чем-то схожие с теми, что были получены в данной работе на винтовках. Но разница в размерах делает довольно трудным применение данных с артиллерийских стволов. Единственным объяснением того, что никто не выполнил такое исследование с тех пор, как появились винтовки, является то, что это довольно сложная техническая проблема, которая требует применения большой исследовательской лаборатории, и, соответственно, большого бюджета. Порой приходится видеть статьи, в которых авторы рассуждают над данной проблемой в общих чертах, не прибегая к фактическим данным, и часто приходят к неверным выводам. Я вспоминаю одну статью, где автор приходит к выводу, что ступенчатая конфигурация ствола военного Маузера была сделана для управления либо предотвращения вибрации ствола. Данная точка зрения не имеет никакой технической поддержки, а ступенчатая конфигурация бесспорно использовалась для ускорения механической обработки ствола. В этой работе мы попытаемся найти насколько и как вибрирует ствол, и уменьшить причины этой вибрации. Мы сделаем это, измерив момент, действующий на переднее кольцо ресивера, который заставляет ствол вибрировать, а потом внесем изменения в винтовку, чтобы убрать силы, обуславливающие этот крутящий момент. Потом мы измерим вибрацию дульной части ствола в вертикальной плоскости при помощи акселерометра, чтобы убедиться, что вертикальная вибрация дульной части погашена. Мы также будем использовать компьютерную программу моделирующую вибрации ствола в качестве руководства для конструирования инструментария и определения влияния вибрации ствола на точность. Хотя представленные данные ограничены вертикальной плоскостью, помните, что такие же колебания только с меньшими амплитудами существуют и в горизонтальной плоскости, так как там действуют те же крутящие моменты или силы.

В процессе наших исследований мы найдем, что моменты, обуславливающие вибрацию ствола, определяются: силой отдачи, действующей на упор отдачи; ударом затвора, действующим на боевые упоры затвора при неравномерном контакте; и от сил, возникающих в гильзе патрона, структурно не симметричных, действующих на ресивер. Вначале мы избавимся от момента в упоре отдачи, применив специальное беддинг-приспособление, потом уменьшим структурную асимметрию системы, что приведет к серьезному уменьшению сил и моментов, заставляющих ствол вибрировать.

Все работы на стандартных и модифицированных винтовках проводились с калибром 270 Винчестер, как применимо на любых спортивных винтовках. В конце главы приведены данные по патронам 6BR, 6мм Ремингтон и 6PPC.

Теперь заметка для читателя: эта глава одна из самых длинных и наиболее комплексная в книге. Тем не менее, сделана попытка описать все в физических понятиях таким образом, чтобы все было понятно читателю без специального технического образования. Итак, напряжемся еще немного!

Момент кольца ресивера

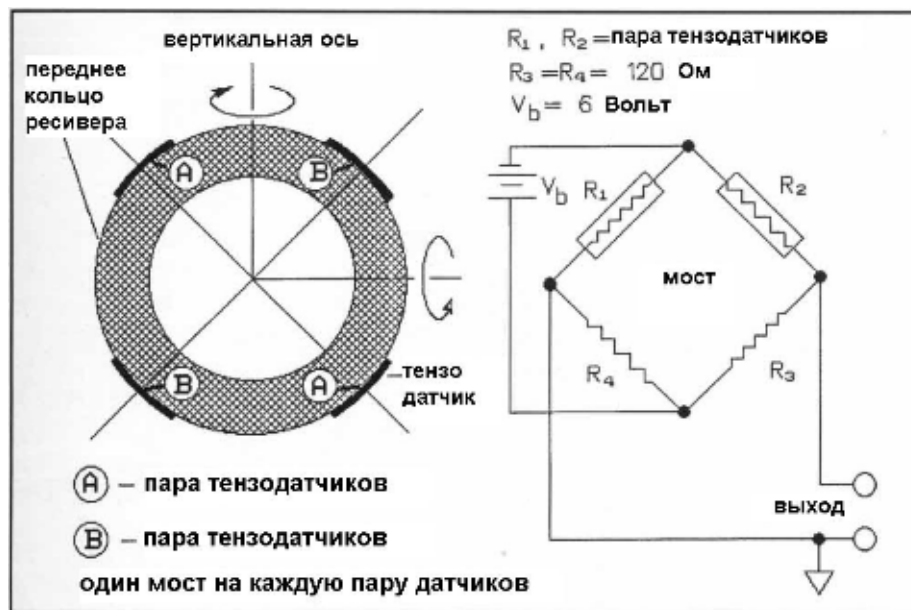


Рисунок 4-1 – Эскиз, показывающий расположение тензодатчиков на переднем кольце ресивера и схему моста для измерения момента кольца ресивера

Вибрация ствола напрямую связана с моментом на переднем кольце ресивера. Момент есть ничто иное, как приложенная сила, умноженная на расстояние или плечо момента. К примеру, если вы прикладываете вертикальную силу в 1 фунт к дульному срезу (плечо составляет 24 дюйма), то момент на переднем кольце ресивера составит 24 дюйм-фунта, которые можно измерить тензометром. На самом деле, так калибруют тензометр. Вы прикладываете известную силу на известном плече, в вертикальном и горизонтальном направлении, и снимаете отклонение по осциллоскопу. В этом случае цена деления отклонения линии осциллоскопа должно соответствовать 240 дюйм-фунтов на сантиметр при чувствительности осциллоскопа в 0,05 Вольт/см. Рисунок 4-1 показывает заднюю часть кольца ресивера с установленными четырьмя тензодатчиками, и как вы можете видеть, они соединены попарно. Каждая из пар этих датчиков подключена к мосту, также показанному на Рисунке 4-1. Пара тензодатчиков, подключенных таким образом, измеряет разницу в растяжении между двумя датчиками, которая пропорциональна моменту. Заметьте разницу между мостовыми схемами при измерении момента и при измерении давления (Рисунок 2-5). Направление положительного момента показано направлениями круговых стрелок вокруг осей. Пары тензодатчиков развернуты на 45 градусов для освобождения блока установки прицела и переднего винта спусковой скобы. Однако, выходы тензометрических мостов могут быть совмещены в усилителях осциллоскопа для обнаружения моментов вокруг горизонтальной и вертикальной осей. Момент в вертикальной плоскости, т.е. момент вокруг горизонтальной оси, равен сумме моментов с мостов А и В, деленной на квадратный корень из двух. Момент в горизонтальной плоскости это момент А минус момент В разделить на квадратный корень из двух. Чувствительность осциллоскопа в вертикальной и горизонтальной плоскостях составляет 240 дюйм-фунтов на сантиметр. Вертикальный момент показан на верхней трассе, а расположение трассы над линией отсчета говорит о том, что момент будет подбрасывать дульную часть ствола вверх. Горизонтальный момент показывается на нижней трассе, а его расположение выше указывает на смещение ствола влево.

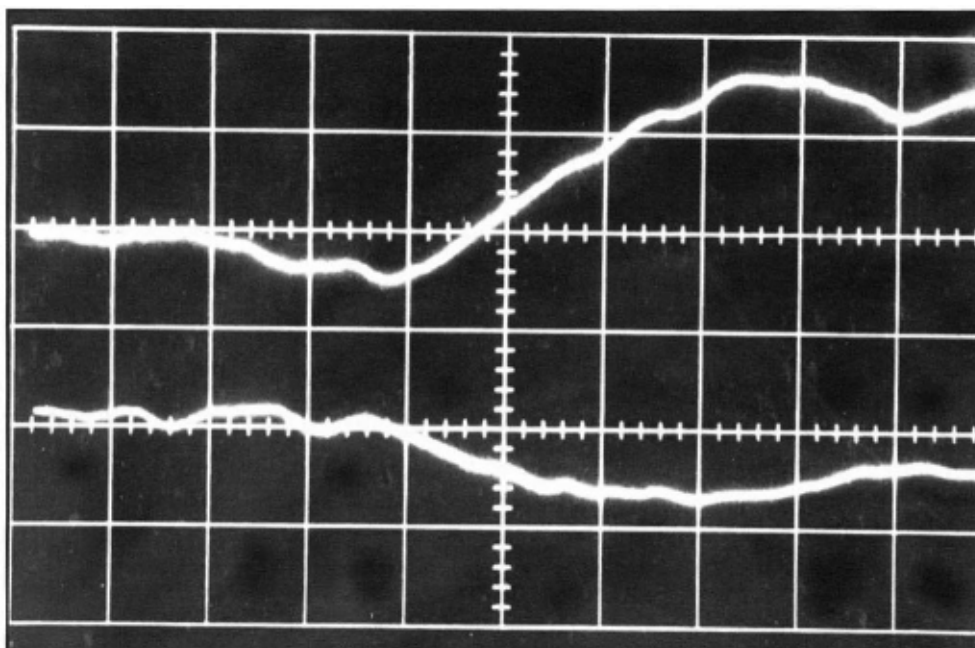


Рисунок 4-2 – Оциллограмма, показывающая момент кольца ресивера в вертикальной плоскости (сверху) и горизонтальной плоскости (снизу). Масштаб соответствует 240 дюйм-фунтам по вертикали и 0,2 мсек по горизонтали.



Рисунок 4-3- Экспериментальный момент кольца ресивера на стандартной не модифицированной винтовке. Представлен средний случай

Рисунок 4-2 показывает экспериментальную запись осциллоскопа., где патрон выстреливается на расстоянии 1 см, а пуля покидает ствол на расстоянии 8 см по горизонтальной оси. Пиковый момент в вертикальной плоскости (верхняя трасса) составляет около 396 дюйм-фунтов (отклонение трассы 1,65 см) и около 216 дюйм-фунтов (0,9см отклонения) в горизонтальной плоскости. Эта запись (Рисунок 4-2) показательна для случая, когда момент кольца ресивера близок к минимуму. Обычно нижняя трасса используется для записи электрического сигнала от ключа на дульном срезе, который показывает момент выхода пули из ствола. Этот сигнал выхода пули используется для точной временной корреляции

ции между различными записями. Я показал читателю этот пример записи для того, чтобы он представлял, как выглядят реальные данные. Тем не менее, чтение и интерпретация данных в таком виде является довольно неудобным, поэтому мы должны перевести большинство осциллографических трасс при помощи электронного сканирования в форму, которую можно распечатать и сделать пригодной для компьютерной обработки. Добавление правильных шкал и подписей делает эти записи намного более простыми и читаемыми. Правда это предполагает небольшую потерю в разрешении ввиду ограничений, налагаемых компьютером. Однако, удобство в чтении и понимании намного превосходит небольшую потерю в разрешении.

Рисунок 4-3 показывает момент кольца ресивера в вертикальной плоскости для среднего случая, записанный в новом формате. Обратите внимание, что показан момент только в вертикальной плоскости, потому что с данного момента мы сконцентрируем внимание только на вертикальном моменте. Заметьте, что пиковый момент составляет около 450 дюйм-фунтов. Основываясь на анализе нескольких сотен записей, можно сказать, что момент может варьироваться на ± 150 дюйм-фунтов вокруг номинального значения в 450 дюйм-фунтов. Другими словами, пиковый момент лежит в пределах от 300 до 600 дюйм-фунтов на одном и том же заряде. Также, промежуток времени, на который приходится пик, изменяется на небольшую величину. Эта вариация момента является важным эффектом, который обусловлен рядом проблем, которые мы попытаемся определить. Позже в этой главе мы будем использовать эту информацию для оценки влияния эффекта вибрации ствола на размере групп.

Итак, суть проблемы – уменьшить момент как можно ближе к нулю, чтобы ствол не вибрировал вообще. Если не будет момента, воздействующего на переднее кольцо ресивера, не будет причины, заставляющей ствол двигаться. Первой причиной возникновения момента, с которой мы будем «сражаться», будет момент из-за силы отдачи.

Эффекты отдачи

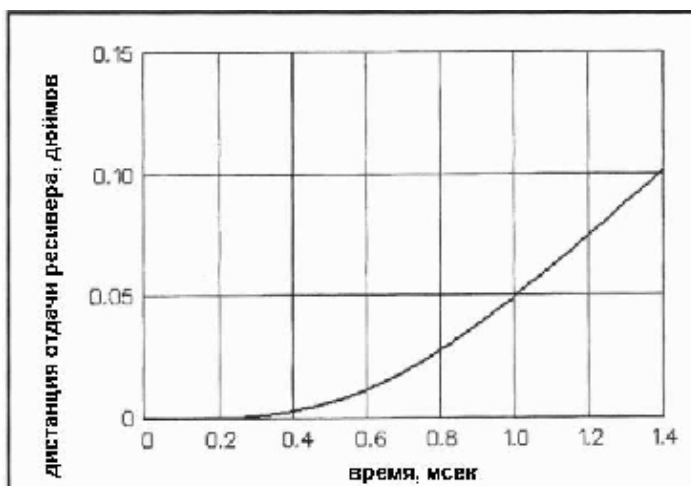


Рисунок 4-4 – Рассчитанная дистанция, на которую сместится ресивер со стволом и прицелом при свободном откате от отдачи за время, пока пуля находится в стволе

При выстреле винтовки на ресивер действует чистая сила отдачи, которая равна силе, воздействующей на донце пули, и составляет порядка 3000 фунтов при пике давления в патроннике 53000 PSI. Сила, воздействующая на пулю, показана на Рисунке 2-24. эта сила передается на ложу посредством упора отдачи, расположенного в нижней части ресивера. Ввиду того, что должна существовать равная по величине и противоположно направленная сила реакции на любую силу, ложа также воздействует на упор отдачи силой, направ-

ленной в противоположном направлении, т.е. вперед. Эта сила приводит к возникновению на переднем кольце ресивера момента отдачи, старающегося сместить дульную часть ствола вверх. В соответствии с компьютерными расчетами (Рисунок 4-4), ствол скрепленный с ресивером, не соединенные с ложей, откатятся в результате выстрела на расстояние около 0,1 дюйма за время, пока пуля находится в стволе. Момент отдачи, возникающий в переднем кольце ресивера в результате воздействия упора отдачи на ложу, может быть полностью ликвидирован посредством обеспечения стволу и ресиверу возможности свободно откатываться в ложе до тех пор, пока пуля находится в стволе. На Рисунке 4-5 показана фотография Изолятора Отдачи, в котором использован принцип изгибаемых балок, которые являются гибкими в осевом направлении, но жесткими в вертикальном и горизонтальном направлении. Верхняя часть обработана для удержания ресивера, с которым свинчена короткими винтами, не касающимися нижней части, которая, в свою очередь, удерживается в ложе посредством трех коротких винтов спусковой скобы. Верхняя часть с ресивером, как единое целое, скользят назад до достижения упором отдачи тонкого (90 мил) резинового амортизатора, расположенного между упором отдачи и нижней частью приспособления. Цель резинового амортизатора – предотвратить наклеп на мягкой алюминиевой поверхности от упора отдачи и для уменьшения ударной нагрузки на ложу от внезапно возникающей силы. Между упором отдачи и нижней частью приспособления располагается маленькая витая пружина, которая отталкивает упор отдачи вперед от задней части приспособления после их соприкосновения, с силой около 20 фунтов. Две канавки на нижней поверхности нижней части приспособления служат для передачи силы отдачи ложе после того, как упор отдачи достигнет нижней части приспособления через резиновый амортизатор. Нижняя часть уложена (bedding) в ложу на эпоксидную смолу наполненную алюминием (Devcon F). Приспособление, вставленное в ложу, полностью невидимо и не показывает своего присутствия. В общем, упор отдачи не испытывает никакой силы отдачи пока отодвигается назад на 0,1 дюйма, т.е. пока пуля не покинет ствол. Откат на полные 0,1 дюйма до того момента, пока упор отдачи не ударится о резиновый амортизатор, не являются необходимыми, т.к. достаточно задержать упор отдачи всего на несколько десятых миллисекунды для избежания достижения возмущением дульного среза ствола до вылета пули. Другими словами, иметь зазор более чем 0,06 дюйма между упором отдачи и резиновым амортизатором не является необходимым.

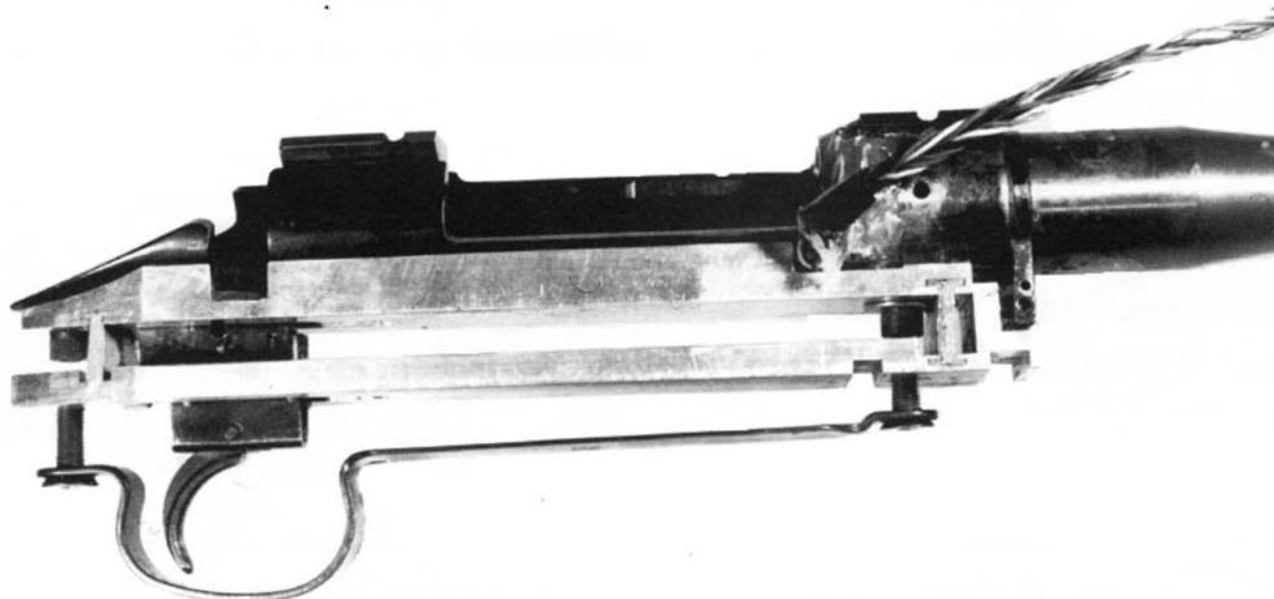


Рисунок 4-5 – Фотография экспериментальной винтовки, смонтированной на Изоляторе Отдачи

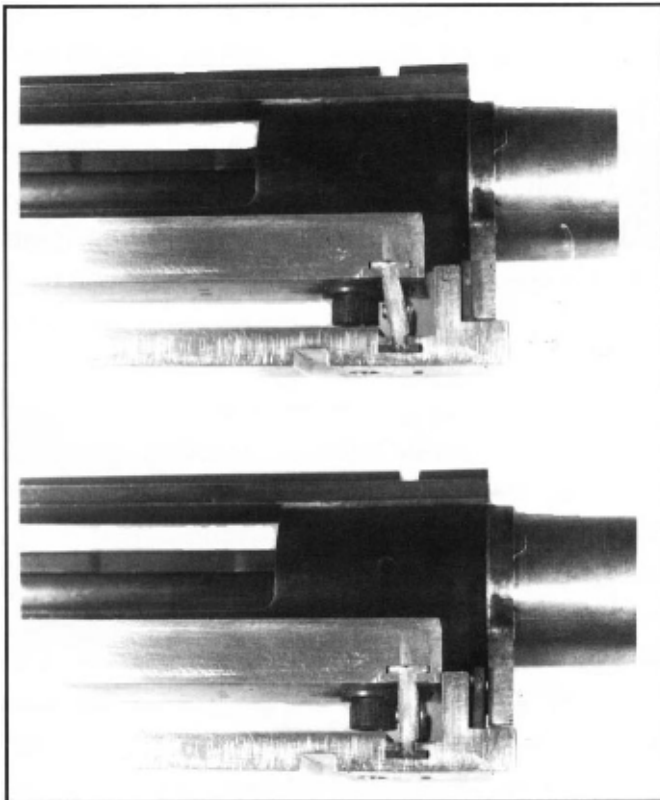


Рисунок 4-6 – Фотография передней части Изолятора Отдачи, показывающая детали переднего гибкого звена. Ресивер в передней позиции (накат) на верхнем фото, на нижнем фото ресивер в позиции отдачи.

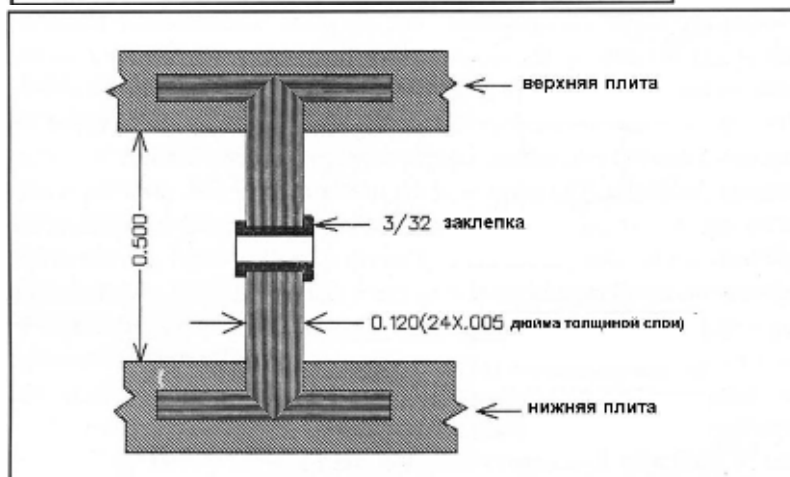


Рисунок 4-7 – Эскиз, показывающий разрез гибкого элемента Изолятора Отдачи

Гибкие элементы имеют толщину 0,120 дюйма и сделаны из 24 слоев тонких алюминиевых пластинок в 0,005 дюйма толщиной каждая. На фотографии (Рисунок 4-6) показана боковая сторона Изолятора Отдачи, где хорошо виден профиль гибкого элемента и как он изгибается во время отдачи. Разрез одного из гибких элементов показан на Рисунке 4-7. Слои в форме буквы «С» выштампованы при помощи матрицы на гидравлическом прессе, после чего из 24 из них собраны в I-образный гибкий элемент и вставлены в T-образные канавки в нижней и верхней частях приспособления. Слоистая конструкция очень эффективно воспринимает отклонения в осевом направлении без превышения предела упругости, в то же время она обеспечивает практически такую же жесткость и прочность в поперечном направлении, как цельный кусок материала. В данном прототипе слоистые гибкие элементы соединены штифтами с верхней и нижней частями приспособления для избежания перемещения в горизонтальном направлении. В то же время, такое соединение обеспечивает быструю разборку. В процессе производства гибкие элементы могут быть неразборно присоединены к верхней и нижней частям при помощи специальной укладки. Также, верхняя часть устройства была отфрезерована спереди для обеспечения зазора, необходимого для прохода проводов тензодатчиков, в то же время обработка окон под мага-

зин, предохранитель и останок затвора не проводилась из соображений упрощения конструкции. в процессе производства верхняя и нижняя части могут быть отлиты под давлением, что делает их недорогими. Это приспособление намного прочней, чем оно может показаться на первый взгляд, и если вы не из тех людей, которые используют винтовку в качестве лома, то оно должно быть достаточно прочным для вас. Первоначальная конструкция не имела заклепок в 3/32 дюйма, и гибкие элементы под большими сжимающими нагрузками показывали признаки коробления (продольного сгиба). Две заклепки в переднем элементе и одна в заднем серьезно уменьшили тенденцию к короблению без потери гибкости в осевом направлении. Высота I-образных элементов также была уменьшена с 0,75 до 0,7 дюйма, т.к. изготовленные элементы оказались немного более гибкими, чем рассчитанные в процессе проектирования. Уменьшение высоты гибких элементов потребовало добавления материала на нижнюю часть приспособления для сохранения того же плеча отдачи, которое ограничивалось параметром допустимого напряжения. Несмотря на эти небольшие дефекты, оригинальный Изолятор Отдачи до сих пор функционирует правильно после настрела более 2000 выстрелов. Я прошел через несколько конструкций Изолятора Отдачи, но эта является наиболее подходящим.



Рисунок 4-8 – Фотография изолятора отдачи скольжения по направляющей. В результате проверки выяснено, что он уступает Изолятору Отдачи с гибкими элементами.

Другой конструкцией, достойной упоминания, является применение схемы, используемой на оружейных лафетах, а именно устройство, скользящее по пазу (направляющая типа ласточкин хвост ?), Рисунок 4-8. Проблемой, не решенной в данной конструкции, остается то, что вес ствола заставляет зад верхней части приспособления двигаться вверх, а перед, соответственно, вниз до соприкосновения плоских поверхностей. Это движение оставляет скошенные поверхности приспособления незадействованными, что приводит к возможности вращения ресивера в горизонтальном направлении. Таким образом, за 4 миллисекунды, проходящие от момента накола капсюля до вылета пули из ствола, происходит достаточное количество такого горизонтального движения. Этот эффект может быть уменьшен с применением пружин сжатия между верхней и нижней частями приспособления, однако это увеличивает трение в соединении. Кроме того, накопление грязи в соединении может вызывать заклинивание в процессе движения. Так что, я так и не смог заставить это устройство работать удовлетворительно, поэтому я отказался от него.

Момент переднего кольца ресивера, измеренный при установленном Изоляторе Отдачи показан на Рисунке 4-9 в сравнении с моментом на винтовке без Изолятора. Вы можете видеть, что большой положительный момент, подбрасывающий ствол вверх, который мы относили к воздействию отдачи, исчез, но появился соизмеримый с ним по величине отрицательный момент, опускающий ствол вниз. Не стоит говорить, но я был ошарашен таким открытием, так как ожидал, что общий момент приблизится к нулю при устранении влияния момента от отдачи. Этого не произошло, значит мы открыли другой источник

момента. Проблема состоит в том, чтобы выяснить, где находится этот источник. Тем не менее, забегая вперед, я скажу, что отрицательный момент появляется в результате асимметрии переднего кольца ресивера.

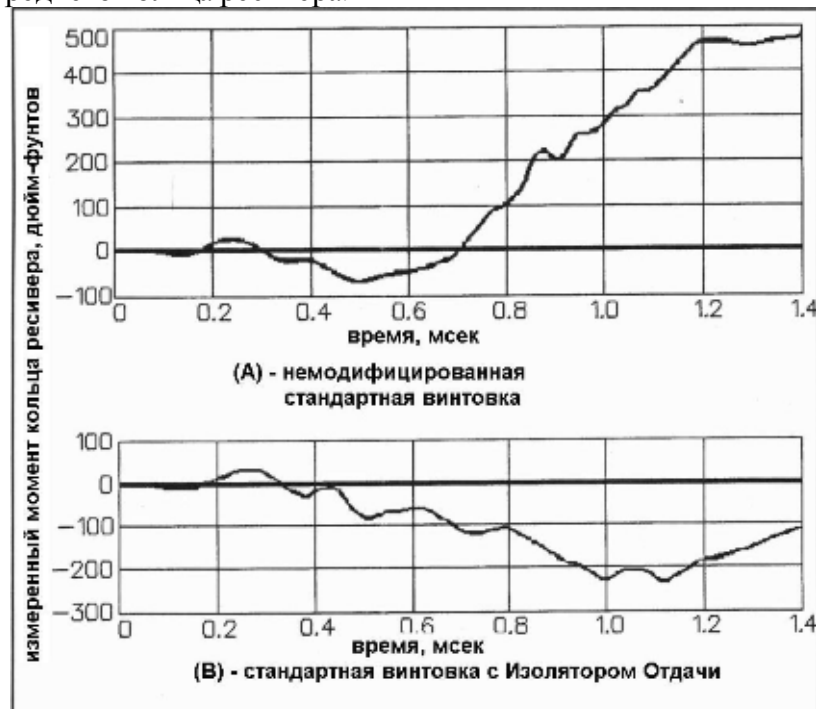


Рисунок 4-9 – Экспериментально измеренный момент кольца ресивера для стандартной (А) винтовки и стандартной винтовки с Изолятором Отдачи (В).

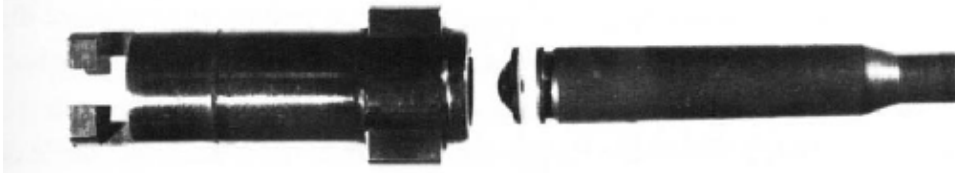


Рисунок 4-10 – Фотография затвора винтовки с самоустраивающимся зеркалом. В результате проверки выяснена его ненужность.

Вначале я думал, что это может быть в результате наличия скоса на головке (скорее всего донце – *Прим. пер.*) гильзы, который приводит к асимметрии удара затвора, и я сделал затвор, зеркало которого было самоустанавливающимся (Рисунок 4-10) и соответствовало скосу на донце гильзы. Экспериментальные данные показали, что данный эффект не исчезает. Теоретический анализ свидетельствовал, что латунное донце гильзы не в состоянии передавать большой момент. Теория и некоторые простые опыты показали, что это предположение неверно.

Другой идеей было то, что удар затвора не распределяется равномерно по обоим упорам затвора, и я сделал затвор, имеющий самоустанавливающуюся личинку, которая прекрасно взаимодействовала с боевыми упорами ресивера (Рисунок 4-11). И снова никакого влияния на экспериментальные данные, таким образом, и эта идея была преждевременно отклонена.

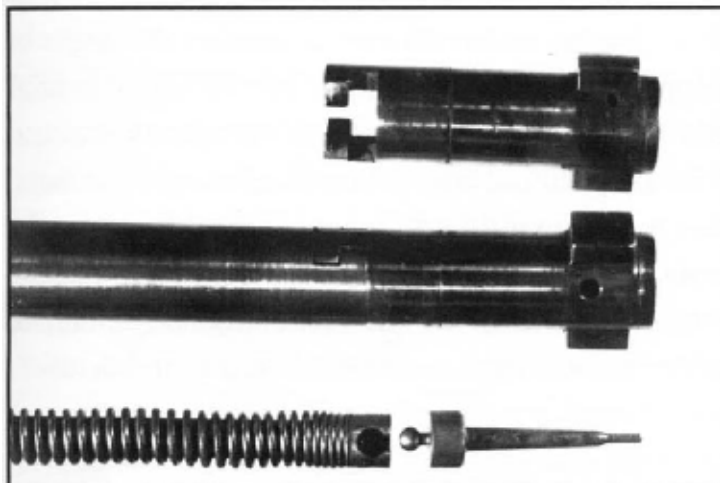


Рисунок 4-11 – Фотография самонастраивающейся головки затвора. Сверху головка затвора с двухназным соединением. В середине собранный затвор. Снизу самонастраивающийся ударник.

Несколько позже, когда я начал работать с другим ресивером, у которого был не большой настрел, я заметил, что упоры затвора опираются на упоры ресивера неравномерно. При снятом стволе было видно, что воронение на верхнем упоре было лишь слегка повреждено, в то время как на нижнем было снято почти полностью. Упоры затвора, закопченные свечой, доказали тот факт, что на новом ресивере затвор был перекошен передней частью вниз, а задней частью вверх в результате действия вертикальной силы шептала на заднюю часть затвора, в результате чего основную часть усилия на затворе воспринимал нижний боевой упор ресивера. Так как зазор между ресивером и затвором в Ремингтоне 721 составляет 8 милс (0,008 дюйма), угол наклона затвора составит порядка 0,08 градуса. Когда я провел тест с закопчением на старом ресивере то оба упора работали одинаково, и не удалось обнаружить никакого различия в моменте при применении затвора с настраивающейся личинкой. И тогда меня осенило. В старом ресивере – с которым мы работали – боевые упоры притерлись друг к другу в результате отстрела многих тысяч патронов. Кроме того, продукты сгорания пороха и капсюля, в которых есть углерод, и песок, являющийся хорошим абразивом, накапливались на передней части ресивера и производили работу по притирке. А упоры ресивера я чистил не часто. Мы как-то проверили взаимодействие упоров затвора на трех сделанных под заказ бенчрест винтовках и обнаружили, что на всех трех работает только нижний упор ресивера. Эти заказные винтовки имели более жесткую посадку затвора в ресивер и показывали зазор порядка 5-6 мил. Многие авторы, пишущие на оружейную тематику, рекомендуют неторопливо притирать боевые упоры с использованием абразивного состава и совершая затвором обычное движение, однако это чудовищно непроизводительно и может затрагивать те части винтовки, которые вы не хотели бы трогать. Лучшим путем решения данной проблемы является машинная обработка как боевых упоров затвора, так и его зеркала на соответствующий угол, для соответствующей затворной группы. Я модернизировал новую затворную группу Ремингтона 721 путем срезания задней поверхности упоров затвора под углом 0,08 градуса и последующей притирки затвора с установленной на место сборкой ударника. Притирка боевых упоров со снятой сборкой ударника (рекомендуемая некоторыми оружейниками) не несет ничего хорошего, так как воздействие боевой пружины на шептало является основной причиной опрокидывания задней части затвора. Корректировка положения упоров затвора требует снятия порядка 1 мила с нижнего упора. В этот раз я обрабатывал угол в 0,08 градуса при помощи концевой фрезы. Тем не менее, я бы рекомендовал притирать угол на зеркале затвора при помощи алюминиевого стержня с грубым песком. Затвор закрепляется под определенным углом в токарном станке с фрезерной насадкой. Как результат, донце гильзы остается плоским, как ему и положено быть. Если вы проверите гильзы, стрелянные много раз из немодифицированной винтовки, приложив прямую поверхность к донцу гильзы, то вы заметите, что донце закругленное. Это происходит из-за того, что зеркало затвора перекошено, а, как было выяснено ранее, донце гильзы слишком

слабое, чтобы выдерживать большие моменты. Я не могу сказать, как сильно сказывается эффект перекошенного затвора на вибрации ствола, потому что не исследовал новую затворную группу на предмет неравномерного прилегания упоров затвора. Но я провел качественный тест, отстреляв группу из трех патронов с равным прилеганием упоров затвора, и отстреляв два патрона после того, как с верхнего упора было сточено несколько тысячных дюйма.

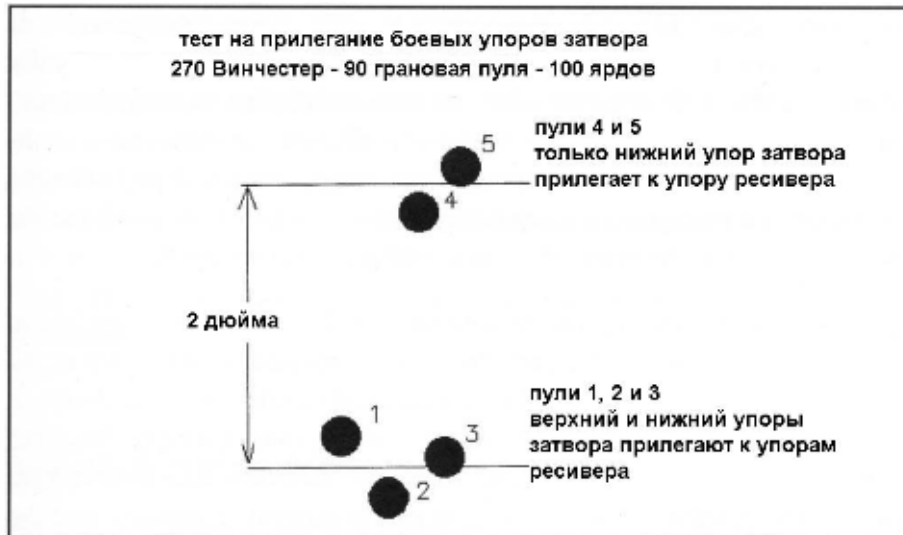


Рисунок 4-12 – Мишень на 100 ярдов, показывающая, как точки попадания пули смещаются вверх если спилить поверхность верхнего упора затвора, т.е. только нижний боевой упор затвора прилегает к упору ресивера.

Как видно из Рисунка 4-12 точка попадания пули при работе только нижнего упора сместилась вверх на 2 дюйма. Если бы удар затвора хорошо воспроизводился от выстрела к выстрелу, неравномерное прилегание упоров затвора не вызывало бы проблемы, хотя мы знаем из тензометрических измерений, что этого не происходит.

Ради интереса я измерил зазор между телом затвора и кольцами ресивера в старом Маузере '98 и в 70 Модели выпуска до 64 года и обнаружил, что в обоих зазор составляет около 8 мил. Также интересно заметить, что бенчрест стрелки постоянно вычищают свои системы изнутри, так что в них песок практически не может накопиться, и случайное притирание исключено. Другая вещь, характерная для бенчрест стрельбы, это вертикальное растягивание групп. Традиционным лекарством от этого является применение увеличенных зарядов (и давлений) до тех пор, пока это не прекратится, и иногда это работает. При этом получается, что гильзы растягиваются до тех пор, пока не войдут в плотный контакт с зеркалом затвора, что помогает сделать удар затвора более равномерным. Это опасный и не всегда удачный метод решения проблемы. Некоторые оружейники пытаются уменьшить зазор затвора путем оплетки (наращивания диаметра) затвора. Опять же вы не можете уменьшить его до нуля (что действительно устранил проблему), поэтому это решение не является хорошим. Намного проще и эффективней удалить слой металла с нижнего боевого упора до достижения равномерного прилегания упоров к ресиверу. Также необходимо отметить, что вертикальное растяжение в группах происходит еще и по причине высокочастотной вибрации ствола, описанной в конце этой главы. А сейчас вернемся к нашим изысканиям.

После того, как я не нашел проблемы в самом затворе, мне показалось, что я обнаружил правильное направление. Гильза, вставленная в патронник, лежит, в основном, на нижней части патронника и будет расширяться в радиальном направлении для заполнения патронника. В процессе радиального расширения донце гильзы стремится к центру патронника и посредством трения о зеркало затвора передает на патронник силу, направленную вниз. Это может вызвать нарастание отрицательного момента и тогда весь сценарий вы-

глядит логичным. Единственное, что можно было сделать, это изготовить затвор, в котором зеркало поддерживалось несколькими тонкими колоннами, которые могут изгибаться в поперечном направлении, но очень прочные в осевом направлении.

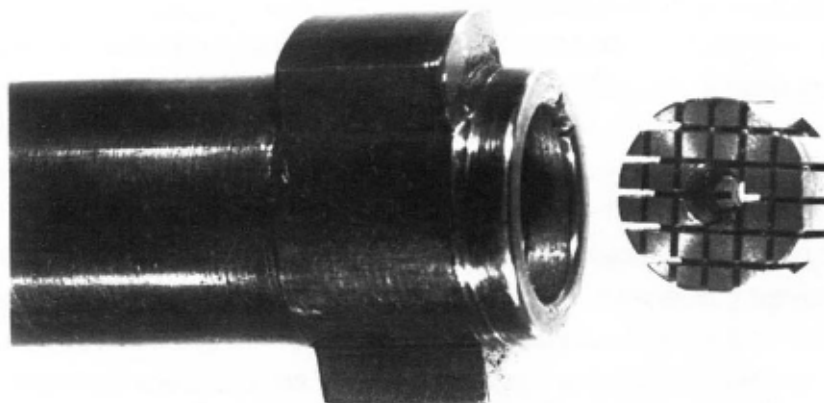


Рисунок 4-13 – Фотография вставки в головку затвора, обеспечивающей поперечную раздачу донца гильзы.

Я изготовил затвор, показанный на Рисунке 4-13, который имеет разрезную цилиндрическую вставку в головной части. Этот вкладыш работает подобно проволочной щетке – очень жесткой в осевом направлении параллельно щетине, но легко сгибаемой в поперечном направлении, что обеспечивает гильзе возможность занимать определенную позицию без создания серьезной поперечной силы. Статические тесты подтвердили, что устройство работает правильно, и я решил продолжить эксперимент со стрельбой. Действительно, момент исчез и я воодушевился. Однако вскоре стало подозрительным то, что я не мог достоверно повторить результаты тестов, и, в конце концов, я обнаружил, что два тензодатчика на нижней стороне ресивера отклеились из-за накопления масла. Это обычная проблема с тензодатчиками, и если вы используете подобные, вы должны постоянно проверять правильность их работы. К сожалению, данная конфигурация датчиков трудна для проверки, и как результат, я получил неверные данные. После того, как датчики были возвращены на место, отрицательный момент вернулся, и я отверг данную идею. Вся эта работа заняла около 2 лет и я стал сомневаться, что вообще когда-нибудь найду источник или источники возникающего момента. Затем я решил вернуться к рассмотрению асимметрии в затворной группе, как к возможной причине.

Асимметрия в затворной группе

Это было замечено мною ранее, но было отклонено, так как выглядело работающим в обратном направлении. Однако, оказалось, что асимметрия в затворной группе может вызывать как положительный, так и отрицательный момент в зависимости от динамики процессов, происходящих в гильзе патрона. Итак, что же происходит. На Рисунке 4-14 показан разрез ствола и ресивера в районе переднего кольца ресивера. Основной изгиб происходит в районе между задними поверхностями боевых упоров затвора и задним срезом ствола. Естественно, там располагаются тензодатчики.

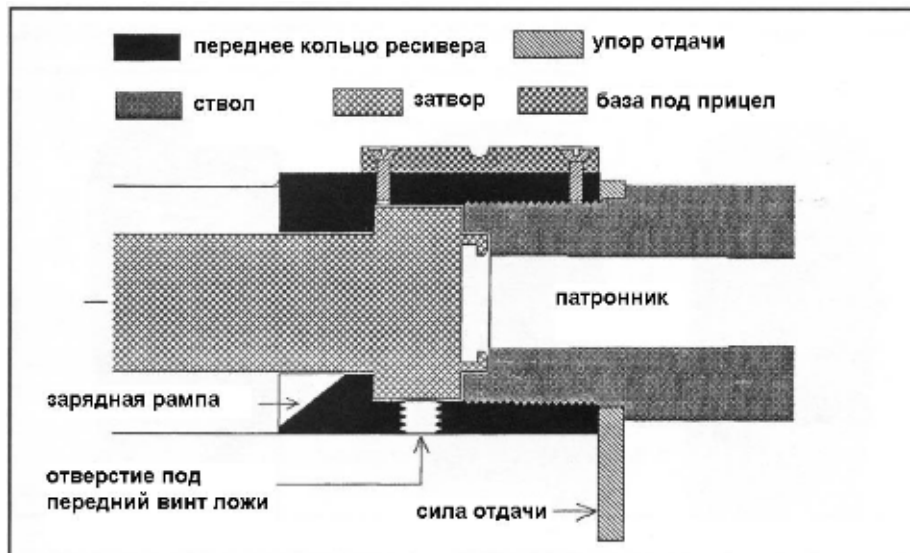


Рисунок 4-14 – Разрез переднего кольца ресивера и патронника ствола, демонстрирующий структурную асимметрию в вертикальной плоскости.

Теперь, заметьте, что кольцо ресивера несимметрично от верха к низу, а также, хотя это и не показано на рисунке, несимметрично от одной боковой поверхности к другой. Во-первых, это резьбовое отверстие в $\frac{1}{4}$ дюйма под передний ложевой винт в нижней части ресивера, а во-вторых, передняя установочная база для оптического прицела, привинченная к верхней части ресивера. Получается, что ресивер прочней сверху, чем снизу. Когда донце гильзы давит на заднюю часть зеркала затвора, кольцо ресивера растягивается больше в нижней части, чем в верхней, и это соответствует положительному (дульный срез вверх) моменту. Этот случай присутствует, когда гильза имеет увеличенную шейку, или когда она смазана какой-то смазкой, или когда зеркальный зазор очень маленький либо равен нулю. Если же гильза короткая, или имеется серьезный зеркальный зазор, или полностью отсутствует смазка, то тогда только капсюль контактирует с зеркалом затвора, и большой процент силы отдачи, генерируемой пулей, передается силой сжатия, действующей на кольцо ресивера. Это приводит к тому, что нижняя часть кольца ресивера сжимается больше, чем верхняя, в результате появляется отрицательный момент, показанный на Рисунке 4-9(В). тот факт, что короткая гильза (соответствующая большому зеркальному зазору) будет удерживаться стенками патронника, и только капсюль будет контактировать с зеркалом затвора подтверждается Рисунком 4-15. этот рисунок показывает донца трех гильз соответствующих зеркальным зазорам в 15, 8 и 0 миллидюймов, и вы можете видеть, что выступание капсюля пропорционально зеркальному зазору. Кроме того, при помощи тех же тензодатчиков, что использовались для измерения момента, но только соединенных в другой последовательности, была измерена сила удара затвора. Я сделал это, расположив два датчика на противоположных сторонах мостовой схемы. Рисунок 4-16 показывает случай максимального удара затвора, соответствующий нулевому зеркальному зазору.



Рисунок 4-15 – Фотография стреляных 270 Винчестер гильз, демонстрирующая выход капсюля в результате увеличенного зеркального зазора в 15, 8 и 0 миллидюймов слева направо. Эксперимент проведен на специальных усиленных и обезжиренных гильзах.



Рисунок 4-16 – Экспериментальные данные измеренного максимального удара затвора, получающегося в результате нулевого зеркального зазора или смазанной гильзы.

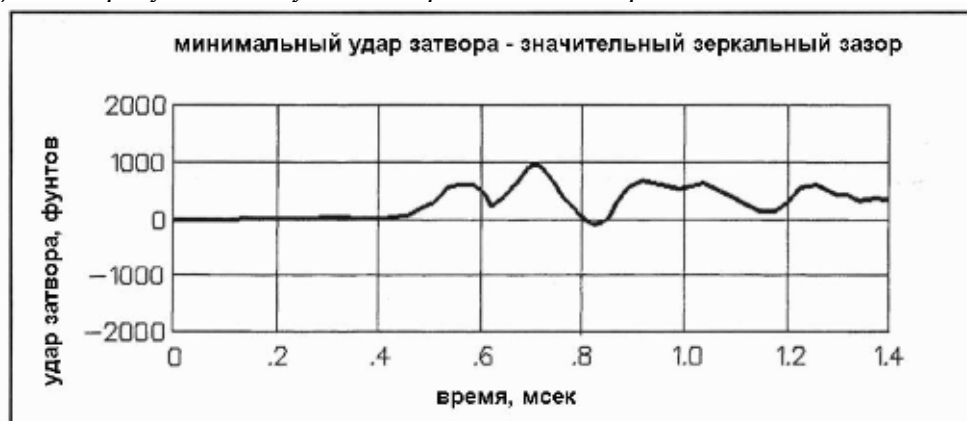


Рисунок 4-17 – Экспериментальные данные измеренного минимального удара затвора, получающегося в результате зеркального зазора, большего чем 5 мил и обезжиренной гильзы.

На Рисунке 4-17 показан случай минимального удара затвора, который образуется при большом зеркальном зазоре (т.е. 10 миллидюймов). Измерения показали максимальное значение силы удара затвора около 7500 фунтов, а минимальное около 800 фунтов. Расчетные значения, полученные умножением площади поперечного сечения внутренней части гильзы на пиковое давление в патроннике, оказались равными 7200 и 1200 фунтов

соответственно. Минимальное значение измеренного удара затвора (800 фунтов) оказалось меньше расчетного (1200 фунтов), так как в формуле не учитывается эффект трения, возникающего между стенками капсюля и капсюльного гнезда. При силе отдачи меньше 3000 фунтов переднее кольцо ресивера будет находиться в поджатом состоянии. Данные на Рисунке 4-17 получены при отстреле обезжиренных гильз, имеющих большой зеркальный зазор в 10 миллидюймов и прихваченных стенками патронника. На практике вы можете получить любую комбинацию между растяжением и сжатием, в зависимости от твердости, качества смазки и длины гильзы. Поэтому мы должны избавиться от асимметрии, в основном, путем производства некоторых простых модификаций.

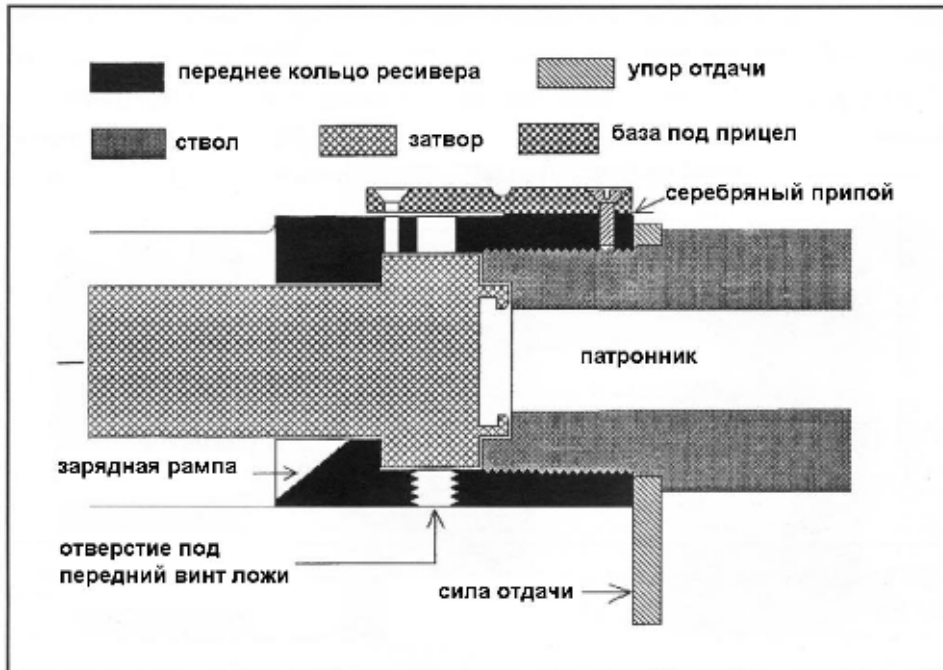


Рисунок 4-18 – Разрез кольца ресивера, модифицированного для устранения структурной асимметрии в вертикальной плоскости.

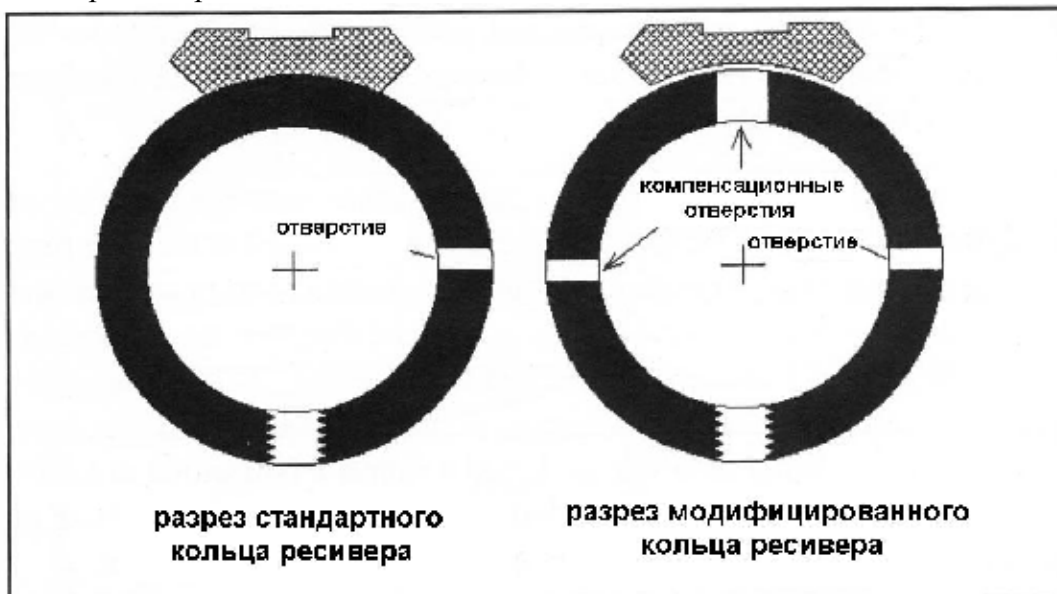


Рисунок 4-19 – Поперечное сечение кольца ресивера и установочной базы под прицел, демонстрирующий модификации для улучшения симметричности.

Модификации ресивера

Модифицированный ресивер показан на Рисунке 4-18. Вы можете видеть отверстие диаметром $\frac{1}{4}$ дюйма, просверленное в верхней части ресивера, чтобы соответствовать отверстию под винт крепления спусковой скобы, и отверстие диаметром в $\frac{1}{8}$ дюйма напротив такого же вентиляционного отверстия, сделанного в правой части ресивера. Также, передняя половина передней части базы под прицел припаяна к ресиверу серебрянным припоем, а ее задний крепежный винт исключен. Теперь скажу, что база под прицел сделана из стали, а не из алюминия. Это дало возможность использования низкотемпературного серебрянного припоя (температура плавления 430°F) для прочного присоединения прицельной базы. Этот припой близок по прочности к мягкой стали и является единственным способом удержать прицельную планку от горизонтального перемещения. Некоторые из новых винтовок используют непосредственное соединение базы к ресиверу, что, возможно, снимает эту проблему. Надо предостеречь читателя как от сверления неиспользуемых отверстий в ресивере, так и от припайки прицельной базы к ресиверу, как от потенциально опасных мероприятий, а также от использования модифицированной таким образом винтовки до проведения испытаний в безопасных условиях. При том, что анализ показывает, что обе эти модификации достаточно безопасны при правильном исполнении, единственным способом убедиться в их реальной безопасности является проведение теста на разрушение на нескольких модифицированных винтовках. Такие тесты не проводились. На Рисунке 4-19 показан поперечный разрез стандартного и модифицированного передних колец ресивера, и вы можете видеть, что не модифицированное кольцо несимметрично относительно горизонтальной оси, в то время как модифицированное симметрично.

Дальше в своих исследованиях я обнаружил, что оптический прицел производит натяжение верхней части ресивера, так как он прикреплен как к передней, так и к задней частям ресивера. Решением могло бы быть изготовление переднего кронштейна прицела, который бы позволял трубе прицела скользить в осевом направлении, что предотвращало бы появление момента в переднем кольце ресивера. Кронштейны прицелов целевых винтовок обеспечивают прицелу возможность скольжения в осевом направлении, но они слишком громоздки для спортеров. Я пытался модифицировать стандартный кронштейн Уивера, но работал не так хорошо, как хотелось, поэтому я оставил поиски решения этой проблемы на потом. Так как этот эффект невелик, мы позаботимся о его решении позже.

А теперь, должно быть, всем хотелось бы узнать, принесла ли вся эта работа желаемый эффект, т.е. уменьшился ли момент кольца ресивера? Как вы можете видеть на Рисунке 4-20(B), момент кольца ресивера существенно уменьшился по сравнению с не модифицированной стандартной винтовкой (Рисунок 4-20(A)). Средний показатель момента, действующий на модифицированной винтовке лежит в пределах от +10 до -18 дюйм-фунтов и не сильно отличается между двумя экстремальными значениями силы удара затвора. Если вы вспомните, что мы начинали с максимального момента в +450 дюйм-фунтов (Рисунки 4-3 и 4-20(A)), то налицо существенное преимущество. Короче говоря, вибрации ствола могут быть значительно уменьшены. Тем не менее, я не был полностью удовлетворен сделанной работой до тех пор, пока не измерил непосредственно вибрацию дульного среза ствола, и не удостоверился, что уменьшил ее. Я произвел эти измерения при помощи инструмента, называемого акселерометр.

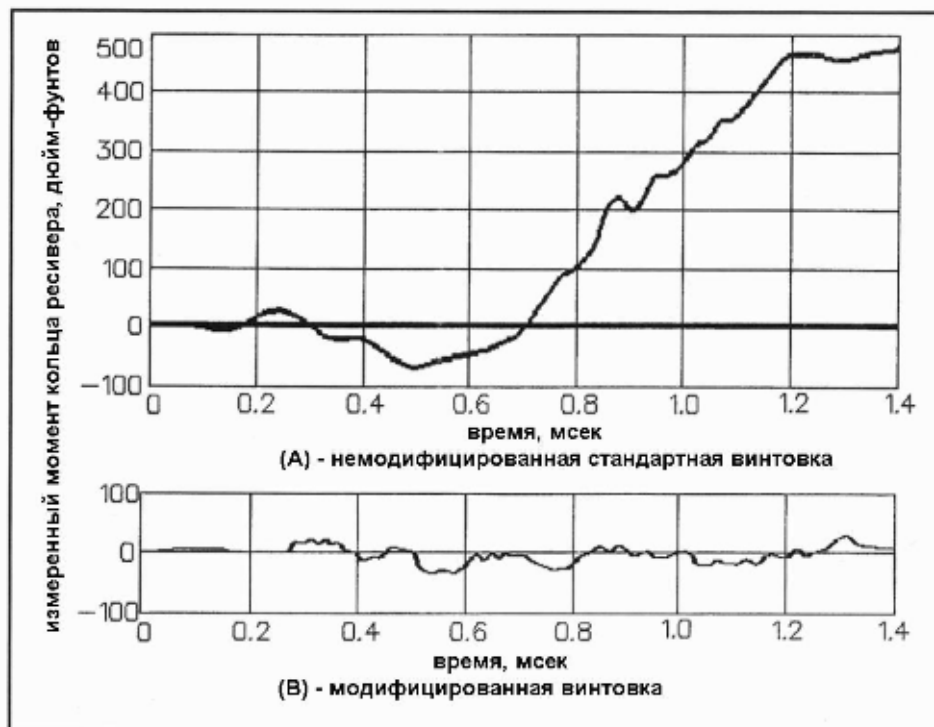


Рисунок 4-20 – Сравнение измеренного момента кольца ресивера на не модифицированной стандартной винтовке (А) и модифицированной винтовке (В) с Изолятором Отдачи и модифицированным для обеспечения симметрии ресивером.

Измерения ускорения

Измерение ускорения на дульном срезе винтовочного ствола оказалось очень трудной задачей и потребовало нескольких месяцев усилий до получения реального результата. Фактически было проделано столько работы, сколько я никогда ранее не проделывал, я решил включить технические детали в Приложение А. Будем надеяться, что если мы избежим изложения большинства технических деталей в этом месте книги, читатель будет иметь более четкое понятие о результатах. Тем не менее, мы обсудим инструментарий в некоторой степени, чтобы читатель имел полное понимание приведенных данных. Акселерометром называется прибор, который выдает электрическое напряжение, пропорциональное ускорению, воздействующему на него. Ускорение есть ни что иное, как степень измерения скорости. Когда вы разгоняете свою машину, вы чувствуете ускорение. Причиной, по которой мы хотим измерить ускорение, является то, что при умножении ускорения на время мы получаем скорость, а при умножении скорости на время получаем отклонение. Этот процесс, называемый интегрированием, легко осуществляется при помощи электрических схем. Скорость и отклонение – величины, необходимые нам для того, чтобы сказать как движется дульный срез ствола. Чувствительным элементом в этом акселерометре является тонкая пластина, закрепленная параллельно оси ствола, и имеющая габариты 0,4 дюйма в длину, 0,2 дюйма в ширину и 0,015 дюйма толщиной. На обе стороны этой пластинки наклеены тонкие пленки пьезоэлектрика, очень чувствительные к растяжению и сжатию, и вырабатывающие электрический сигнал, когда пластинка изгибается в результате воздействия ускорения. Напряжение усиливается операционным усилителем, интегрированным в микросхему. Напряжение с выхода акселерометра усиливается с коэффициентом 50 и подается на полосовой фильтр, который гасит сигнал на частотах выше и ниже 1,25кГц. Позже мы обнаружим, что частота колебаний в 1,25кГц соответствует третьей гармонике колебаний, и эта гармоника является доминирующей. Если вы вернетесь к изображающему измерение момента Рисунок 4-2, то увидите, что вибрация состоит из нескольких час-

тот, включающих третью гармонику, которая характеризует компонент с самой низкой частотой. Остальные компоненты колебания с более высокими частотами оказывают меньшее влияние на подвижность. Основная идея – избавиться от этих высокочастотных компонентов, потому что они не оказывают влияние на реальное движение, но затеняют данные, которые мы действительно хотим рассмотреть. Акселерометр специально разработан для подавления высоких частот, так как имеет собственную частоту колебаний 2кГц с сильным затуханием с коэффициентом затухания 0,5. сигналы с выхода полосового фильтра и интеграторов записываются осциллографом так же, как записывался момент в предыдущих опытах. Самой большой проблемой, возникающей при измерении ускорения, является так называемая межосевая чувствительность. Акселерометры никогда не делались достаточно качественно, и поэтому не только измеряли ускорение по заданной оси, но и показывали некоторое количество ускорения по оси, перпендикулярной к заданной. Это приводит к тому, что на акселерометр воздействует большое осевое ускорение от отдачи (500 g) и он показывает небольшой процент этого ускорения, направленного перпендикулярно к заданной оси. Отрицательной стороной данного эффекта является то, что вы не можете отличить межосевой эффект от вертикального ускорения дульного среза ствола, которое реально необходимо измерить. Лучший коммерческий акселерометр имеет межосевую чувствительность в 5%, а при реальных статических тестах он показал от 5% до 7%. Это означает, что если акселерометр жестко закрепить на дульном срезе, то мы получим ошибку от 25 до 35 g только от этого фактора. А ввиду того, что вертикальное ускорение на дульном срезе, которое необходимо измерить, составляет всего от 25 до 30 g, то мы получаем проблему, так как ошибка измерения сопоставима с измеряемой величиной. К счастью, 95% межосевого эффекта может быть погашено при обеспечении стволу возможности свободного отката при отдаче, при том, что акселерометр остается практически неподвижным, что дает нам ошибку порядка 1 или 2 g.

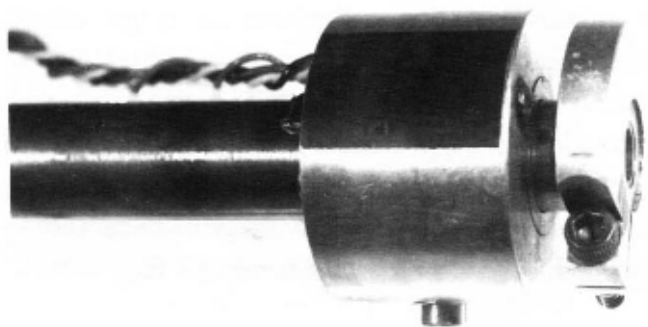


Рисунок 4-21 – Фотография акселерометра, установленного на стволе возле дульного среза.

На Рисунке 4-21 изображена фотография акселерометра, размещенного на стволе возле дульного среза. Он представляет собой цилиндр с отверстием в центре, который плотно посажен на цилиндр, выточенный на стволе на длину 1,5 дюйма. Два пружинных плунжера, расположенные под $\pm 45^\circ$ от низа цилиндра усиливают контакт металл-металлу. В общем, трение между стволом и цилиндром является единственной вещью, которая заставляет акселерометр ускоряться в осевом направлении. Давление пружин уменьшено до такой степени, чтобы удерживать акселерометр в плотном контакте со стволом при его вибрации с ускорением в 30 g в поперечном, т.е. перпендикулярном оси ствола, направлении. К счастью, ствол отодвигается от отдачи только на 0,1 дюйма назад до вылета пули из ствола. Ограничительный диск, закрепленный на самом краю дульной части ствола, служит для предотвращения соскальзывания акселерометра с конца ствола. Таким образом, мы смогли существенно уменьшить влияние межосевого эффекта. Напомним, что g - величина гравитационного ускорения – равна 32,16 фута/секунду². Итак, у нас появился акселерометр. Что же он нам показал?

На Рисунках 4-22, 4-23 и 4-24 показаны вертикальное ускорение, скорость и отклонение дульного среза ствола для не модифицированной стандартной винтовки в сравнении с мо-

дифицированной винтовкой, имеющей Изолятор Отдачи и модифицированное переднее кольцо ресивера.

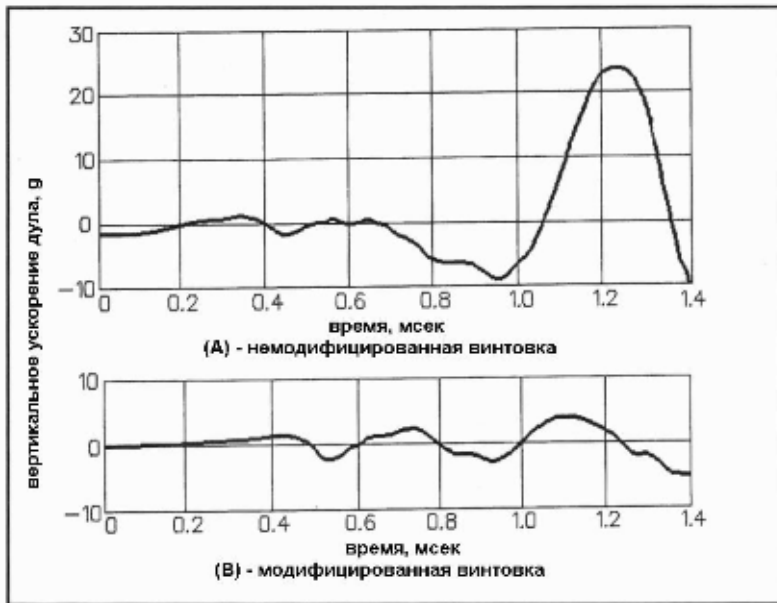


Рисунок 4-22 – Экспериментальные измерения вертикального ускорения дула на стандартной (А) и модифицированной симметричной винтовке с Изолятором Отдачи (В).

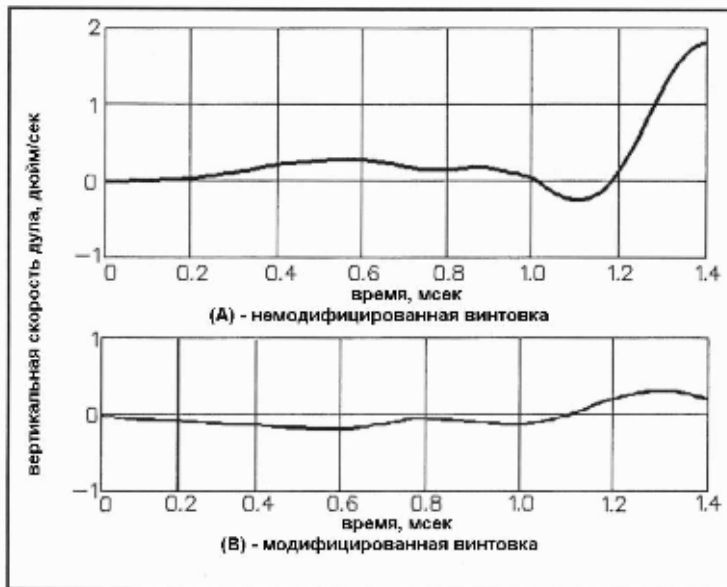


Рисунок 4-23 – Экспериментально измеренная вертикальная скорость дула на немодифицированной (А) и модифицированной (В) винтовках.

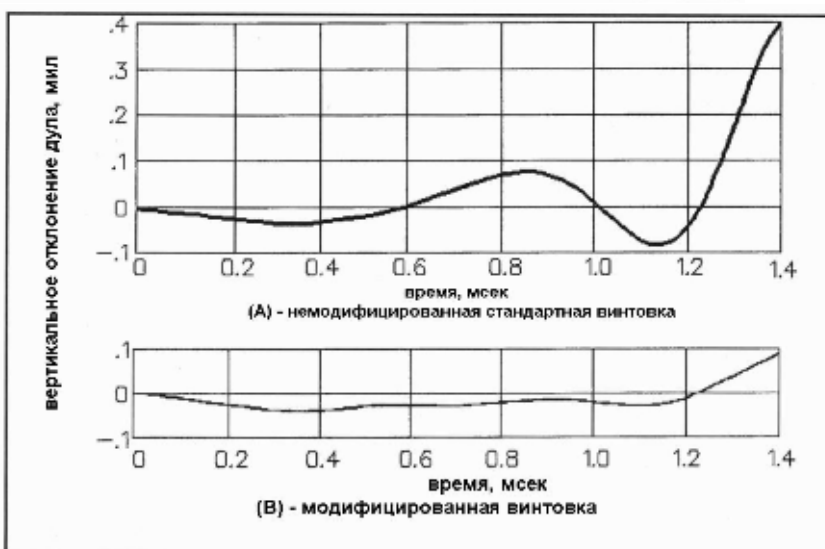


Рисунок 4-24 – Экспериментально измеренное смещение дульного среза по вертикали для стандартной винтовки без модификаций (А) и винтовки с Изолятором Отдачи и симметричным передним кольцом ресивера (В).

Вы можете видеть, что пиковое ускорение на Рисунке 4-22(А) не модифицированной винтовки в 24 g уменьшилось до 4 g на модифицированной винтовке на Рисунке 4-22(В). Подобным образом из Рисунка 4-23 видно, что вертикальная скорость дульного среза ствола уменьшилась с 1,9 дюйм/сек до 0,3 дюйм/сек. Вертикальная скорость дульного среза ствола в 1,9 дюйм/сек вроде бы на способна вызвать большое движение, но мы увидим позже, что этого достаточно, чтобы отклонить пулю на 1,4дюйма на 100 ярдов по сравнению со случаем отсутствия возмущения. На Рисунке 4-24 (А) и (В) величина отклонения дульного среза ствола не модифицированной винтовки сравнивается со случаем модифицированной, и можно заметить, что эта величина уменьшилась почти в шесть раз. В то время, как мы получили коэффициент 6, характеризующий серьезное уменьшение вибрации ствола, он все же намного меньше коэффициента уменьшения 20, полученного при рассмотрении данных по моменту. Итак, если вы рассмотрите данные по ускорению (Рисунок 4-22(В)), то первое, что бросается в глаза, это высокочастотный пик (2,4кГц) с амплитудой около 4g, а доминирующей гармоникой с частотой 1,25кГц не наблюдается вообще. То есть, доминирующая гармоника колебаний, которая нас интересовала больше всего, была подавлена с коэффициентом намного больше шести, что и показали данные по моменту. Чтобы вам было проще рассмотреть это на рисунках, напомним, что период (то есть время между пиками) для частоты 1,25кГц составляет 0,8мсеки для 2,4кГц – 0,42 мсек. Таким образом, показания акселерометра не врут, и все, что мы видим, это высокочастотные гармоники, которые не были отфильтрованы полностью. Возможно, читатель окажется озадаченным рассуждениями о гармониках колебаний, поэтому я подготовил рисунок (Рисунок 4-25), который показывает физически, как колеблется стержень с защемленным концом на первых пяти гармониках.

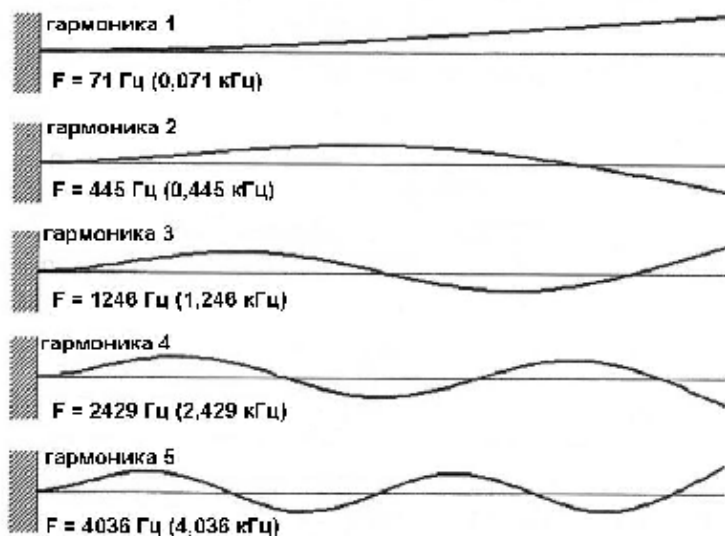


Рисунок 4-25 – Диаграмма, демонстрирующая вибрацию ствола на различных гармониках.

Также, читатель может задаться вопросом, а зачем вообще нужны все эти разговоры о гармониках колебаний и имеют ли они какое-либо практическое отношение к проблеме. Можете мне поверить, они важны, а не несут только академического интереса. Как видно на акселерометрических данных для не модифицированной винтовки (Рисунок 4-22(А)), доминирует третья гармоника со следами четвертой и пятой. На данных по ускорению модифицированной винтовки (Рисунок 4-22(В)) основная гармоника четвертая со следами пятой, а третья эффективно подавлена, что и являлось нашей задачей. Причиной этому послужило то, что мы убрали влияние сил и моментов, отвечающих за возникновение первых трех гармоник, которые являются относительно медленно изменяющимися силами, но не подавили силы, отвечающие за более высокие гармоники. Вы видите, что мы не можем заставить стержень колебаться с частотами, существенно более высокими, чем частота изменения движущей силы. Так как возбуждающим моментом является момент, напрямую зависящий от давления в стволе, которое имеет собственную частоту, близкую

к третьей гармонике, то мы должны рассчитывать на то, что возбуждаемые этим моментом гармоники будут первые три, но не более высокие гармоники. Это означает, что что-то другое приводит к возникновению высших гармоник. Чтобы найти эти другие причины, единственным разумным вариантом является проведение обычных манипуляций с винтовкой, закрепленной на скамье, без выстрела реального патрона, со снятием при этом тех же измерений. Рисунок 4-26(В) показывает график ускорения, полученный при обычном нажатии на спуск винтовки со вставленной в патронник стрелянной гильзой на модифицированной винтовке. Он выглядит похожим на график ускорения модифицированной винтовки при выстреле заряженного патрона, приведенный на Рисунке 4-26(А). Это говорит о том, что движущей силой высших гармоник является удар ударника по капсюлю. Сила удара имеет очень высокую частоту и способна вызвать колебания на высоких частотах. Итак, как мы будем решать проблему удара ударника?

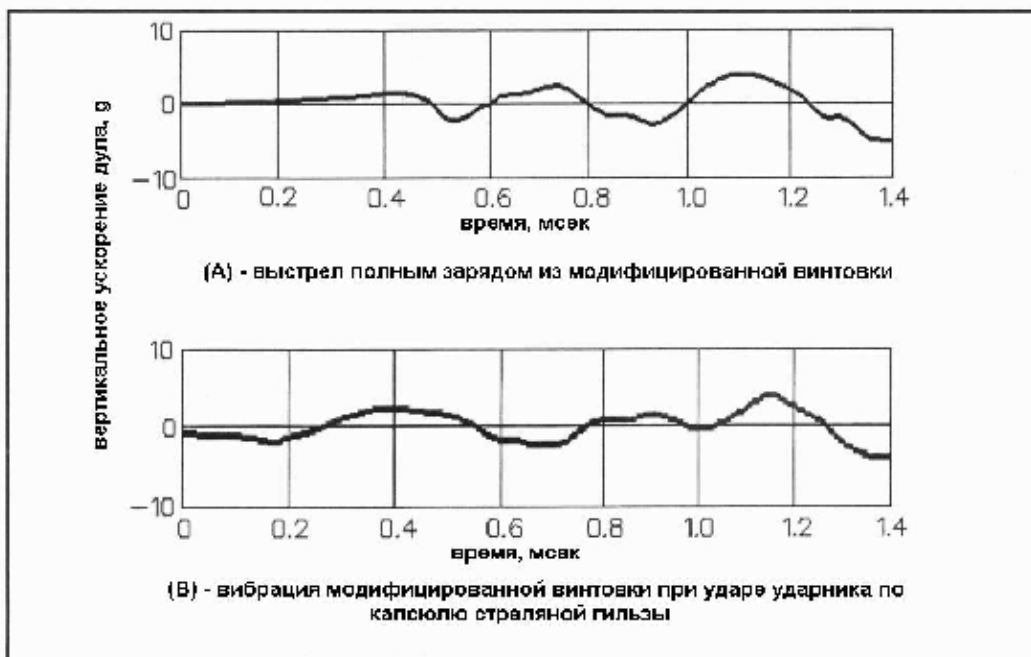


Рисунок 4-26 – Сравнение экспериментально измеренных ускорения дула модифицированной винтовки при отстреле боевого патрона (А) и дульного ускорения в случае удара ударника по капсюлю пустой патронной гильзы.

Удар ударника

Единственными известными мне эффективными методами избежания удара ударника по капсюлю являются либо повесить вашу винтовку на стенку и больше из нее никогда не стрелять, либо использовать воспламенение электрическим путем. Когда я проводил эксперименты по воспламенению капсюлей электричеством, я не представлял себе никакого реального метода использования этого на полевой винтовке. Тем не менее, не берите в голову, потому что вы можете убедиться, что удар ударника не оказывает заметного влияния на рассеивание. Максимальная вертикальная скорость, возникающая в результате ускорения в 4 g на частоте 4,2кГц, действующего в течении половины цикла (время=1/4200=0,00024 сек) составит

Вертикальная скорость дульной части ствола= $4 \times 32 \times 12 \times 0.00024 = 0,37$ дюйм/сек.

Где вертикальная скорость дульной части получается умножением ускорения в дюйм/сек на время половины цикла. Заметьте, что на Рисунке 4-23(В) максимально возможная вертикальная скорость составляет около 0,3 дюйм/сек на модифицированной винтовке, что подтверждает наши расчеты. Максимальное отклонение пули на дистанции 100 ярдов в

результате действия вертикальной скорости ствола в 0,37 дюйм/сек при средней скорости пули 3000 фт/сек (полетное время=0,1 сек) составит

Отклонение пули=0,37x0,1=0,037 дюйма.

Разброс зависит от разницы в силе удара ударника от выстрела к выстрелу и в соответствии с моими измерениями на скамье составляет величину порядка 20%-30%. Т.е. отклонение, получающееся в результате силы удара ударника возможно составит не более чем от 0,007 до 0,01 дюйма (от 7 до 10 миллидюймов) на 100 ярдов. Как инженер скажу, «меньше не бывает», то есть беспокоиться абсолютно не о чем. Некоторые стрелки уменьшают длину боевой пружины, чтобы уменьшить силу удара ударника. К сожалению, уменьшение жесткости боевой пружины также уменьшает и надежность и увеличивает время удара (время срабатывания), которое уже 2,4 мсек на данной винтовке. Увеличение времени на срабатывание ударника обеспечивает винтовке возможность большего движения за время от момента срыва курка с шептала до вылет пули из ствола, что, наоборот, ухудшает точность. Другие стрелки стараются уменьшить время срабатывания увеличивая жесткость боевой пружины, но это увеличивает вибрации ствола и может затруднять работу затвора. Браунеллз продает титановый ударник Табба, в половину более легкий, чем стандартный, и пружину на 16% более жесткую, чем стандартная. Эта комбинация уменьшает время срабатывания на 35% при сохранении энергии удара приблизительно на уровне обеспечиваемой стандартной комбинацией сборки ударника. То есть с такой комбинацией возмущение от удара ударника сохраняется тем же, но время срабатывания уменьшается. Такая модификация может частично увеличить точность при стрельбе стоя или сидя, и может быть успешным на целевых винтовках. Так как я не знаю приемлемого способа измерения влияния времени срабатывания на точность, я решил оставить конструкцию ударника без изменения, так как не имею четкого понятия, как это изменение скажется на рассеивании.

Асимметрия толщины стенок гильзы

Если толщина стенок гильзы отличается по окружности гильзы, то должна быть толстая сторона и тонкая. Если гильза находится под давлением, то тонкая сторона будет растягиваться больше, чем толстая, в осевом направлении. Это должно приводить к небольшому смещению направления силы удара затвора от осевой линии, и, тем самым, создавать момент. Момент, естественно, будет приводить к движению ствола и создавать рассеивание. Эта проблема немного обсуждалась в специальных изданиях бенчрест стрелков (т.е. «Precision Shooting»). Я модифицировал соосный калибр Форстер, как советует Олсен в Мартовском 1993 года издании «Precision Shooting» для измерения толщины стенок гильзы. После проведения промеров партии гильз Ремингтон при помощи этого приспособления я получил следующий результат:

Процент гильз	Разница в толщине стенок
35	<0,001
15	От 0,001 до 0,0015
30	От 0,0015 до 0,0025
20	От 0,0025 до 0,004

Результаты показывают, что около половины гильз достаточно хороши, но около половины имеют разницу в толщине стенок в 2-4 миллидюйма. Итак, 4 миллидюйма это около 16% от толщины стенки, и это может приводить к существенному разбросу точек попадания пули. Я провел приблизительные теоретические расчеты, которые показали, что по

этой причине мы можем ожидать рассеивания порядка 0,25 дюйма. Единственный способом проверить этот эффект – это взять несколько худших гильз и отстрелять серию из пяти патронов, располагая их тонкой стороной гильзы кверху патронника, и пять патронов, располагая тонкой стенкой к низу. Если данный эффект существует, то должны получиться две группы, расположенные по вертикали. Я попробовал это и результат оказался неубедительным. Возвращаясь назад, скажу, что возможной причиной того, что эффект не был замечен, был нормальный зеркальный зазор в 0,002 дюйма, совмещенный с довольно грубой отделкой стенок патронника и наличием подпружиненного эжектора, постоянно подталкивающего гильзу вперед. Возможно, что эффект замечен на бенчрест винтовках потому, что они имеют хорошо отполированные патронники, подпружиненные эжекторы обычно отсутствуют, а зеркальный зазор у них минимален. В моих экспериментах, возможно, гильза придерживалась стенками патронника и эффекта не наблюдалось.

А теперь обратимся к компьютеру, чтобы определить, какое рассеивание может давать вибрация ствола.

Компьютерное моделирование вибрации ствола

Была написана программа для точного прогнозирования вибрационного движения винтовочного ствола. Так как среднего читателя не интересует большое количество подробностей этой компьютерной программы, я дам только ее общее описание. В случае необходимости можно обратиться к Приложению В, где приведены некоторые детали. Сама программа не приводится, потому как она имеет крайне не дружелюбный интерфейс. Ствол разбивается на 24 элемента, движение каждого из которых описывается формулой. Формулы содержат коэффициенты влияния, с помощью которых рассчитывается влияние всех остальных элементов на каждый отдельный. Таким образом, можно рассчитать силы и ускорения, действующие на отдельные элементы, а значит можно рассчитать и движение отдельных компонентов. Для калибровки программы были введены данные о вибрирующем цилиндрическом стержне.

Рисунок 4-27 изображает эскиз ствола, разбитого на индивидуальные элементы, и символы в виде кружочков, показывающие как ствол отклоняется вниз в результате действия силы тяжести. Может для вас будет открытием, что в результате действия силы тяжести ствол отклоняется вниз на 5,3 миллидюйма. На Рисунке 4-28 показано отклонение ствола по времени без учета силы тяжести, убранный для упрощения, и вы можете видеть, как волна распространяется в сторону дульного среза ствола.

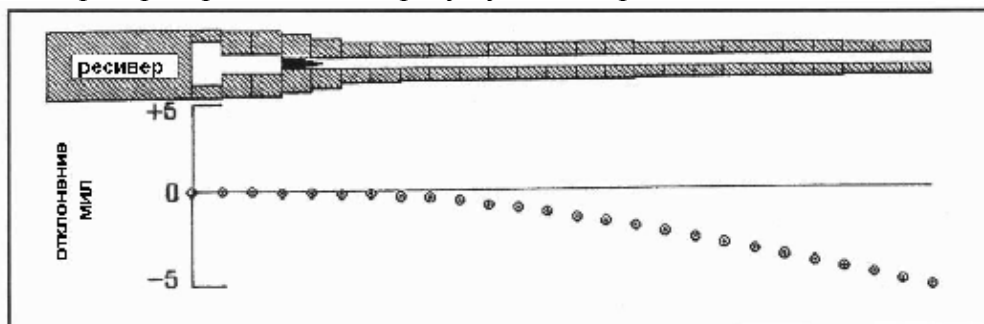


Рисунок 4-27 – Компьютерный рисунок, показывающий как ствол разбивается на элементы для расчета вибрации при помощи компьютерной программы. Также показано, как ствол изгибается в результате действия силы тяжести.

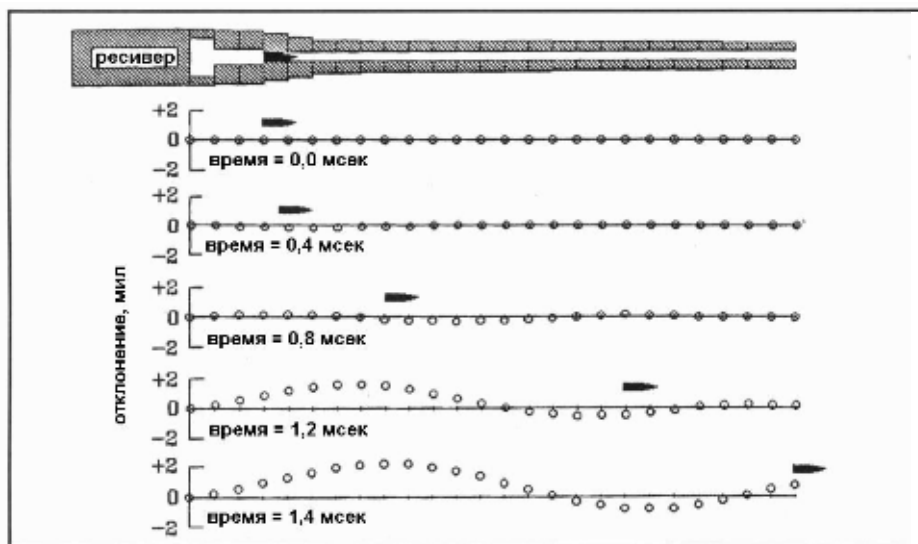


Рисунок 4-28 – Компьютерный рисунок, показывающий как ствол вибрирует в соответствии с расчетом на компьютерной программе для некоторый отрезков времени. гравитационный изгиб убран для упрощения. Символ пули показывает положение пули в стволе.

Шкала, сильно преувеличенная для простоты, показывает максимальное отклонение в 2,5 миллидюйма, и вы можете видеть, что ствол не движется очень сильно. Тем не менее, этого достаточно, чтобы вызвать заметное рассеивание. Заметьте, что если рассматривать форму волны в возмущенном стволе, то она очень напоминает третью гармонику колебаний, показанную на Рисунке 4-25. Разница между точками попадания пули, вылетевших из невозмущенного и вибрирующего стволов, составит 1,406 дюйма. Компьютерное моделирование вибрации ствола говорит нам, что в момент вылета пули ствол направлен вверх под углом 0,0175 градуса и дульный срез движется вверх со скоростью 3,08 дюйм/сек. Вертикальная скорость соответствует отклонению около 0,3 дюйма и угол соответствует отклонению около 1,1 дюйма. Если момент и соответствующее движение дульного среза воспроизводятся от выстрела к выстрелу, то изменение в точке попадания не несет никакого рассеивания. Но момент может изменяться в пределах $\pm 30\%$ от выстрела к выстрелу, что приводит к рассеиванию в 60% от отклонения точки попадания пули, т.е. рассеиванию в 0,8 дюйма. Различия в моменте обусловлены различиями в силе удара затвора и другими факторами, обсужденными ранее. Эта оценка вариации моментов, приводящих к вибрации ствола, основывается на анализе около 800 осциллограмм, полученных при исследовании не модифицированной стандартной винтовки. В общем, это довольно большой объем данных, поэтому эта оценка носит довольно точный характер. Но насколько точным является компьютерное моделирование вибрации ствола? На самом деле, оно довольно точно, что заметно из анализа Рисунков 4-29, 4-30, 4-31 и 4-32, на которых сравниваются экспериментальные и практические данные для момента ресивера, дульного ускорения, дульной скорости и дульного отклонения в вертикальной плоскости.

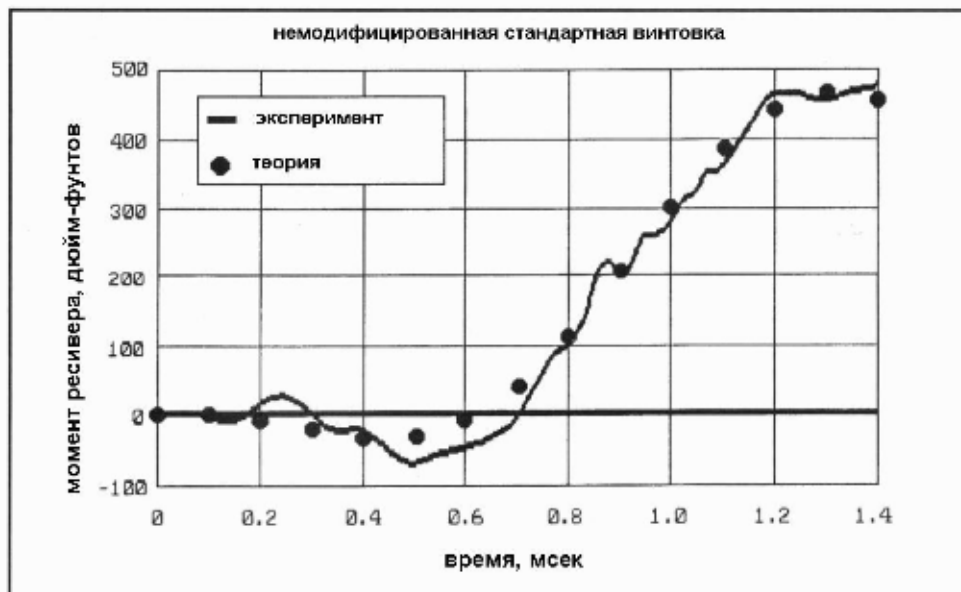


Рисунок 4-29 – Сравнение измеренного экспериментального момента кольца рессивера для немодифицированной стандартной винтовки в вертикальной плоскости с моментом, рассчитанным при помощи программы вибрации ствола.



Рисунок 4-30 - Сравнение измеренного экспериментального вертикального дульного ускорения для немодифицированной стандартной винтовки в вертикальной плоскости с ускорением, рассчитанным при помощи программы вибрации ствола.

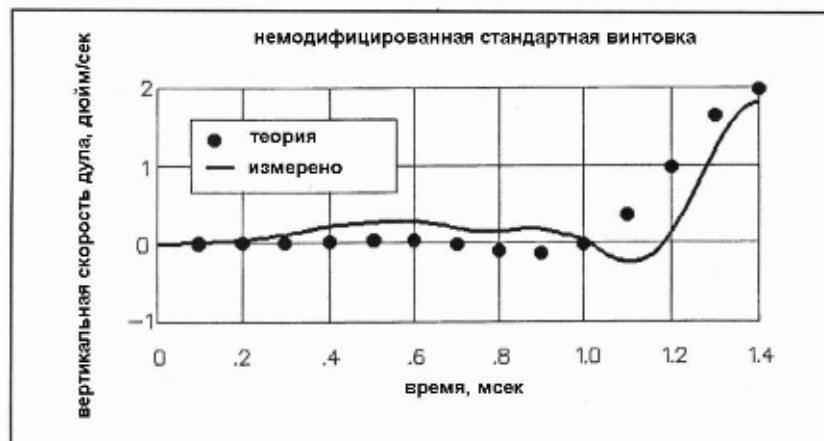


Рисунок 4-31 - Сравнение измеренной экспериментальной вертикальной дульной скорости для немодифицированной стандартной винтовки в вертикальной плоскости со скоростью, рассчитанной при помощи программы вибрации ствола.

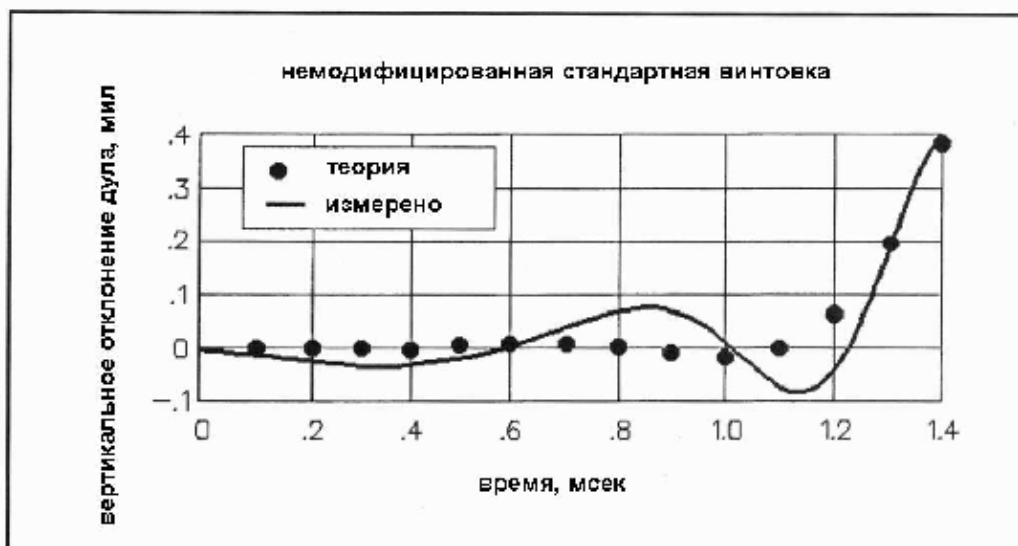


Рисунок 4-32 - Сравнение измеренного экспериментального вертикального дульного смещения для не модифицированной стандартной винтовки в вертикальной плоскости со смещением, рассчитанным при помощи программы вибрации ствола.

Прежде, чем оставить теоретические изыскания, отметим, что тензодатчики измеряли так называемый ответный момент, который получался в результате приложения реального момента. Заметьте, что измеренный нами момент получался несколько меньшим, чем реальный момент, возникающий от упора отдачи и асимметричного ресивера. Причиной этому служит то, что ствол не в состоянии откликаться на приложенный момент настолько быстро, чтобы ответный момент оказался равным приложенному. На Рисунке 4-33 показаны в сравнении приложенный момент с максимумом 1500 дюйм-фунтов и ответный или измеренный момент с максимумом 450 дюйм-фунтов. Предметом обсуждения может являться тот факт, что реальный (приложенный) момент, который действительно заставляет ствол двигаться, почти в три раза больше измеренного или ответного момента. Также я хочу заметить, что эффект придания жесткости внутренним давлением оказывается незначительным. По сравнению с пожарным шлангом, ствол является очень толстостенным цилиндром и этот эффект невелик (Ссылка 17). И кроме того, тот факт, что при движении пули по стволу, испытывающему воздействие силы тяжести, пуля должна двигаться по искривленной траектории, и при этом испытывать направленную вверх центробежную силу, был проверен и оказался незначительным.

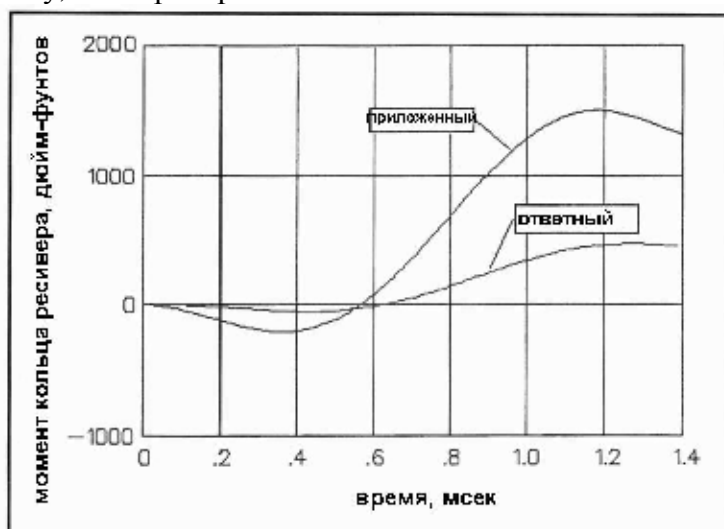


Рисунок 4-33 – Расчетные приложенный и ответный моменты переднего кольца ресивера для не модифицированной стандартной винтовки. Видно на сколько реальный приложенный момент превосходит ответный момент. Ответный момент – средний момент, измеряемый тензодатчиками.

Горизонтальное рассеивание

Теперь необходимо обсудить эффекты движения ствола в горизонтальной плоскости. Хотя я и не проводил такого количества измерений в горизонтальной плоскости, как в вертикальной, я провел их достаточно, чтобы сказать, что горизонтальное движение ствола составляет порядка 1/3 от движения в вертикальной плоскости (0,8 дюйма). То есть, рассеивание не модифицированной стандартной винтовки в горизонтальной плоскости должно составить около 0,27 дюйма. Это действительно имеет смысл, потому что единственной причиной такого разброса является асимметрия в горизонтальной плоскости в виде вентиляционного отверстия (1/8 дюйма диаметром), просверленное в правой части переднего кольца ресивера. Это отверстие предназначено для сброса газов, прорывающихся через отверстие в передней части затвора. Но я сомневаюсь, что оно действительно работает, потому что отверстие в головной части затвора открывается в направляющую для боевого упора затвора, и большинство вырывающихся газов будут проходить через направляющую боевого упора до выхода через окно для выброса стреляных гильз. В новой конструкции затворной группы я упразднил это отверстие. В любом случае, такая асимметрия может быть убрана сверлением соответствующего отверстия на противоположной стороне кольца ресивера.

Надо еще раз предупредить читателя о том, что сверление отверстий в переднем кольце ресивера является потенциально опасным. Даже если анализ напряжений покажет, что имеется большой запас прочности в ресивере с двумя дополнительными просверленными отверстиями, вы все равно не можете быть уверенными в надежности без проведения тестов на разрушение. Такие тесты не проводились.

Я думаю, что мы с достаточной степенью достоверности изучили проблему вибрации ствола и также надеюсь, что мы устранили достаточную долю причин этой вибрации. Следующим шагом будет отстрел модифицированной винтовки на размер групп для нахождения каких-либо улучшений.

Тест на точность

Результаты тестов на точность модифицированной винтовки приведены в Таблице 4. Тесты производились с использованием стандартной бенчрест изготковки, а представленные результаты соответствуют отстрелу двадцати групп по 5 патронов. Размеры групп измерялись микрометром с круговой шкалой, и представляют собой максимальное расстояние между центрами отверстий от пуль.

Таблица 4. Тест на точность (группы по 5 патронов на 100 ярдов)

Средняя	Максимальная	Минимальная
0,884	1,223	0,408

Конечно, вы могли ожидать лучшие результаты, но вспомните, что эта винтовка до модернизации стреляла группы в среднем по 1,5 дюйма. В общем, мы увеличили точность в среднем в два раза, а это действительно прогресс. Вот еще несколько известных ошибок в винтовке, которые могут влиять определенным образом на рассеивание.

Тестирование точности

Необходимо сказать о статистике, связанной с тестированием. Большинство людей считают, что если у вас есть баллистическая система (т.е. винтовка), в которой имеется два источника ошибки, и вы убираете один из них, то в результате рассеивание уменьшится на столько, сколько давала убранный ошибка. К сожалению, это не работает, и в зависимости от количества источников ошибки в системе, результирующее рассеивание обычно будет уменьшаться на намного меньшую величину. Причиной этому является то, что общее рассеивание системы равно корню квадратному из суммы квадратов ошибок от отдельных источников ошибки.

$$\text{Полная Ошибка} = \sqrt{A^2 + B^2 + C^2 + D^2 + \dots}$$

где А,В,С,Д – ошибки от отдельных источников.

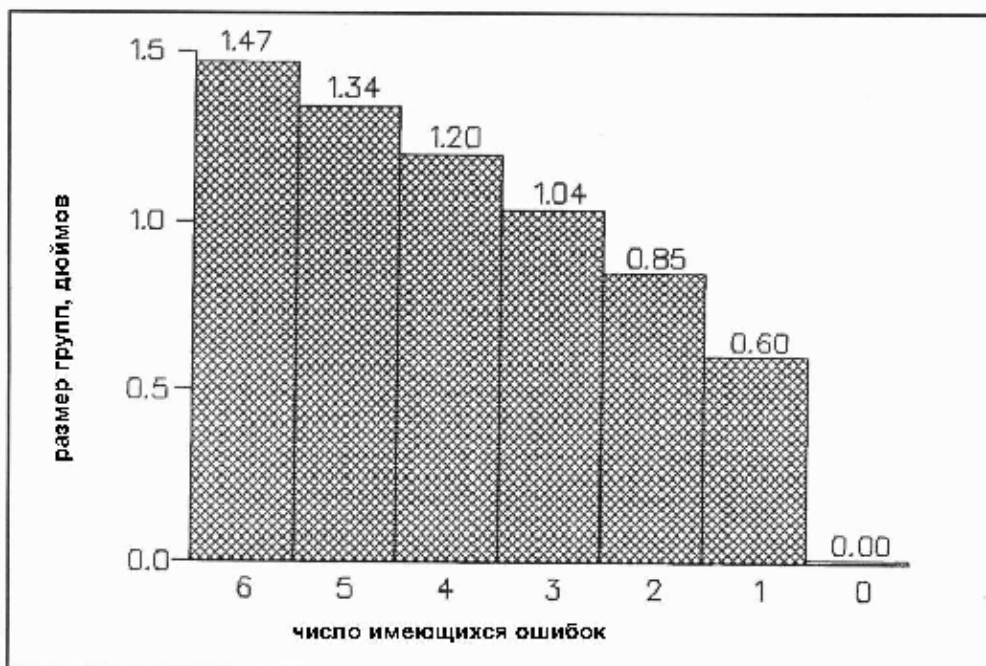


Рисунок 4-34 – График рассеивания как функция от числа источников ошибки, имеющих в винтовке при шести ошибках равной величины по 0,6 дюйма. Здесь демонстрируется сложность в определении того, была ли откорректирована ошибка, проведением тестовых стрельб.

Рисунок 4-34 показывает, как изменяется расчетное значение рассеивания винтовки, в которой действуют шесть равных (по 0,6 дюйма) источника ошибки, при постепенном удалении влияния каждого источника. Заметьте, что при удалении первой 0,6 дюймовой ошибки, рассеивание улучшается с 1,47 до 1,34 дюйма, а не от 1,47 до 0,87 дюйма, как полагают многие люди. Другими словами, вы не можете наблюдать полного эффекта от удаления одиночной ошибки, пока в вашей винтовке остаются другие значительные источники ошибок. Один из лучших примеров этого эффекта я наблюдал около двадцати лет назад. Одна очень серьезная баллистическая лаборатория получила контракт на определение влияния искажения носика пули на размер групп. Стрелковые тесты проводились с использованием толстого (около 3 дюймов диаметром) ствола Манна, закрепленного на бетонной стойке. Такая конфигурация должна была убрать влияние ошибок прицеливания и вибрации ствола, при этом, как мы выясним в последующих главах, как минимум две серьезные ошибки остались. Было выяснено, что средняя группа составляет 0,6 дюйма, и никакого эффекта выявлено не было. Был сделан вывод, что искажение носика пули несет

настолько малый эффект, что он может быть получен только расчетным путем (Глава 10), хотя на самом деле этот эффект был затенен влиянием других серьезных источников ошибки. Все что было выяснено в результате этих тестов, это то, что размер ошибки существенно меньше размера групп, что, впрочем, уже и так знали профессиональные баллистики. То есть суть этого в том, что не стоит ожидать улучшения размера групп на полную величину убранной ошибки от вибрации ствола (0,84 дюйма), так как в системе присутствуют другие значительные ошибки. Другим выводом может быть то, что вы не можете уверенно сказать, устранили ли вы определенный источник не точности только по результатам проведенных испытаний стрельбой.

Когда я начал испытывать эту винтовку, я рассчитывал получить средний размер групп в 0,65 дюйма. Когда размер групп стал получаться значительно большим (0,94 дюйма), я решил проверить пульный вход, сделав серную отливку пульного входа. Из этого ствола было сделано между 2 и 3 тысячами выстрелов, и он вызывал у меня подозрение. В итоге отливка показала, что нарезы в пульном входе разгорелись почти на 0,43 дюйма вперед. Это было больше, чем я ожидал, и значительно больше, чем можно было исправить, установив ствол обратно. В общем, единственным решением было продолжать эксперименты с новым стволом. Новый ствол был изготовлен из заготовки Дугласа, а патронник в нем был обработан с помощью того же инструмента, что и в оригинальном стволе, поэтому он должен быть похожим на оригинал, как только два ствола могут быть похожи. Этот ствол был использован для получения результатов, приведенных в Таблице 4.

Беддинг затворной группы

Много всего написано про беддинг на эпоксидную смолу, и в большинстве таких публикаций сделаны безосновательные утверждения. Вопреки всем грандиозным утверждениям, я не вижу большой разницы между хорошей работой по врезке ресивера в ложу и беддингом на эпоксидную смолу. Тем не менее, небольшое различие может быть по причине неряшливости при фабричном выполнении работ по укладке. Впрочем, ничего плохого не произойдет, а может быть, бой даже улучшится, если вы клеите ресивер на эпоксидную смолу. Я выяснил, что тонкий слой чистой старой эпоксидной смолы Элмера работает так хорошо, как ничто другое. Мне не нравятся стеклонаполненные эпоксидные композиции, потому что они затупляют острые стамески и не обеспечивают ощутимых преимуществ. Сильнейшей эпоксидной композицией для беддинга является наполненная алюминием смола Devcon F, которая имеет консистенцию оконной замазки и проще в отношении стамесок. Тем не менее, она может быть заметна как яркая линия вдоль врезных частей. Эта композиция намного сильнее, чем обычная эпоксидная смола, если это является важным. Беддинг на эпоксидную композицию предохраняет дерево от ухудшения, вызываемого пропитыванием маслом, а также обеспечивает более плотную укладку механизма, что сохраняет его первоначальное положение в ложе от выстрела к выстрелу. Но как я сказал, я не смог установить какое-то различие.

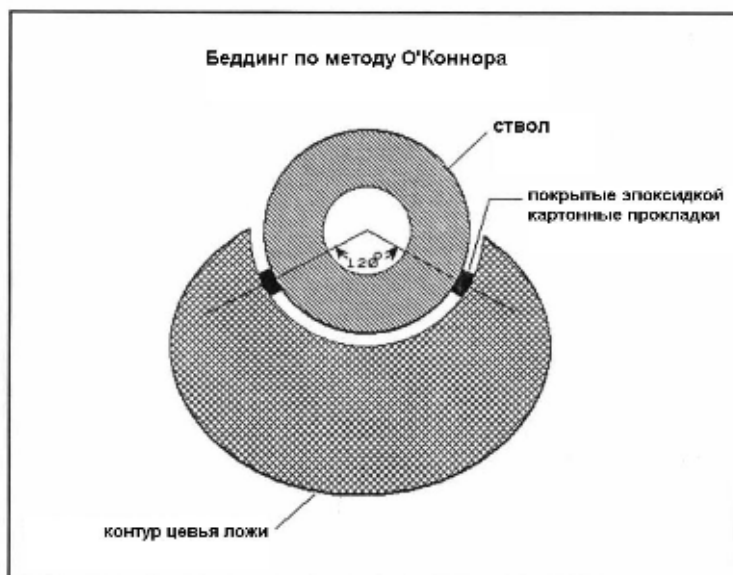


Рисунок 4-35 – Разрез наконечника цевья показывающий места расположения тонких картонных пластинок, пропитанных эпоксидной смолой, в беддинге по методу О'Коннора. Необходимая прижимная сила 10-20 фунтов. Вибрация ствола уменьшается в два раза по сравнению со свободным стволом.



Рисунок 4-36 – Измеренный момент переднего кольца ресивера с произведенным беддингом О'Коннора, где показано уменьшение момента на 50% по сравнению со стандартной винтовкой. Смотри Рисунок 4-3 для сравнения.

Единственным обычным способом беддинга, который, как я выяснил, действительно повышает кучность, является метод, который я называю беддинг О'Коннора. Я называю его так, потому что впервые прочел об этом методе в колонке О'Коннора около 50 лет назад. Была ли это его идея, либо идея его знакомого оружейника, я сказать не могу. Но это работает очень хорошо и способно улучшить кучность большинства коммерческих винтовок на 20-30%. Идея метода – уложить механизм винтовки так, чтобы наконечник цевья контактировал со стволом с направленной вверх силой в 10-20 фунтов. Ствол должен быть свободным от ресивера до наконечника цевья. Может оказаться необходимым удаление небольшого количества древесины из-под передней части ресивера, чтобы обеспечить стволу необходимый для придания 10-20 фунтов наклон. Но лучше всего положить две покрытые эпоксидной смолой прокладки (см. Рисунок 4-35) в канавке под ствол, расположенные под 120° друг от друга, а ресивер положить на эпоксидную смолу. Такой метод помогает, так как обеспечивает предварительно приложенный момент, т.е. осуществляет принцип, широко используемый инженерами-конструкторами. На Рисунке 4-36 показан момент переднего кольца ресивера, измеренный на стандартной винтовке-спортсере с осуществленным беддингом О'Коннора. Если сравнить Рисунок 4-36 с Рисунком 4-3, то можно заметить, что момент отдачи уменьшился почти на 50%, что является значительной величиной. Заметьте, что амплитуда высокочастотных колебаний тоже уменьшается, возможно, как результат фрикционного демпфирования между цевьем и стволом. Точка попадания винтовки с уложенным таким образом механизмом будет смещаться вниз в течение нескольких месяцев, но со временем стабилизируется. Резкие смены погодных условий, в основном влажности, могут вызывать уход точки попадания. Тем не менее, я перевозил винтовки с подобным беддингом с Мексиканской границы до северной Территории

Юкона в течении нескольких лет и никогда не сталкивался с такими проблемами. Я думаю, что большинство проблем с уводом точки попадания связано с заготовленной в неправильный сезон и неграмотно высушенной древесиной ложи. Заготовка ложи должна быть высушена в течении как минимум пяти лет до начала использования для снятия остаточных напряжений. Существует коммерческое приспособление (AccuMajic Accurizer) производства Aftermarket Innovations (1-800-528-6900), который по существу является тем же самым, что беддинг О'Коннора. Я не испытывал это приспособление, но если верить публикации в Февральском 1996 года номере Shooters News (1-216-979-5258), похоже, что оно дает те же результаты. В любом случае, теперь мы имеем экспериментальное подтверждение того, что метод беддинга О'Коннора действительно работает, и я могу рекомендовать его для использования на охотничьих винтовках.

На бенчрест винтовках со свободно вывешенным стволом применяется пиллар беддинг. В этом типе беддинга применяются два алюминиевых стержня диаметром от 1/2 до 5/8 дюйма с отверстиями под винты спусковой скобы, которые вклеиваются в ложу на эпоксидную смолу. Верхняя поверхность этих вставок обрабатывается для соответствия нижней поверхности ресивера. Такой тип беддинга удерживает ресивер в ложе очень жестко и несомненно снижает изгибание ресивера. Я использовал его около 30 лет назад и выяснил, что это действительно помогает при свободно вывешенном стволе. Я не люблю его на охотничьей винтовке, потому что он вносит дополнительный шум при работе механизма винтовки. В наши дни многие бенчрест винтовки имеют механизмы, вклеенные в пластиковую ложу, что зарекомендовало себя довольно успешным.

Вес ствола

Всем хочется думать, что увеличение веса ствола улучшает размер групп. Вопрос насколько? Были произведены расчеты при помощи программы вибрации ствола для ствола с постоянным диаметром 1,2 дюйма, который весит около 7,5 фунтов. Вес обычного винтовочного ствола составляет от 2,7 до 3 фунтов. На экспериментальной винтовке ствол весил 2,8 фунта. Расчеты показали, что ошибка рассеивания, возникающего в результате вибрации, уменьшилась приблизительно в четыре раза. В общем, уменьшение вибрации ствола путем увеличения его веса ведет к проблеме избыточного веса, хотя оно и работает. Я однажды сделал такого монстра используя тяжелый сделанный вручную вариант механизма Ремингтона 721, и он стрелял хорошо. Тем не менее, он стрелял не намного лучше, чем модифицированная нами с целью устранения эффекта вибрации ствола экспериментальная винтовка. Одним из величайших достижений тяжелого ствола является простота, с которой от него можно добиться точной стрельбы, потому что он практически не движется ввиду его большой инерции. Некоторым может прийти в голову использовать компьютерную программу вибрации ствола для оптимизации контура легкого ствола. Возможно, она может быть так использована, но это ведет к ее применению методом проб и ошибок, что трудно осуществимо. Я стремился в первую очередь устранить влияние вибрации на ствол, что мы и сделали. Если вибрация ствола устранена, то вес ствола более не является важным фактором для спортсмена.

Когда я проводил расчеты по вибрации ствола я решил определить, какой параметр является наиболее важным для ствола – жесткость или вес? Подходящим свойством нашей компьютерной программы является то, что вы можете задавать в ней как параметры плотности так и жесткость материала ствола в произвольных пропорциях и смотреть, что получается. Фактически в некоторых случаях выполнения программы ствол должен быть сделан из материала, отсутствующего в природе. В общем, получается, что наилучший ствол должен быть изготовлен из тяжелого, но гибкого материала. Я думаю, это шокирует многих стрелков, так как почти всегда читаю публикации о том, как оптимизировать же-

сткость ствола. Люди даже пытаются фрезеровать продольные канавки на стволе в попытках уменьшить вес не ослабляя жесткость, хотя это прямо противоположно тому, что дает компьютерная программа. Большинство экспертов сходятся на том, что эта процедура (fluting) не помогает. Если вы остановитесь, и задумаетесь, что если у вас есть тяжелый ствол, шарнирно прикрепленный к ресиверу, то крутящий момент, образуемый передним кольцом ресивера, не будет передаваться на ствол, и ствол не будет сильно двигаться. К сожалению, это непрактичное решение, и мы должны искать компромисс. Возможным компромиссом может быть наличие легкого стального ствола типа спортера, гибкого, насколько возможно, покрытого оболочкой из свинца, вдвое увеличивающей его массу без существенного возрастания жесткости. Я однажды пробовал покрывать свинцом ствол с целью проверить его работу. Диаметр дульной части ствола был 0,97 дюйма при длине 24 дюйма, что соответствовало правилам бенчрест. Но этот ствол не работал, так как свинец начал сползать со стали. Конечно же, это не приемлемое решение для спортера, но может быть приемлемым для бенчрест винтовки если кто-то сможет воплотить его в работоспособный образец. Возможно, свинцовый рукав будет держаться, если применить грубую отделку ствола.

Грузы на дульной части

Грузы, закрепленные на дульной части винтовки, в попытке повысить ее точность, возможно, будут работать в определенных условиях. Одним из показателей их эффективности является то, что, согласно литературе, добавление компенсатора отдачи на дульный срез ствола увеличивает кучность. Я лично не проводил экспериментов с компенсаторами отдачи, поэтому не могу сказать, правда это или нет. Я использовал компьютерную программу вибрации ствола с целью изучения влияния груза на дульном срезе ствола на рассеивание, и вы можете видеть на Рисунке 4-37, что добавление 0,18 фунтов на дульную часть снижает рассеивание не модифицированной стандартной винтовки в два раза. Это большое достижение при небольшом приросте в весе.

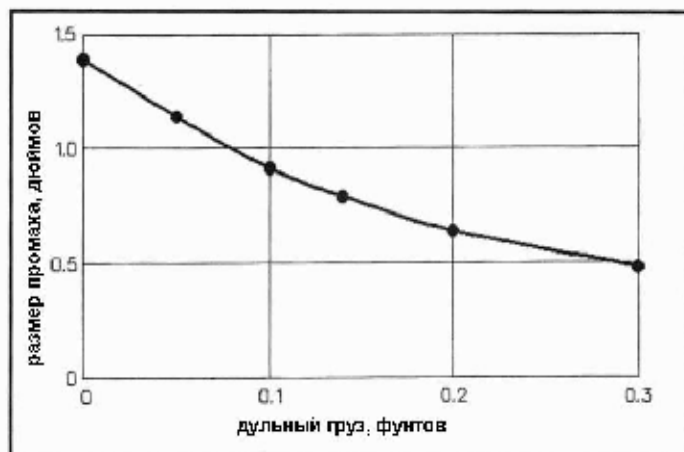


Рисунок 4-37 – Рассчитанный эффект влияния дульных грузов на смещение точки попадания вследствие уменьшения вибрации ствола. Небольшие дульные грузы теоретически серьезно уменьшают вибрацию ствола.

Единственным обязательным условием для дульных грузов является то, что они должны быть жестко закреплены на стволе. Иначе они могут давать большое рассеивание. Пайка серебряным припоем является, на мой взгляд, единственным приемлемым методом. К сожалению, я не знаю какого-либо хорошего метода проверки дульных грузов, чтобы убедиться в их реальной работе. Позже, когда мы устраним другие ошибки, остающиеся в винтовке, не должно наблюдаться никакого различия, потому что большой процент вибрации ствола мы удалили модификацией ресивера и применением Изолятора Отдачи. Тем не менее, мы можем снова проверить, насколько эффективны проведенные модификации.

Теоретически, резонансный массовый демпфер, который представляет собой массивное подпружиненное приспособление, будучи правильно настроенным, способен демпфировать колебания дульной части ствола. Проблемой при использовании такого демпфера является гашение только определенной частоты, а у нас присутствует несколько гармоник колебаний ствола. Это делает затруднительным его использование. Он успешно применяется для демпфирования высоких зданий и вращающихся механизмов, где вибрация состоит в основном из одной частоты. Я пытался рассчитать такой демпфер в компьютерной программе, где была только третья гармоника колебаний, и он работал, но я не знаю, как он будет вести себя на практике.

Другие типы ресиверов

Раньше я говорил, что Ремингтон 721 был выбран в основном потому, что имел цилиндрический ресивер, что существенно упрощало проведение тензометрических измерений. Многие ресиверы, такие как 98 Маузер, Винчестер Мод 70 и другие, имеют плоские проекции на нижней части ресивера, которые сильно усложняют проведение тензометрических измерений момента переднего кольца ресивера. Фактически, я вообще не уверен, что такие измерения возможны с приемлемой точностью. Другой отрицательной стороной таких ресиверов является невозможность проведения их модернизации с целью обеспечения симметрии переднего кольца ресивера. Возникает вопрос, насколько хуже колебания ствола на таких ресиверах вследствие асимметрии ресивера. Так как я не проводил измерений для данного типа ресиверов, я могу лишь предполагать, что вибрации ствола будут худшими при той же массе ствола и толщине кольца ресивера. Тем не менее, большинство таких винтовок имеют более тяжелые стволы и более толстые кольца ресиверов. В общем, возможно, что такие различия компенсируются, как минимум до того же уровня асимметрии, путем добавления лишнего веса и жесткости. Это может быть выяснено измерением ускорения дульной части ствола. Тем не менее, я не ставил перед собой таких задач, так как по результатам уже полученных данных выходило, что ресивер с плоским низом является наилучшей конструкцией.

Разгар пульного входа

Давайте прервемся, чтобы обсудить проблему разгара пульного входа, раз уж мы однажды коснулись ее вскользь. Разгар пульного входа обусловлен тремя причинами.

- 1) унос потоком горячих газов – напряжение при сдвиге, возникающее при движении движущихся слоев газа относительно поверхностей канала ствола, уносит с собой частички стали
- 2) химическая эрозия – молекулы кислорода вместе с ионами химически соединяются с молекулами железа на поверхности канала ствола и образуют слабо удерживаемые частицы оксидов железа, которые хорошо выводятся из ствола. Этот процесс подобен газовому резаку, и усиливается с повышением температуры.
- 3) механическая эрозия – графит, песчинки с капсюля и негоревшие углеродные частички ударяют по поверхности пульного входа механически удаляя частицы стали. Оболочка пуль соскребает молекулы с поверхности пульного входа.

Все эти механизмы относятся к разгару пульного входа, и большого успеха в уменьшении этого эффекта можно добиться усовершенствованием порохов и ствольной стали. Однако не ясно, какая из причин является наиболее разрушительной. Стараясь определить причину, я остановился на химической эрозии, как на наиболее действенной из трех. Очевидно, что высокое давление и температуры увеличивают разгар, и это верно для всех трех при-

чин. Также, чем больше объем гильзы по отношению к площади канала ствола, тем быстрее происходит разгар. Фактически, такие патроны, как 220 Свифт или магнумы съедают пульный вход между первой и второй тысячами выстрелов. Тем не менее, 270 Винчестер – стандартный патрон, и должен обеспечивать отстрел как минимум 3000 выстрелов в нормальных условиях. Я думаю, что быстрый и интенсивный разгар в нашем случае получился из-за повышенных температурных условий стрельбы. Я часто стрелял по 40 патронов в быстром темпе без охлаждения ствола, когда собирал данные для этой главы. Если вся электроника работала правильно, я работал так быстро, как мог снимать данные. Так как температура окружающей среды часто переваливала за 90, то ствол становился очень горячим.

Единственное решение проблемы – держать ствол умеренно холодным. Я обычно охлаждаю ствол проточной водой при помощи 1,5 футовой медной трубки диаметром 3/8 дюйма, к которой на резиновую замазку присоединена пластиковая воронка, после каждых двух или трех пятипатронных групп. Но это невозможно проделать с винтовкой, закрепленной в станке с оборудованием для снятия измерений. Я не знаю, связано ли использование пороха марки IMR4831 с быстрым разгаром пульного входа, но я замечал, что после него остается больше несгоревших порошинок в канале ствола, чем от других применяемых порохов. В общем, я был удивлен, как сильно разгорелся пульный вход от двух-трех тысяч выстрелов, и, так как возможности точной проверки не было, я считаю возможной причиной и высокие температуры.

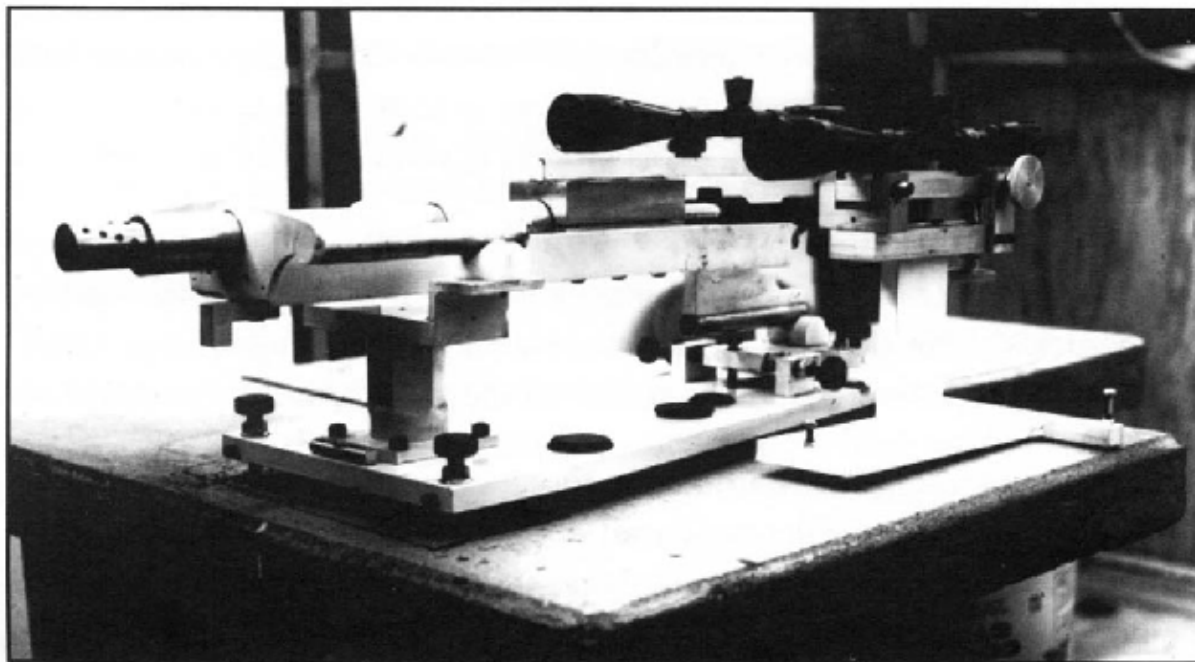


Рисунок 4-38 – Фотография рэйлгана, использованного для тестирования. Для полного описания смотри Приложение F.

Особые проблемы бенчрест винтовок

Позже, при проведении исследований эффектов дульного выхлопа, я переключился со спортера на станковую винтовку (рэйлган) (Рисунок 4-38 и Приложение F) и на бмм патроны. Переключение на бмм патроны я сделал потому, что намеревался использовать бенчрест матчевые пули, которые намного превосходят обычные коммерческие пули. Я также построил туннельный тир (Приложение E) при помощи Винтовочного Клуба Зиа

для устранения влияния ветра. Смысл был в устранении всех причин рассеивания не связанных с дефектами боеприпасов, и я добился своего. В процессе модернизации рэйлгана с целью максимального устранения вибрации ствола, я измерил момент на стволе возле блока соединения ствола и обнаружил колебания с очень малой амплитудой на частотах 4-5 кГц и 9-10 кГц. Я подумал, что эти высокочастотные низко амплитудные колебания на будут вызывать проблему, и оставил их как есть. Рэйлган имела цилиндрический ствол диаметром 1,35 дюйма, зажатый в станке при помощи цельных алюминиевых блоков, и дульный срез выступал на 18 дюймов впереди блоков ствола. Станок весом в 45 фунтов скользил назад от отдачи на низко фрикционных Тefлоновых подшипниках. Это очень жесткая конструкция, и, как следствие, частоты вибрации ствола намного большие, чем у спортера. Когда я отстрелял группы с различными навесками пороха, я заметил, что точки попадания смещаются гораздо сильнее, чем можно было ожидать от действия силы тяжести. Итак, я отстрелял по 3 или 4 пятипатронные группы для каждой навески пороха от 26 до 30 гран через каждые пол грана и измерил средние точки попадания по одной координате. Также была измерена дульная скорость. Так как оружие в среднем стреляет группы по 0,18 дюйма, то расстояния между центрами в группе по вертикали измеряются довольно хорошо ($\pm 0,020$ дюйма). Результаты, откорректированные на различные гравитационные поправки, зависящие от разницы в скоростях, изображены на Рисунке 4-39 в сравнении с синусоидальной волной с частотой 9,5 кГц. Синусоидальная волна изображает эффект изменения вертикальной скорости дула (деленной на 10), в момент выхода пули. Экстремумы на графике показывают максимальные отклонения в вертикальной плоскости как вверх так и вниз от точки отсчета. Так как полетное время пули на расстояние 100 ярдов составляет около 0,1 секунды, мы можем определить вертикальную скорость дула делением размера пикового отклонения на 0,1. естественно, результат – 1,2 дюйма в секунду. Это важно знать, так как можно подобрать навеску пороха или дульную скорость оптимальной, чтобы убрать эту ошибку. Заметьте, что если вы работаете на пиках (т.е. 26, 27, 28, 29.2 грана), вы можете получить разброс скоростей в 40 футов в секунду (эквивалентный $\pm 0,2$ грана пороха) без наблюдения больших вариаций в точках попадания из-за этого эффекта. С другой стороны, работа в точках пересечения (26.5, 27.5, 28.5, 30 гран), где кривая имеет крутой уклон, вы можете ожидать появление вертикальной ошибки в 0,16 дюйма при разнице в скоростях ± 20 футов в секунду. В то время, как данные по размеру групп (Рисунок 4-40) лишь грубо соответствуют Рисунку 4-39, лучшие результаты получаются на заряде в 27 гран пороха H322. Эта группа расположилась около первого максимума (около 0,18 дюйма). Худшая группа расположилась около третьего минимума (около 0,3 дюйма) на 29 гранах. Заряды меньше 27 гранов слишком легки для обеспечения постоянства дульных скоростей.



Рисунок 4-39 – График, демонстрирующий вертикальные смещения средних точек попадания (СТП) групп на 100 ярдов, выстреленных из рэйлгана, в зависимости от различных навесок пороха и дульных скоростей в сравнении с синусоидой с частотой 9,5 кГц. Частота 9,5 кГц наблюдалась в измерении вибрации ствола. Точки попадания откорректированы на разницу в падении от силы тяжести.

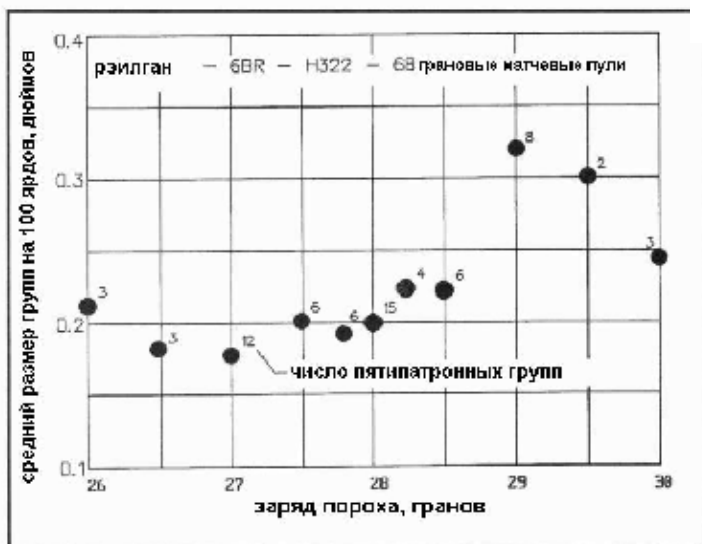


Рисунок 4-40 – График, демонстрирующий размеры групп по 5 патронов, выстреленных из рэйлгана на Туннельном Стрельбище с различными навесками пороха.

Мы определили похожую закономерность в вертикальном расположении групп на другой бенчрест винтовке класса тяжелый варминтер калибра 6PPC, предоставленной моим другом (Д-р Джексон). Рисунок 4-41 демонстрирует график вертикального распределения точек попадания для этой винтовки, при устраненном влиянии гравитации. Заметьте, что частота ниже, чем можно было ожидать – около 6,7 кГц против 9,5 кГц. Но здесь наблюдается то же явление. Вертикальное растягивание размеров групп (здесь не показано) минимально при скоростях ниже 3100 футов/сек и выше 3300 футов/сек. Это соотносится с отрицательной ветвью синусоиды, т.е. этого следовало ожидать. Если дульная скорость выше определенной для группы, то на нее будет чуть меньше воздействовать сила тяжести, и точка попадания разместится чуть выше. Но, если винтовка оперирует на отрицательной ветви синусоиды, то повышение точки попадания будет компенсироваться уводом вниз из-за влияния высокочастотной вибрации. Лучшим местом для выстрела является место сразу после положительного пика кривой. Мы определили также, что амплитуда синусоиды при методе стрельбы со свободным откатом меньше (почти на половину), чем при жестком удержании. Это не удивительно, так как часть веса стрелка хорошо передается на ложу при жестком способе удержания. Это увеличивает амплитуду колебаний ствола. При свободном удержании только спусковой крючок касается стрелком. Конечно, вы не можете использовать метод свободного отката на легком спортере или винтовке с сильной отдачей. В общем, он применим только для тяжелых бенчрест винтовок.

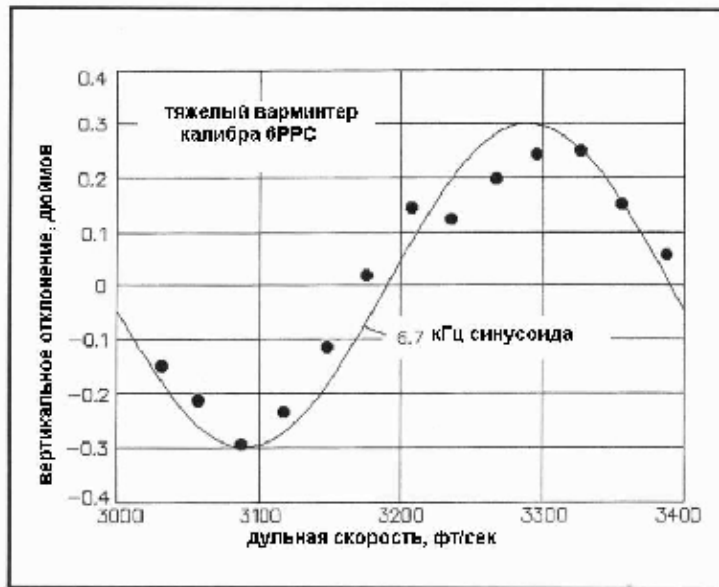


Рисунок 4-41 – График вертикального расположения центров групп для различных начальных скоростей на 6PPC бенчрест винтовке. Эффект различных гравитационных поправок исключен.

Я решил испытать мою станковую винтовку, которая имеет полностью модифицированный механизм, включающий Изолятор Отдачи, с тяжелым стволом Шилена с патронником бммBR. Данные приведены на Рисунке 4-42. вы можете видеть, что когда данные откорректированы на наличие гравитационной поправки, график превращается практически в горизонтальную линию. Это говорит об присутствии очень малых вибраций ствола в этой винтовке, иначе мы должны были бы получить синусоиду распределения точек попадания в вертикальной плоскости, такую, как мы видели на рэйлгане и тяжелом варминтере.



Рисунок 4-42 – График вертикального расположения центров групп для различных навесок пороха и начальных скоростей для винтовки на модифицированном ресивере 721 с Изолятором Отдачи и тяжелым варминт стволом калибра 6 мм BR. Гравитационная поправка устранена.

Если это не проблема для спортера, то для бенчрест винтовки, где стрелки пытаются стрелять группы лучше 0,2 дюйма на 100 ярдов, это является проблемой. Вертикальное растягивание групп является частой проблемой на бенчрест винтовках, и типичным решением является увеличение заряда пороха до тех пор, пока это не прекратится. К сожалению, это не всегда работает, так как можно достичь предельного значения по давлению, или вертикальное рассеивание обусловлено другими причинами. Вертикальное рассеивание может быть от того, что боевые упоры затвора неравномерно лежат на упорах ствола. На рэйлгане эта проблема упоров затвора устранена. На рэйлгане вы можете изменять частоту колебаний ствола, двигая ствол назад или вперед в ствольном блоке, что изменяет фазу колебаний. Также можете подобрать заряд, при котором минимизируется вертикальное

рассеивание. На бенчрест винтовке для стрельбы с мешочков, заполненных песком, вы можете попробовать уменьшить длину ствола для обеспечения оптимального результата, кроме того, я бы посоветовал проверить вначале прилегание верхнего и нижнего боевых упоров затвора. Кроме того, подозрение может вызывать резьбовое соединение ствола и ресивера (см. Главу 6).

Как только вы нашли оптимальную скорость для кучности своей винтовки, вы должны проверять каждую новую банку пороха, чтобы удостовериться, что он дает такую же скорость при данном заряде. Нам попадались разные банки пороха одной партии, которые давали иногда разные характеристики.

Выводы

Мы измерили момент в переднем кольце ресивера и определили его влияние на кучность. Мы также убрали влияние момента отдачи применением специального беддинг-приспособления, названного Изолятор Отдачи, которое не передает силу отдачи от ложки к ресиверу до тех пор, пока пуля не покинет ствол. Оно устраняет момент отдачи, действующий на ресивер, и приводящий к возникновению вибрации ствола и, соответственно, неточности. Мы также выяснили, что другой причиной возникновения момента является структурная асимметрия в ресивере, и произвели модификации, устраняющие эту причину возникновения вибрации. Движение дульной части ствола было измерено с помощью акселерометра, и изучив эти данные, мы удостоверились, что сильно уменьшили вибрацию ствола.

Мы использовали компьютерную программу, моделирующую колебания ствола для нахождения влияния вибрации ствола на рассеивание, и нашли, что он должно быть около 0,84 дюйма на не модифицированной стандартной винтовке. Тесты на точность из пятипатронных групп на 100 ярдов показали, что средняя точность на обычной винтовке, составлявшая 1,5 дюйма снизилась до 0,884 дюймов после проведенных модификаций.

Мы также показали, что вибрация ствола приводит к вертикальному перемещению точек попаданий групп при изменении начальной скорости пули.

Теперь, когда мы убрали колебания ствола, у нас осталось как минимум шесть серьезных ошибок в винтовке, которые необходимо корректировать. Это движение оптического прицела, движение соединения ствола, эффект дульного выхлопа, проблемы сердечника пули, разбалансировка пули и проблемы внешней баллистики. Мы поработаем над проблемами оптического прицела в следующей главе.

Поздравляю! Вы прочитали самую трудную часть книги. Я обещаю, что больше не будет никакой электроники и других приспособлений, затрудняющих чтение книги.

Глава 5

Проблемы с оптическим прицелом

Оптические прицелы и их кронштейны имеют механические проблемы, которые могут вызывать рассеивание, поэтому мы позаботимся о них перед тем, как перейдем к решению более сложных и менее очевидных проблем. Эти механические проблемы, в основном, сводятся к двум категориям – подвижность оптики и подвижность в кронштейне.

Подвижность оптических деталей

Несколько лет назад я купил два дорогих панкратических прицела большого увеличения хорошо известного производителя, которые были одинаковы. Я заметил, что точность моей стрельбы неожиданно ухудшается, и я подумал, что что-то не так с прицелами. Единственное, что оставалось делать, это закрепить ресивер в надежных тисках, потом тряхнуть закрепленный прицел и проверить, вернется ли сетка в прежнее положение. И что вы думаете? Каждый раз, когда я слегка постукивал по корпусу одного из прицелов, его сетка переходила в другое положение! Я продолжил эксперимент с другим прицелом другого производителя, но сетка всегда возвращалась в исходное положение. Я был уверен в том, что некоторые оптические детали внутри прицела не были прочно закреплены. Проблема оказалась в том, что сборка объектива (т.е. передней линзы) была смонтирована в устройстве отстройки от параллакса. Я отремонтировал один из этих прицелов, изменив узел крепления объектива, и продал второй прицел, чтобы купить другой. Я не хочу называть марку прицела, потому что это было много лет назад, а сейчас они производят прекрасные изделия. Опыт подсказал мне, что прицелы могут быть источником ошибки, и единственным методом проверить это является проведение теста на скамье. Если вы соберетесь производить такой тест, то надо будет использовать тяжелые прочно закрепленные тиски с покрытыми свинцом губками. Я использовал маленький легкий брусок мягкого дерева для постукивания прицела, и вам нужно постукивать прицел в нескольких местах и под разными углами. Не нужно стучать слишком сильно, чтобы заставить сетку дернуться с места, поэтому вы не должны прикладывать слишком больших усилий, иначе можете сделать вмятины на корпусе прицела. У меня никогда не возникало проблем с Уивером, старым 20X Льюпольдом или Бауш энд Ломбом. Недавно я поимел трудности с новым 24X целевым прицелом, и после того, как сделал несколько телефонных звонков, узнал что почти вся бенчрест братия имела схожие проблемы. Некоторые люди открыли небольшой бизнес переделывая некоторые целевые прицелы. Теперь, расставив все в правильной последовательности, я хочу сказать вам, что ускорение отдачи нашей экспериментальной винтовки намного больше нормального, как следует из таблицы.

Таблица 5
Пиковые ускорения отдачи

Винтовка	Вес отдачи	Ускорение, g
Экспериментальная, 270	6,25	480
Стандартный с портер, 270	8,25	363
Легкий варминт, 6PPC, 6BR	10,5	216
Тяжелый варминт, 6PPC, 6BR	13,5	162

Так вы можете видеть, что прицел испытывает очень жесткие рывки на экспериментальной винтовке, потому что изолятор отдачи обеспечивает вес отдачи намного меньший, чем у других винтовок с таким же общим весом.

Также заметьте, что ускорение намного ниже на обычных бенчрест винтовках. Это означает, что с обычным целевым прицелом может быть все в порядке на более тяжелой винтовке без изолятора отдачи.

Одним из путей решения проблемы, который в конечном счете может работать, является использование подпружиненных скользящих кронштейнов крепления прицела, похожих на старое крепление Унертл. Я пробовал старые прицел и крепление Унертл, но они никогда не рассчитывались на такие нагрузки и поэтому не работали. Потом я пробовал разработать крепление на подобном решении, но оно также не подошло. Возвращаясь назад скажу, что этот кронштейн имел ряд конструкторских просчетов и не работал должным образом. Тем не менее, я надеюсь, что решение со скользящим креплением может быть использовано успешно для уменьшения ускорения отдачи, но это займет много времени.

Проблема подвижности оптических деталей очень коварна, потому что трудноопределима. Если бы я не стрелял из очень точных винтовок, я бы, может быть, никогда и не узнал, что оптические прицелы могут быть дефектными. Единственным методом проверки является проведение испытаний как на скамье, так и стрельбой. И, несмотря на это, я не знаю какого-либо пути, чтобы быть абсолютно уверенным в отсутствии подвижности оптических деталей прицела.

Подвижность узла крепления прицела

Я всегда относился с недоверием к креплениям прицела. Эти кронштейны имеют упоры отдачи на мощных винтовках, и я никогда не был уверен, что они остаются неподвижными. Крепление на данной винтовке – Weaver Top Mounts с алюминиевыми базами, закрепленными двумя винтами 6-48. Теперь не осталось никаких причин ожидать, что эти два маленьких винтика будут выдерживать те нагрузки, которые будут присутствовать на винтовке теперь, как сильно их не затягивай. Это становится очевидным, если принять во внимание нагрузку на прицеле во время стрельбы около 500-700 фунтов на спортере калибра 270. Итак, базы не будут стоять неподвижно, и вы можете это легко проверить на простом опыте. Все что нужно сделать – это постучать маленьким молоточком через деревянную прокладку по передней базе так, чтобы она смещалась вправо, и повторить то же самое с задней базой, изменив направление, чтобы база смещалась влево. Потом произвести выстрел, и повторить то же самое три раза для группы из трех выстрелов. Всю операцию повторить еще раз, но теперь смещать базы в противоположных направлениях. Если влияния нет, то все шесть выстрелов должны расположиться вместе. Когда я проделывал этот эксперимент, две отдельные трехпатронные группы отделились друг от друга на 0,503 дюйма по горизонтали.

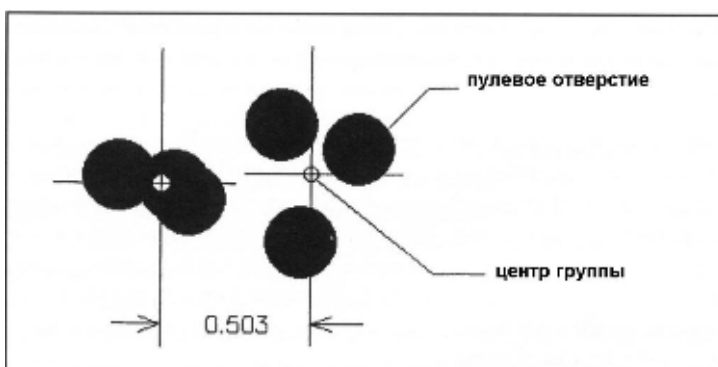


Рисунок 5-1 – Компьютерное представление реальной мишени, демонстрирующее две отдельные 3-х патронные группы, получившиеся в результате постукивания по базам прицела для перекоса прицела сначала влево, потом вправо.

Компьютерное представление этой мишени показано на Рисунке 5-1. Чтобы получить такую большую ошибку, базы нужно сместить лишь на $\pm 0,18$ дюйма. Не слишком большое движение, и похоже на то, что можно ожидать от маленьких винтов. К слову, винты были затянуты ударной отверткой, что является единственным методом обеспечения действительно плотной затяжки. Также следует отметить, что я пробовал наносить несколько видов химический клеев между ресивером и базами под прицел, но все они отходили при стрельбе. Конечно, эта проблема не является ошибкой кронштейна, но происходит из-за того, что ресивер сконструирован для установки на него базы для крепления оптики. Некоторые из современных винтовок с продольно-скользящим затвором имеют ресивер и базу выполненные заодно, а также канавки для осуществления фиксации кронштейна. Будем надеяться, что такое конструкторское усовершенствование поможет решить проблему. Тем не менее, мы увязли в этой проблеме на данном ресивере, и мы хотим полностью решить ее для того, чтобы продолжить наши исследования других проблем. Короче говоря, я изготовил копии алюминиевых баз из стали, и использовал низкотемпературный (т.е. 430°F) серебряный припой для закрепления их на ресивере. Не путайте такой припой с обычным, потому что серебряный припой намного прочнее, имеет сопротивление сдвигу соответствующее мягкой стали (т.е. 15000 psi). Чтобы убедиться в прочности серебряного припоя, я решил проверить два разных типа соединений на калиброванном гидравлическом прессе. Первое было соединение внахлест, которое имело предел прочности при сдвиге в 4500 psi, а второе – цилиндр в просверленном отверстии, имело тот же показатель в 14000 psi. Соединение базы для крепления оптики должно иметь сопротивление сдвигу, лежащее где-то между этими значениями, потому что эти два теста представляют собой крайние значения прочности соединения. Базируясь на результатах опытов с гидравлическим прессом, можно предположить, что соединение баз и ресивера должно выдерживать около 8000 фунтов, это означает, что пайка серебряным припоем обеспечивает более чем десятикратное противостояние реальным нагрузкам. На самом деле, я проверял базы, пытаясь сбить их ударами молотка по латунному пробойнику, чтобы убедиться в прочности соединения. Такая модификация может быть осуществлена лишь квалифицированным оружейным мастером, потому что существует серьезная возможность изменения состояния термоупрочнения ресивера и его пределов прочности. После неоднократного отстрела винтовки с припаянными базами под прицел, тес, приведенный на Рисунке 5-1, был повторен, и никакого заметного смещения точек попадания не наблюдалось. Теперь, до того, как кто-нибудь заметит маленький размер двух трехпатронных групп и решит, что нет необходимости в дальнейших усовершенствованиях, проинформирую читателя, что данный тест проводился позже, после того, как на экспериментальной винтовке были проведены некоторые другие корректировки.

С этого момента экспериментальных исследований я решил собрать другую винтовку точно такую же, как 270-я с базами, припаянными серебряным припоем, но с патронником под калибр 6мм Ремингтон. Причиной было то, что высококачественные матчевые пули, не доступные для 270 калибра, были доступны для 6 мм. Я знал, что используемые мной пули калибра 270 были плохо сбалансированы и давали большую ошибку. Выглядело заманчивым устранить проблемы с пулей хотя бы на время, чтобы попытаться выделить некоторые другие проблемы. Это оказалось правильным решением, потому что первые группы выстрелов выявили другую проблему крепления прицела. На Рисунке 5-2 показаны две группы, отстрелянные из 6мм винтовки с использованием 65 грановых матчевых пуль Кука.

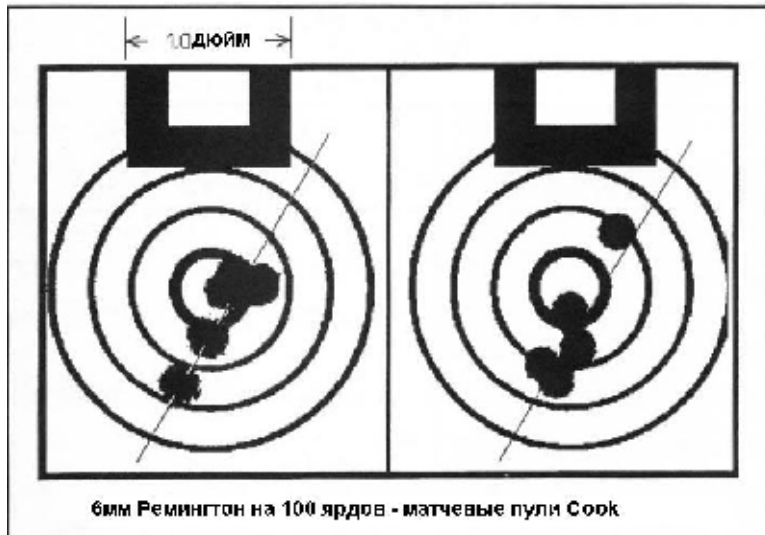


Рисунок 5-2 – Типичные мишени, полученные от отстрела из винтовки калибра 6мм Ремингтон матчевыми пулями Кука, демонстрирующие вертикальное рассеивание из-за осевой нагрузки, возникающей от прицела между передним и задним крепежными кольцами.

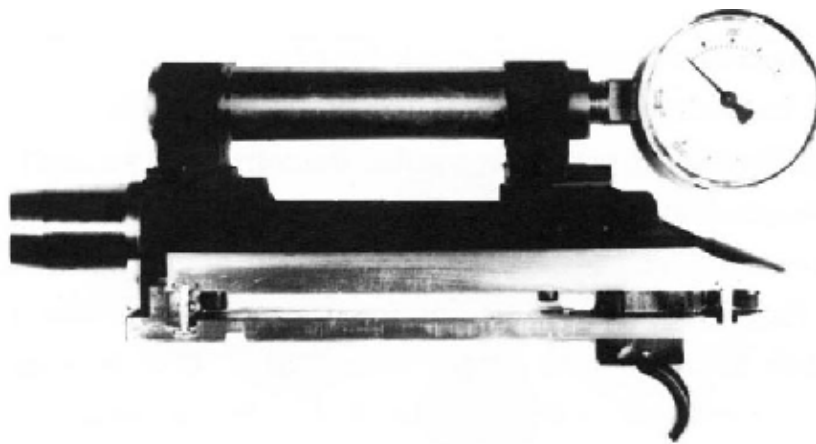


Рисунок 5-3 – Фотография гидравлического цилиндра, использованного для создания сжимающей силы до 200 фунтов между передним и задним кольцами. Отклонение дульного среза ствола измерялось цифровым микрометром.

Вы можете видеть, что пробоины вытянулись в строчку по вертикали и вправо. Хотя множество факторов может стать причиной такого рассеивания, оказалось, что существует различная осевая подвижность прицела между передним и задним крепежными кольцами. Это вызывает появление разностной растягивающей или сжимающей силы между двумя кольцами. В соответствии с теоретическими расчетами, эта сила может достигать 200 фунтов. Эта сила деформирует ресивер, направляя ствол в несколько другом направлении. Чтобы проверить эту теорию, я изготовил гидравлический цилиндр с присоединенным датчиком давления и заменил им прицел (Рисунок 5-3). Ресивер был зажат в тисках, а для измерения отклонения ствола использовался микрометр, в то время, как гидравлическая жидкость нагревалась, создавая осевую силу между передним и задним установочными кольцами прицела. Результаты приведены в Таблице:

Таблица 6
Эффект дифференциальной силы
между крепежными кольцами

Сила	Отклонение дульного среза ствола, миллидюймов		Дистанция промаха на 100 ярдов, дюймов	
	По вертикали	По горизонтали	По вертикали	По горизонтали
176	12.0	4.5	1.66	0.62
88	6.0	2.5	0.83	0.35
44	3.0	1.0	0.42	0.14



Рисунок 5-4 – Фотография стальной мостообразной базы для прицела на винтовочном ресивере, использованного для решения проблемы дифференциальной нагрузки между кольцами прицела.

По приведенным данным вы можете рассчитать, что угол от вертикальной оси будет около 23° , что чуть меньше, чем угол, наблюдаемый на мишенях. Причиной того, что группы оказываются повернутыми на такой угол, является то, что ресивер слабее с правой стороны, чем с левой из-за наличия гильзовыводного окна. В общем, ресивер изгибается в плоскости, наклоненной вправо от вертикальной. Также из Таблицы 6 можно заметить, что дифференциальная сила приблизительно от 75 до 100 фунтов – это все, что требуется для появления такого линейного рассеивания, которое наблюдалось на Рисунке 5-2. Я решил, что простейшим способом решения данной проблемы является изготовление стальной мостообразной базы для крепления прицела и припайка его с обоих концов к ресиверу. (Рисунок 5-4). Такая мостообразная база действительно оказалась работоспособной и устранила проблему. Я продолжил эксперименты из Таблицы 6 с мостовым креплением, и отклонения дульного среза ствола были уменьшены почти в десять раз, что означает остаточное рассеивание по вертикали, обусловленное дифференциальной нагрузкой между кольцами прицела, менее чем 0,1 дюйма на 100 ярдов. Отрицательной чертой такого решения является то, что такая база перекрывает гильзовыводное окно и немного мешает. Она также прибавляет 1,5 унции веса, но я не знаю другого решения проблемы. Тем не менее, мостовое крепление существенно добавляет жесткости довольно гибкому ресиверу, что может улучшать кучность другими путями, а не только проблемы с прицелом. Для дальнейшего уменьшения влияния дифференциальной нагрузки прицела я смазал изнутри верхнюю и нижнюю части заднего кольца крепления прицела тефлоновой смазкой (т.е. Блокатором Трения) и не затягивал винты с той силой, как я это обычно делаю. Помогло это или нет, я не знаю, потому что эффект был слишком мал, чтобы быть зафиксированным.

Другим источником подвижности оптического прицела, который я обнаружил далее в своей работе, является подвижность прицела внутри посадочных колец. Нижняя часть крепежных колец, которые устанавливаются на базу, имеет цилиндрическую опору, предназначенную для удерживания трубы оптического прицела. К сожалению, диаметр этой

цилиндрической опоры почти на 5 миллов больше, а ширина удерживающей ленты настолько велика, что труба прицела в горизонтальном направлении удерживается только трением (смотри Рисунок 5-5). Вы можете подумать, что удерживающая лента будет деформировать трубу прицела достаточно для соответствия с опорной частью, но этого не происходит. Труба прицела деформируется только на один мил в диаметре при очень плотном зажатии крепежной ленты. Если прицел сместится по горизонтали в одном из крепежных колец только на 0,15 мила, выстрел уйдет на 0,1 дюйм на 100 ярдах. В то время, как я никогда не мог точно проверить, что прицел движется в кольцах, существовали серьезные признаки того, что прицел подвижен и дает как минимум 0,3 дюйма на 100 ярдов горизонтального рассеивания. Причиной невозможности точной проверки являлось наличие действия ветра, показывавшее себя точно также, что делало трудным точное доказательство. Тогда у меня еще не было туннельного стрельбища. К счастью, эта проблема легко решается, как можно видеть из Рисунка 5-5. Все что необходимо сделать, это профрезеровать нижние части опорных цилиндров крепежных колец концевой шарообразной фрезой с диаметром $\frac{3}{4}$ дюйма, тогда труба прицела будет плотно контактировать с внутренними поверхностями посадочных колец в трех точках, удаленных на одинаковое расстояние друг от друга. Количество удаляемого концевой фрезой материала (30 миллов) преувеличено на Рисунке 5-5 для большей наглядности. Другим способом является укладывание трубы прицела на слой наполненной алюминием эпоксидной смолы Devcon F, нанесенной на нижнюю часть крепежного кольца. Я использую черный обувной крем в качестве разделителя и удерживаю прицел на кольцах до застывания эпоксидной смолы при помощи прочных резиновых лент.

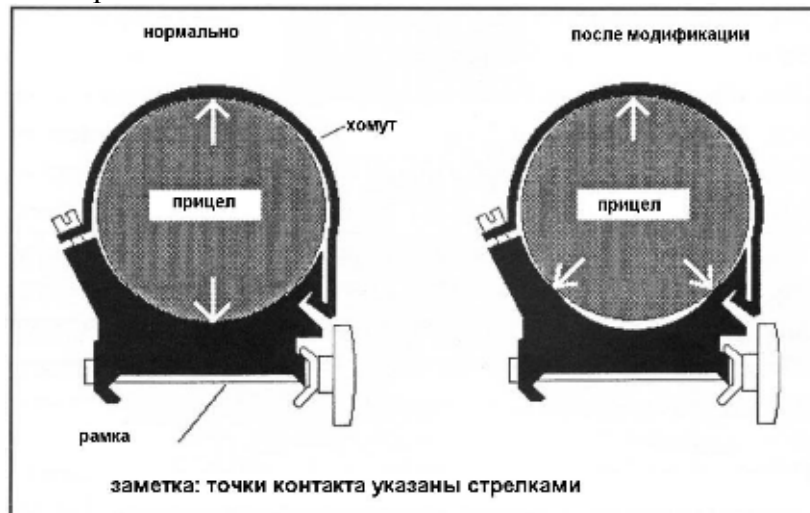


Рисунок 5-5 – Эскиз верхнего крепления Уивера, демонстрирующий модификацию опорной поверхности для устранения двухточечного контакта кронштейна с трубой прицела.

Любое из решений, или использование обоих сразу, предотвратит подвижность прицела в крепежных кольцах, и мы сможем больше не беспокоиться об этой проблеме. Другие типы креплений могут иметь те же проблемы. Тем не менее, я не думаю, что столь незначительный эффект может наблюдаться на обычном спортере.

Параллакс

Параллакс просто регистрируется при перемещении глаза, расположенного позади закрепленного прицела, в поперечном направлении и наблюдая за перемещением сетки относительно цели. В соответствии с законами оптики параллакс может быть полностью устранен для одного расстояния при данной настройке оптического прицела, и чем больше увеличение прицела, тем более критична эта настройка. Прицелы небольшого увеличения

обычно не могут быть перестроены на параллакс и конструируются таким образом, чтобы быть свободными от параллакса на каком-то среднем расстоянии наблюдения. Прицелы высокого увеличения (т.е. больше 9X) имеют специальное регулировочное кольцо, которое обычно калибруется по расстоянию. К сожалению, я ни разу не смог полностью отрегулировать параллакс на большинстве прицелов с большим увеличением (т.е. от 20X до 36X) при помощи их механизмов регулировки. Возможно, вы не сталкивались с такими проблемами, но если все же сталкивались, то вы можете устранить их, сместив глаз за расстояние обычного удаления выходного зрачка и центрируя круг, который появляется в поле зрения вашего прицела. Такой метод позволяет расположить глаз точно на оптической оси прицела так, что параллакс перестает иметь значение. Это также дает дополнительное преимущество, уменьшая шанс контакта глаза с прицелом во время отдачи.

Оптическое преломление

Оптическое преломление, более часто называемое миражом, возникает при наличии небольших, но заметных изменений в плотности воздуха, находящегося между стрелком и мишенью. Эти градиенты плотности заставляют оптические лучи отклоняться и искажаться. В результате изображение цели кажется движущимся и может быть искаженным или смазанным. Ветер и высокая температура окружающей среды обычно усугубляют мираж, в то время как мираж может быть незначительным в холодных условиях. Мираж обычно ухудшается с приближением к земле, и он намного сильнее над лишенной растительности землей. Единственный действительно удовлетворительный метод справиться с этой проблемой это складываться и идти домой, вернувшись на следующий день. Тем не менее, этот путь нам не всегда подходит, поэтому, имея определенный опыт, мы можем минимизировать этот эффект.

Существуют два типа миража. Первый – то, что я называю трясущийся мираж – то есть быстро меняющийся, и второй очень медленно меняющийся тип миража, о существовании которого большинство стрелков не подозревают. Трясущийся тип часто обусловлен теплым воздухом, поднимающимся от ствола прямо перед оптическим прицелом, также он может возникать в жаркий ветреный день из-за теплого воздуха, испаряемого от земли. Если трясущийся мираж генерируется стволом, вы можете закрепить перед оптическим прицелом над стволом кусок тонкого пластика около 3 или 4 дюймов шириной, который будет отражать теплый воздух в стороны. Липучка (велькро), обычно используемая для закрепления пластика, работает удовлетворительно. Длинные трубы (бленды), навинчиваемые на объективные линзы целевых прицелов, могут быть полезными, но могут вызывать подвижность в сборке объектива. Из-за этой причины большинство целевых стрелков их больше не используют. Если трясущийся мираж обусловлен горячим воздухом за пределами дульного среза ствола, то применяется другой метод компенсации. Если вы присмотритесь внимательно, то заметите моментальные случающиеся время от времени появления четкой хорошо сфокусированной картинки. Суть в том, чтобы навестись на это настоящее изображение, и нажать на спусковой крючок при точно наведенном прицеле в один из таких моментов.

Тем не менее, другие стрелки используют другой метод, и используют мираж как указатель ветра. Идея состоит в том, чтобы навестись на цель в один из моментов, когда ветер сдувает мираж, а потом выстрелить в тот момент, когда мираж опять поднимается и мишень становится видна нечетко. Теория такова – поперечный ветер минимален, когда мираж становится максимальным. Это означает, что оружие должно быть неподвижно во время ожидания подъема миража, поэтому такой метод не работает за исключением бен-

чрест стрельбы (со станка). Единственный известный мне альтернативный метод не очень практичен – отправляться стрелять на луну, где вообще нет никакой атмосферы!

Медленный тип миража трудно определим, но присутствует на открытых стрельбищах. Я сделал регулируемое крепление для прицела с целью проверки миража, и закрепил в нем 36X целевой прицел на скамье (Рисунок F-1, Приложение F). Наблюдая цель в этот прицел, вы можете узнать, присутствует ли медленный мираж, и внести соответствующую поправку. На Туннельном Стрельбище медленный мираж может создавать увод точки прицеливания на 0,6 дюйма по вертикали без применения продувочного вентилятора. Продувочный вентилятор полностью устраняет эту проблему, если вы сравниваете температуру окружающего воздуха с температурой стен туннеля.

Оптическое разрешение

Оптическое разрешение – одно из ограничений вашей способности произвести прицеливание из винтовки по цели. Оно зависит от увеличения, оптической схемы прицела, атмосферных условий и диаметра объектива. Естественно, оно зависит от вашей остроты зрения. К сожалению, мы не можем в широких пределах управлять большинством из этих факторов. В то время, как мне представляется, что качество оптики зависит в большой степени от цены, большинство прицелов в наши дни имеют прекрасную оптику. Диаметр объектива ограничивается максимальным диаметром объективной трубы прицела, которую вы можете поставить на винтовку, чтобы она не становилась громоздкой и неуклюжей. Большинство зрительных труб имеют большие объективы, чем прицелы, и вы можете видеть различие в разрешении, рассматривая ту же местность на том же увеличении и непосредственно сравнивая изображения. Диаметр выходного зрачка, то есть диаметр светового пучка, который выходит из окуляра прицела и входит в глаз, равен диаметру объектива, деленному на увеличение. Это значит, что чем больше увеличение, тем меньше становится выходной зрачок. В идеале диаметр выходного зрачка должен совпадать с диаметром зрачка глаза для обеспечения максимальной освещенности. В сумерках диаметр зрачка глаза может достигать 5 мм и больше, в то время, как при ярком свете он сужается до 1 – 2 мм. В основном, охотничьи прицелы конструируются таким образом, чтобы иметь диаметр выходного зрачка около 5 мм, в то время как целевые прицелы обычно имеют диаметр выходного зрачка около 2 мм. В качестве примера возьмем 20X Льюпольд, показанный на винтовке на Рисунке 2-1. Этот прицел имеет диаметр объектива 40мм, и при увеличении 20 крат имеет диаметр выходного зрачка 2 мм. Все это означает, что вы можете улучшать разрешение с повышением коэффициента увеличения до тех пор, пока выходной зрачок не станет слишком маленьким для данных условий освещенности.

Проверка предела разрешения является достаточно неочевидным мероприятием и зависит очень сильно от условий наблюдения, но моя наилучшая оценка составляет около 10 миллидюймов на 100 ярдов на 36X прицеле при хороших условиях освещения. Мне также кажется, что разрешение грубо пропорционально увеличению, если выходной зрачок остается приблизительно одинаковым. Это означает, что точность нашего прицеливания не может быть лучше 10 миллов, и эта величина будет увеличиваться факторами, которые мы обсудили ранее. Конечно, другим фактором является разрешающая способность глаза конкретного человека. Точность выстрела, то есть точность, с которой конкретный человек может навести винтовку на цель, спустить курок без внесения неточности в наводку винтовки, будет обсуждаться позже в Главе 11 данной книги.

Глава 6

Подвижность в резьбовом соединении ствола и ресивера

Довольно трудно представить, что резьбовое соединение ствола может перемещаться, обеспечивая стволу слегка измененное направление после каждого произведенного выстрела. Однако, это на самом деле случается, и такая подвижность может давать большие отрывы (дюйм и более) в группах. Единственными факторами, которые могут предотвратить подвижность резьбового соединения ствола являются поперечные силы трения, создаваемые осевым предварительным натягом, получаемым при приложении крутящего момента на установленном стволе, и стабилизирующие силы, действующие на угловые поверхности резьбы. К сожалению, прилагаемые нагрузки (такие как удар затвора при стрельбе) и разностные температурные расширения могут не только уменьшить осевой предварительный натяг, но и полностью разрушить стабилизирующий эффект предварительного натяга. В некоторых температурных условиях, таких как быстрая стрельба, возможны ситуации, когда резьбовое соединение полностью разгружено, и даже прослаблено во время стрельбы. Итак, как мы можем узнать подвижно ли наше соединение? Произведем некоторые измерения.

Измерения подвижности соединения ствола

Все экспериментальные измерения производим на ресивере Ремингтон 421 со стволом под патрон 270 Винчестер. Этот ресивер имеет резьбу 1.0625x16. Надо найти простой способ определить, куда направлен ствол относительно ресивера после каждого выстрела.

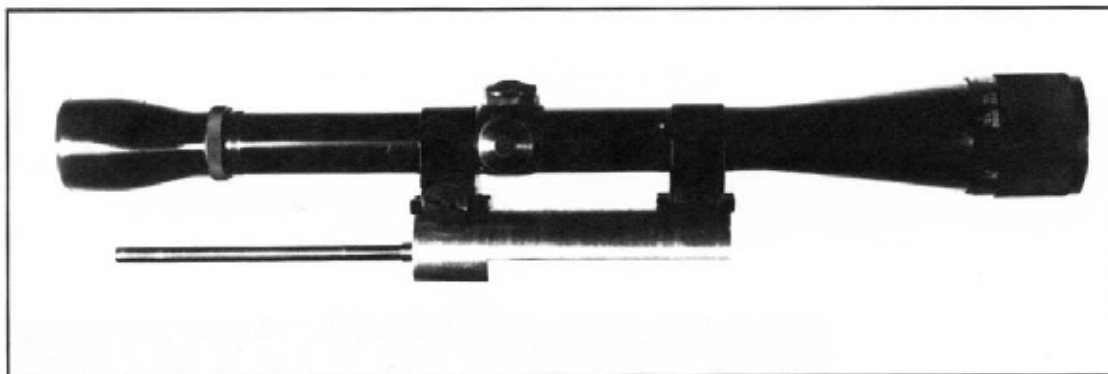


Рисунок 6-1 – Фотография, показывающая прицел Уивер К12, смонтированный на стержне, вставляемом в ствол. Движение резьбового соединения ствола между выстрелами может быть зафиксировано при помощи сравнения прицельной точки ствольного прицела с обычным прицелом, установленном на ресивере.

Самым простым способом, который я смог себе представить, является установка второго оптического прицела на стержне, вставляемом в ствол со стороны дульного среза, который показывает, куда направлен ствол. Винтовка устанавливается в станок (machine rest) для проведения эксперимента. Для проведения эксперимента станок регулируется таким образом, чтобы прицел на ресивере смотрел в точку прицеливания, после чего вставляется в дульную часть ствола вставляется другой прицел и регулируется до совмещения его перекрестия с той же точкой прицеливания. После производства выстрела проверяется станок (смотрит ли перекрестие прицела на ресивере по-прежнему в точку прицеливания), далее вставляется прицел в ствол и записывается положение его перекрестия относительно точки прицеливания. Таким образом, мы можем установить, куда направлен ствол относительно ресивера. На рисунке 6-1 показано приспособления для установки прицела в ствол с закрепленным 12х прицелом. Радиальный зазор между стволом и стержнем - 0,1

Мил, т.е. довольно тугая посадка. В данном случае ошибка установки прицела в стволе составит 0,3 дюйма на 100 ярдов. Но так как это самый простой подход к решению проблемы, он достаточно неточный. Была отстреляна серия из четырех групп по пять выстрелов. Данные от дульного прицела подтвердили, что когда присутствует значительный люфт ствола, ствол остается направленным по-другому относительно ресивера после предыдущего выстрела. Следующий выстрел должен быть отрывом. Ствол может иногда оставаться в том же положении, что и после предыдущего выстрела, но достаточно часто он может возвращаться в первоначальное положение после выстрела, который был отрывом. Как вы можете предположить, значительное движение ствола не всегда может наблюдаться из-за неточности данного измерительного метода ($\pm 0,3$ дюйма). Величина и направление смещения ствола в основном соответствует местоположению попадания пули. Я не мог придумать более-менее наглядного метода представления результатов в графической форме, поэтому примите на веру, что данные подтверждают тот факт, что соединение ствола было подвижным. Более точным путем проведения данного эксперимента может быть непосредственное закрепление лазера на нижней части ствола в районе дульного среза. Далее нужно замечать положение лазерного пятна на мишени по сравнению с точкой попадания пули при производстве выстрела.

Я провел другой простой эксперимент, доказывающий взаимное движение в резьбовом соединении ствола и ресивера. Я уже писал о том, что первые несколько выстрелов на заново установленном стволе всегда были отрывами. Эти первые выстрелы слишком далеко отклонялись от нормальных групп, что объяснялось чистым стволом. Можно предположить, что это вызвано смещением положения ствола в соединении при первом выстреле. Я снял ствол, нанес на резьбу ствола Локтайт, фиксирующий резьбу материал, и поставил ствол на место. Когда я проверил винтовку боем, оказалось, что первые выстрелы не были «дикими» и группа из пяти выстрелов показала 0,626 дюймов на 100 ярдов. После еще нескольких патронов стали появляться отрывы, давая понять, что Локтайт не в состоянии больше удерживать соединение ствола. Эпоксидка не достаточно сильна, чтобы выдерживать повторяющиеся удары выстрелов, особенно при нарастающих температурах. Этот эксперимент также подтвердил мое предположение о том, что соединение ствола может быть подвижным.

Заключением вышесказанного может являться наша уверенность в том, что относительное угловое перемещение ствола и ресивера действительно существует. Постараемся измерить осевой предварительный натяг, приложенный к резьбовому соединению, т.е. рассмотрим достаточно ли оно у нас затянуто для противостояния нагрузкам, обусловленным стрельбой.

Измерение осевого предварительного натяга соединения ствола

К счастью, данную величину довольно просто измерить при помощи тензометра (датчика деформации). Мы сделаем это так же, как при измерении удара затвора, только датчик расположим над резьбовой частью переднего кольца ресивера. С примененным в качестве смазки обычным моторным маслом 10-30, осевой натяг был измерен как 10600 фунтов при затяжке ствола с приложенным крутящим моментом 250 фут-фунтов. Значение согласуется с расчетным 10506 фунтов для коэффициента трения 0,24 и приложенного момента 250 фут-фунтов. Коэффициент трения - это число, которое будучи умноженным на осевой натяг, приводит к поперечной силе трения. А поперечная сила трения известна вам, как требуемый крутящий момент для данного осевого натяга. Расчетное значение осевого натяга может быть взято из справочной формулы. Формула следующая

$$F=(12*T)/(P/(2*p)+f*Rt/\cos b+f*Rb) \text{ где}$$

F= осевой предварительный натяг, фунтов

P = шаг резьбы, дюймов (1/16)

π - 3,14159

f = коэффициент трения, (0,24)

R_t = средний радиус резьбы ствола, дюймов (0,505)

R_b = средний радиус плеч ствола, дюймов (0,565)

β = угол резьбы, 30 градусов для стандартных резьб

T = приложенный крутящий момент, фут-фунтов

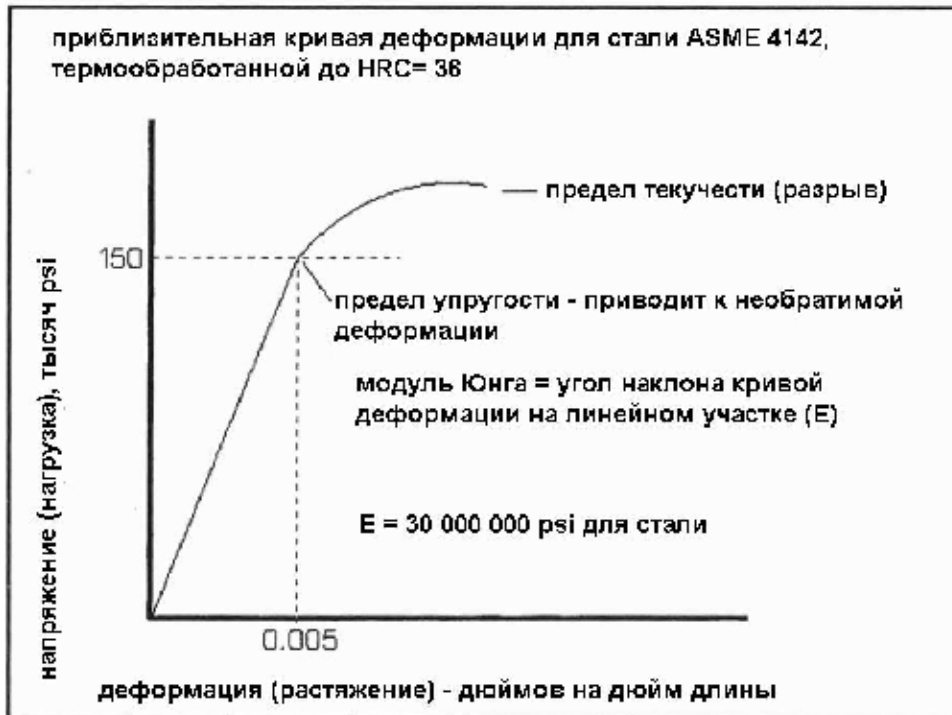


Рисунок 6-2 – График, показывающий как нагрузка приводит к деформации (растяжению) стали.

Коэффициент трения 0,24 соответствует справочнику (справочник по физике и химии) для смазок на основе нефти, при этом является лишь приблизительным. Коэффициент трения также зависит от качества обработки поверхности, что довольно трудно оценить. Таким образом, поперечная сила трения будет 10600 умножить на 0,24 или 2544 фунта. Итак, мы измерили величину осевого предварительного натяга, которая согласуется с теоретическими расчетами. Величина предварительного натяга в 10600 фунтов вероятно является показательной для большинства спортивных моделей.

Однажды я измерял при помощи тензодатчика величину предварительного осевого натяга на стандартном Ремингтоне 721 с замененным стволом и намерял 8054 фунта. Вообще 10600 выглядит внушительно, и вы можете подумать, что чем больше осевой предварительный натяг, тем лучше он укрепляет соединение ствола. Это было бы правдой, если бы не было других эффектов во время стрельбы, которые уменьшали бы предварительный натяг и силы трения, воздействующие на соединение.

№	Смазка		Осевой пред. натяг		Результаты
	Впадины	Вершины	В начале	В конце	
1	Масло	Масло	10600	10600	Большие отрывы при любых гильзах и температурных условия.
2	Тефлон. лента	Тефлон. лента	27600	19100	Первые две группы были замечательные, но упор отдачи не выдержал давления и оставшиеся группы были плохими
3	Масло	Масло	20300	20900	Точность прекрасная. Осевой натяг остается неизменным в пределах точности измерений
4	Масло	Масло	24700	21900	Хорошая точность. Осевой натяг уменьшился во время стрельбы.
5	Канифоль	Ланолин	17800	17800	Очень плохая точность

Тесты соединения ствола

Был проведен ряд экспериментальных тестов с целью определения эффективности различных условий соединения ствола и ресивера в зависимости от коэффициента трения и предварительного осевого натяга. Результаты этих тестов на спортивной винтовке 270 калибра сведены в таблицу 7.

Некоторое растяжение первых двух витков резьбы ствола наблюдалось в тестах 2 и 4. для описания условий растяжения и излома показан график на Рисунке 6-2. Представьте себе стальной прут, который растягивают равными силами натяжения, приложенными к обоим концам прута и производящими давление в фунтах на квадратный дюйм. Давление показано на вертикальной оси. Величина растяжения прута в дюймах на дюйм показана на горизонтальной оси. Сталь - эластичный материал и давление пропорционально растяжению пока сталь не достигнет предела упругости и не начнет растягиваться. Прут продолжит растягиваться, пока не достигнет максимального давления и не лопнет. Нужно очень аккуратно нагружать резьбу и плечи ствола при использовании тефлоновой ленты и ланолина при стандартной V-образной резьбе. Стандартная V-образная резьба не выдерживает осевой предварительный натяг более 20000 фунтов и начинает растягиваться.

Приблизительные коэффициенты трения для смазывающих материалов соединения сталь по стали следующие:

Тефлон	0.09
Ланолин	0.10
Масло 10-30	0.20-0.24
Ничего	0,58
Канифоль	>1

При проведении экспериментов были выявлены некоторые факты. Как видно из тестов 2,3 и 4 соединение не выдержало предварительный натяг более 20000 фунтов без дефектов. Другой выявленный результат - для стабилизации соединения при использовании смазки с низким коэффициентом трения требуется осевой предварительный натяг как минимум 25000 фунтов. Однако, тесты 2 и 4 демонстрируют что осевой пред. натяг в 25000 фунтов не поддерживается соединением в настоящей конструкции. Итак, существуют две вещи, которые стабилизируют данное резьбовое соединение - осевой предварительный натяг и поперечная сила трения. К сожалению, трудно определить относительную важность этих

двух факторов. Так в тесте 5 я надеялся увеличить поперечную силу трения используя канифоль в качестве смазки, а также я установил упор отдачи который был закален до предела упругости 130000 фунтов на кв.дюйм (PSI). новый упор отдачи был необходим, т.к. заводской упор был недостаточно силен для противостояния таким предварительным натягам. Кроме того, ресивер закален изготовителем до предела упругости 190000 PSI, а ствол закален до 130000 PSI. Я попытался придать осевой предварительный натяг 20000 фунтов, но довел его лишь до 17800 перед тем, как сломался зажимной ключ ресивера, сделанный из мягкой стали. Я не знаю, насколько высокий коэффициент трения давала канифоль, но, должно быть, он был намного больше коэффициента трения сухой стали по стали (0,58), так как ствол пришлось зажать в кулачках ствольных тисков, чтобы избежать вращения ствола при его установке. Ланолин был использован на плечах ствола, чтобы уменьшить напряжение при кручении, возникающее во время затяжки ствола. Результатом Теста 5 явилась очень плохая кучность, что показало мне, что основным стабилизирующим соединением фактором является осевой предварительный натяг, а поперечная сила трения носит второстепенный характер в упрочнении соединения ствола и ресивера. Однако осевой предварительный натяг в 25000 фунтов, требуемый для стабилизации соединения намного превосходит тот предел, который в состоянии выдержать обычная V-образная резьба без заметного растяжения. Поэтому я решил прекратить анализ нагрузок, действующих на соединение, так как возникла реальная конструкторская дилемма.

Нагрузка соединения ствола

Существуют несколько нагрузок, действующих на соединение ствола, которые могут уменьшить осевой предварительный натяг. Одним из таких эффектов является различный нагрев между стволом и кольцом ресивера, и он может быть основным. Используя термистор я замерил разницу температур в 56°F между внутренней поверхностью патронника и (133°F) и внешней поверхностью ресивера (77°F) после отстрела 15 патронов в быстром темпе. Можно подсчитать, что такая разница температур между стволом и ресивером может вызвать осевое расширение и уменьшить осевой предварительный натяг на величину порядка 7000 фунтов. Радиальное расширение ствола уменьшит этот эффект лишь в незначительной степени, определить которое я не в состоянии, поэтому будем придерживаться цифры в 7000 фунтов. Для меня нет сомнения в том, что средняя разница температур в как минимум 56°F может и как правило возникает при интенсивной стрельбе. А так как существует задержка по времени при проведении таких замеров, то на самом деле разница температур больше. В то время, пока вы ожидаете выравнивания температур термомпары и ствола или ресивера, они выравниваются медленно. Поэтому, измеренная разница температур между стволом и ресивером всегда будет меньше максимальной разницы температур.

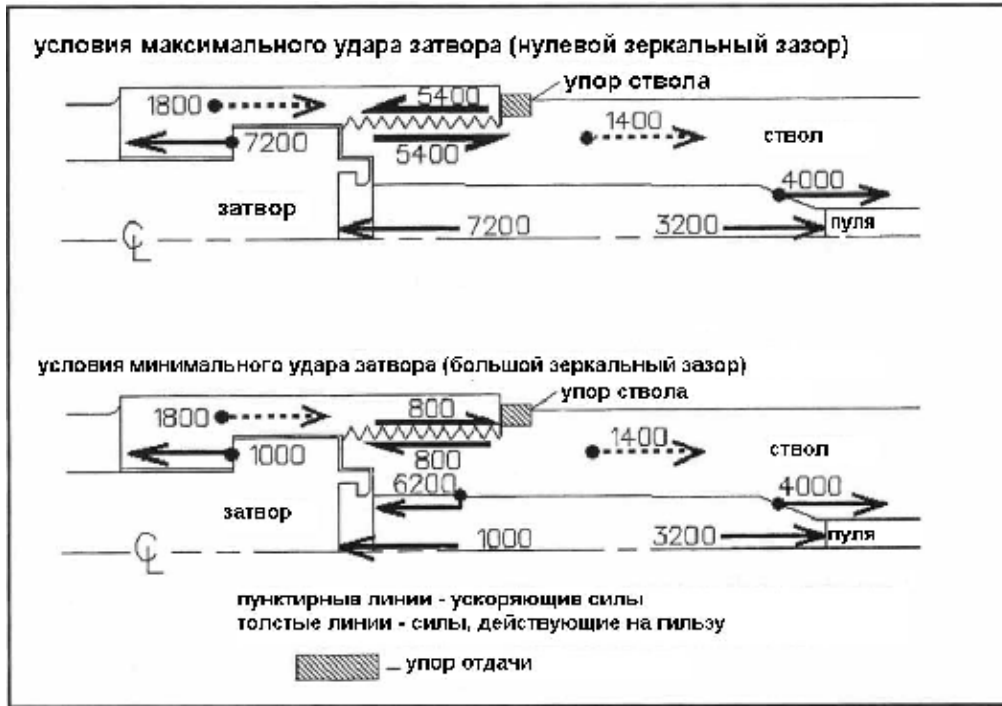


Рисунок 6-3 – Рисунок, показывающий инерциальные силы, возникающие из-за движения отдачи ствола и затворной группы, и силы, возникающие из-за удара затвора, действующие на соединение ствола.

Другим фактором, нагружающим соединение ствола является воздействие гильзы во время стрельбы. Мы знаем из Главы 4, что сила затвора может изменяться от 1000 до 7200 фунтов. Это происходит из-за разницы зеркального зазора и состояния гильзы, обуславливающих разницу в нагрузке на соединение. На рисунке 6-3 показаны два крайних положения гильзы, определяющих максимальную и минимальную силы затвора. Пунктирные линии показывают величину сил ускорения, а толстые - составляющие силы, действующие на гильзу. Жирные векторы показывают направление и величину результирующих сил, действующих на резьбовое соединение. Читатель должен понимать, что все показанные силы направлены в противоположную сторону от силы реакции, обусловленной ускорением отдачи. Я назвал эту силу реакции силой ускорения. В случае максимальной силы затвора (верхняя диаграмма) резьба получает дополнительную силу натяжения равную 5400 фунтов. В случае минимального удара затвора (нижняя диаграмма) резьба испытывает силу сжатия в 800 фунтов как результат воздействия сил гильзы. Напомню, что сила натяжения (5400 фунтов) дополняет осевой предварительный натяг, стабилизирует соединение, а сила сжатия (800 фунтов) дестабилизирует его. Однако, это верно лишь для того случая, когда патронник находится под высоким давлением, и когда давление падает, сила изменяет направление на противоположное. Это означает, что большая стабилизирующая сила в 5400 фунтов изменяется на такую же по величине дестабилизирующую вскоре после вылета пули из канала ствола. Мы не знаем когда соединение действительно движется. Наиболее вероятно, что это случается после вылета пули, когда силы, уменьшающие осевой предварительный натяг максимальны. Это также подтверждается тестами с дульным прицелом, когда ствол после нормального выстрела контролировался смещенным, а следующий выстрел был отрывом.

Другой динамической нагрузкой, действующей подобным образом, является радиальное расширение патронника из-за давления внутри него. Можно подсчитать, что это радиальное расширение производит силу натяжения где-то между 8250 и 11512 фунтов в зависимости от степени сжатия, обусловленного передним кольцом ресивера. Правильное значение находится где-то посередине, поэтому примем эту величину равной 10000 фунтов.

И в добавок рассмотрим силу удара на соединение, возникающую, когда упор отдачи ударяет по ложе в стандартной спортивной винтовке. Вспомним, что она измерялась в Главе 4 и составила 1500 фунтов. Вообще-то она меньше на бенчрест системах, где применяется различный беддинг. Также, сила отдачи меньше на БРРС, чем на 270 Винчестер. Тем не менее, должна быть какая-то сила упора отдачи, которая действует на бенчрест винтовках, так как сила отдачи как-то передается от ресивера к ложе.

Если мы суммируем все дестабилизирующие силы от различных источников в случаях холодного и горячего ствола, то получим:

Холодный ствол

Упор отдачи	1500
Удар затвора	5400
Радиальное расширение патронника	<u>10000</u>
Итого	16400

Нагретый ствол

Упор отдачи	1500
Удар затвора	5400
Радиальное расширение патронника	10000
Расширение от разности температур	<u>7000</u>
Итого	23900

Все это выражается в том факте, что соединение, предварительно нагруженное на 20000 фунтов имеет незначительную стабильность в обычных условиях и проявляет нестабильность после отстрела двух или трех серий по 5 выстрелов без охлаждения. Это соответствует нашим экспериментам, отраженным в Таблице 5, поэтому я убежден, что это действительно имеет место быть. Поэтому необходимо достичь осевого предварительного натяга в 24000 фунтов, чтобы быть уверенным, что соединение не «пойдет» в этих экстремальных условиях нагрева, ударов и вибраций.

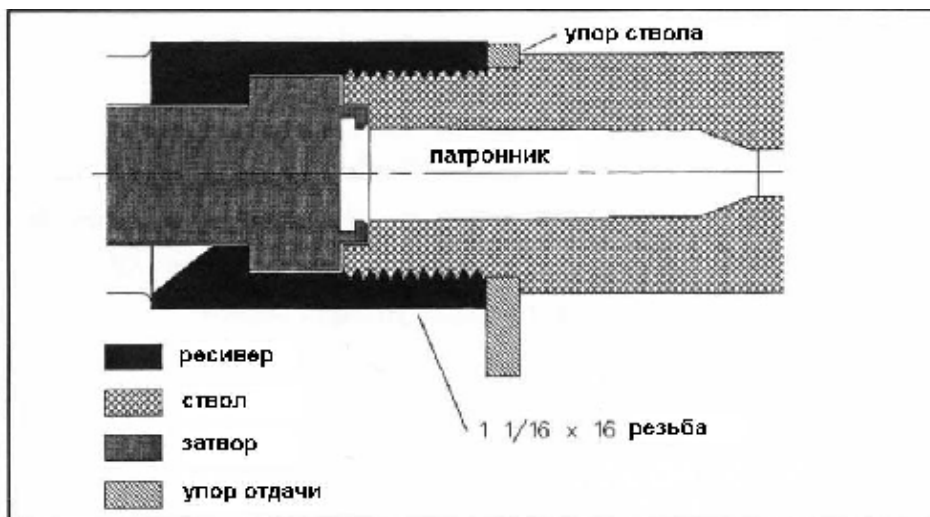


Рисунок 6-4 – Рисунок стандартного соединения ствола Ремингтона 721 с Национальной резьбой 60° и упором отдачи. Это эквивалентно стандартному соединению винт-гайка, где упор отдачи служит шайбой.

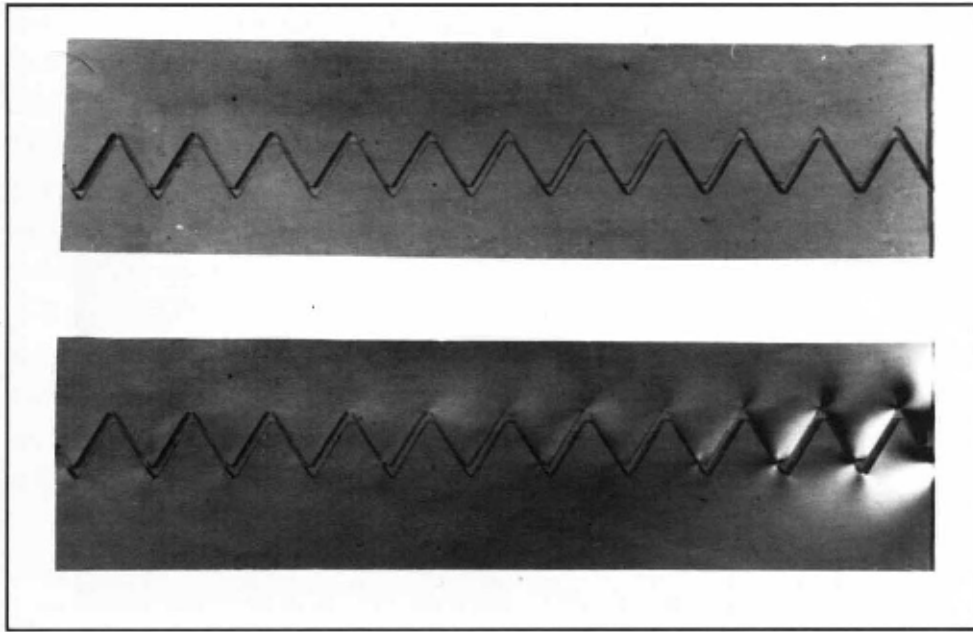


Рисунок 6-5 – Фотография пластиковой модели резьбы соединения ствола (стандартная V-образная резьба), использующая поляризованный свет. Демонстрируется нагрузка концентрируется на первых нескольких витках резьбы около передней части ресивера (снизу справа). На верхнем фото показана резьба в ненагруженных условиях.

Новая конструкция соединения

Мы уже переделали упор отдачи с целью противостояния более высоким нагрузкам, сделав его из более прочной стали (4140), которая может быть закалена до высокого предела упругости (130000 PSI). Коммерческий упор отдачи выполнен штампованным из мягкой стали, которая не может быть закалена более чем до 60000 PSI. Кроме того, я припаял упор отдачи к передней поверхности ресивера. Это было сделано в основном для удобства удержания упора в заданном положении и устранения его вращения при частых заменах ствола. Кроме того, это придает определенный эффект в стабилизации соединения, и я подумал, почему бы это не делать в процессе производства. Плечи ствола выдерживают нагрузку до 32000 фунтов до начала деформации, поэтому постараемся создать новую конструкцию резьбы, выдерживающую осевой предварительный натяг в этих пределах.

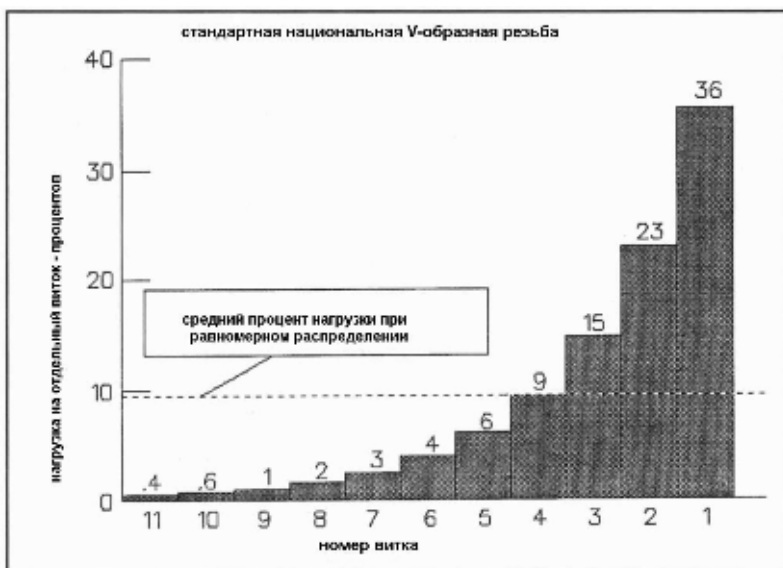


Рисунок 6-6 – Теоретический расчет индивидуальной нагрузки витков в процентах от общей нагрузки. Перед ресивером находится с правой стороны рисунка. Лишь первые несколько витков несут значительную нагрузку.

Стандартная Национальная V-образная резьба

Стандартная Национальная V-образная резьба, используемая на данном соединении, практически идентична той, которая используется на большинстве болтов и гаек. Тот факт, что отдельные витки резьбы нагружены не одинаково, хорошо известно среди инженеров-механиков (ссылки 18, 19) и может явиться абсолютным сюрпризом для читателя. Это приводит к тому, что наибольший процент из осевого предварительного натяга приходится на первые несколько витков резьбы, близких к передней части ресивера. Это показано на Рисунке 6-5, где показан результат фотоэластического теста. Резьба (зубья) нарезана на двух пластиковых пластинах толщиной по 1/8 дюйма каждая. Эти зубья имеют размер в четыре раза больший, чем стандартная резьба 16 ниток на дюйм, используемая на Ремингтоне (т.е 4 нитки на дюйм). Две пластины удерживаются в приспособлении, в то время, как одна сила приложена к правой части верхней пластины и действует налево, а обратная сила приложена к левой части нижней пластины и действует направо. Тест проводился в поляризованном свете, который искажается напряжением в пластике, обусловленным нагрузкой. Пластиковая модель рассматривается в отраженном свете и располагается между двумя кусками поляризационной пленки. Куски поляризационной пленки вращаются друг относительно друга до достижения максимального эффекта, после чего картинка фотографируется. Растянутые зоны показаны темными, а сжатые - светлыми. В обоих случаях нагруженного (снизу) и разгруженного (сверху) состояния видно, что основную нагрузку несут первые несколько витков со стороны передней части ресивера. В отличие от них, витки со стороны входа в патронник практически не нагружены. Нагрузка в процентах на каждый виток была вычислена при помощи метода Блюма и Флэнагана (ссылка 19) и приведена на Рисунке 6-6. Вы можете видеть, что первый виток со стороны ресивера несет 36% нагрузки, в то время, как последние несколько витков несут лишь доли процента от основной нагрузки. Это объясняет, почему соединение не жестко вообще и относительно свободно в перемещении, потому что лишь первые три или четыре витка несут существенную осевую нагрузку. Если бы витки на задней части ствола были бы нагружены практически также, как и спереди, ствол в соединении имел бы меньше возможности вращения вокруг поперечной оси, и оставался бы лучше выровненным относительно ресивера. Первый виток несет нагрузку в 7200 фунтов при осевом предварительном натяге в 20000 фунтов. Исходя из найденного нами предельного значения осевого предварительного натяга, при котором витки начинают необратимо деформироваться, найдем что теоретически мы можем нагрузить наше соединение до 79200 фунтов в случае, если все 11 витков будут воспринимать нагрузку равномерно. Этот уровень не является практическим, так как плечи ствола раньше начнут деформироваться. Вообще существуют три способа распределения нагрузки по виткам.

Рамповая резьба

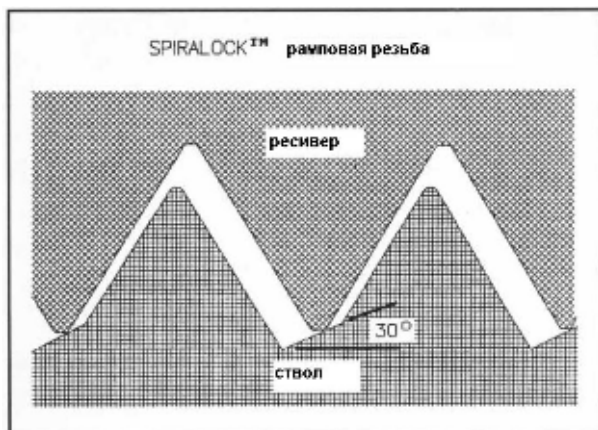


Рисунок 6-7 – Эскиз рамповой резьбы Спиралок™. Ширина 30° рампы составляет 0,025 дюйма по сравнению с подъемом или шириной витка в 0,0625 дюйма. Нагружены только верхушки витков резьбы ресивера. Витки показаны в нагруженных условиях. Перед ресивера справа.

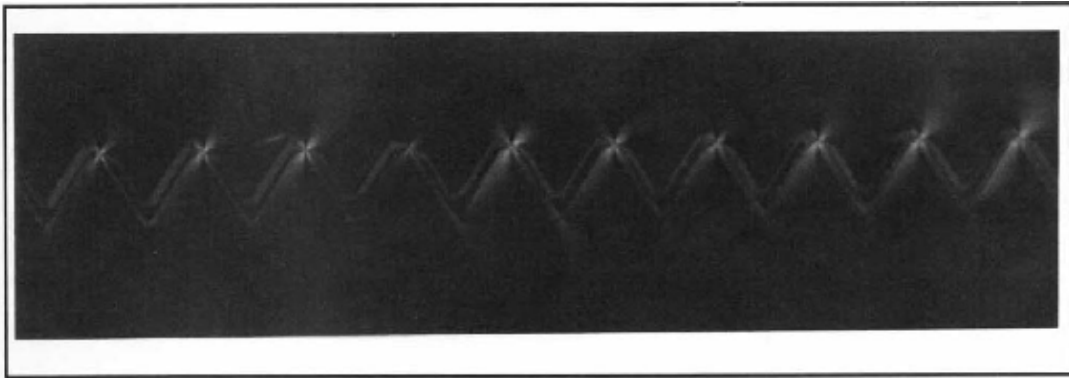


Рисунок 6-8 – Фотография пластиковой модели соединения ствола, показывающая как рамповая резьба имеет более равномерно нагруженные витки, что обеспечивает возможность увеличения предварительной нагрузки соединения. Перед ресивера справа.

На Рисунке 6-7 показан эскиз патентованной фирмой Detroit Tool Industries рамповой резьбы Спиралок™. Фотоэластический эксперимент, проведенный автором (Рисунок 6-8), показывает, что витки намного ровнее нагружены, чем на обычной V-образной резьбы. По данным, предоставленным Detroit Tool Industries было рассчитано распределение нагрузки по виткам (Рисунок 6-9), которые показали куда более равномерное распределение нагрузки. Например, первый виток испытывает лишь 13,7% нагрузки по сравнению с 36% стандартной резьбы. Также виток, находящийся со стороны входа в патронник несет намного больший процент нагрузки. Таким образом, я выточил новый ствол (из хромо-молибденовой стали 4140) с рамповой резьбой и установил его с измеренным осевым предварительным натягом в 32000 фунтов, используя тефлоновую ленту в качестве смазки и затянул его крутящим моментом в 200 фут-фунтов. После отстрела 50 патронов осевой предварительный натяг уменьшился до 29000, но не было даже намека на какую-либо видимую деформацию металла. Эта 10% потеря в осевом предварительном натяге обусловлена небольшими местными растяжениями в местах концентрации ударов, и в принципе ожидалась на новом резьбовом соединении. Рамповое резьбовое соединение было разобрано и собрано вновь с осевым предварительным натягом в 31000 фунтов и вновь испытано стрельбой в быстром темпе для нагрева ствола. Большие отрывы, возникавшие на обычном соединении при повышении температуры, исчезли, что свидетельствовало об удачной конструкции резьбового соединения. Ввиду того, что рамповая резьба может быть нарезана на стволе при помощи *клубна* или обычного резца, переточенного для воссоздания рамповидной формы, это усовершенствование конструкции может иметь практическое применение. Замена ствола оружейным мастером также обычная процедура. Допуски на такой резьбе не более критичны, чем на V-образной. Это предположение было подтверждено моим сыном - инженером-механиком. Так как некоторые патенты на данную резьбу все еще в силе, Detroit Tool Industries могут потребовать заключения патентного соглашения для крупномасштабного производства. Тем не менее, Президент (г-н Эд Палм) фирмы Detroit Tool Industries (1-800-521-2688) заверил меня, что фирма не будет преследовать частных оружейников за использование их резьбы. Другим выходом, который наверно не запатентован, является нарезание резьбы с различной глубиной впадин на подобие трубной резьбы, но с гораздо меньшей конусностью.

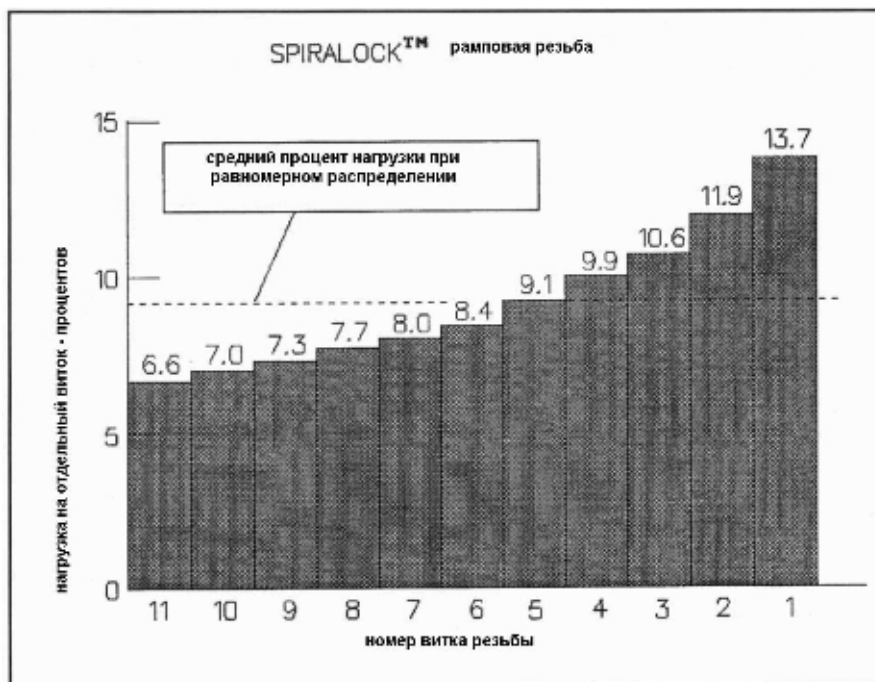


Рисунок 6-9 – Рассчитанная нагрузка витков для рамповой резьбы Спиралок™ в процентах от общей нагрузки. Распределение нагрузки более равномерно, чем в случае со стандартной резьбой (Рисунок 6-6).

Резьба с различной глубиной

Причиной, по которой стандартная V-образная резьба не держит распределения нагрузки является растяжение ствола и сжатие ресивера в продольном направлении при затянутой резьбе. Это обуславливает ненагруженность витков со стороны входа в патронник ствола. Если эта разница составляет только 0,5 мил (1 мил полная разница между стволом и ресивером), этого достаточно, чтобы полностью разгрузить последний виток. Что нам нужно, так это резьба, которая начинает нагружаться с конца ствола и при затягивании передает часть нагрузки виткам у передней части ресивера. Мой друг, инженер-механик Джон Вайдерт подсказал нарезать на стволе резьбу, глубина витков которой немного увеличивается от передней части ресивера ко входу патронника по закону линейного конуса. Я произвел расчеты, которые подтвердили, что изменение в глубине витков в 2,5 мил/дюйм дадут равномерное распределение нагрузки при осевом предварительном натяге в 30000 фунтов. Конусность зависит от площади поперечного сечения соединения ствола. Эта резьба может быть нарезана на токарном станке с использованием конусного приспособления. Однако, проще и лучше нарезать такую резьбу в ресивере в процессе производства при помощи конического метчика. Фотоэластический тест конической резьбы (Рисунок 6-10) показывает, что отдельные витки нагружены достаточно равномерно. Вы можете видеть на фотографии, что зазор в витках справа(передняя часть ресивера) больше, чем с левой стороны, соответствующей концу ствола. Разница в глубине на рисунке сильно преувеличена, так как пластиковая модель намного более эластична, чем сталь. Нет необходимости в теоретических расчетах, так как легко предсказать постоянное распределение нагрузки по резьбе в объеме 9,1% на виток. Рассмотрев достоинства такой резьбы на фотоэластическом тесте, я решил изготовить другой ствол и установить его на другой ресивер Ремингтон 721, который я приобрел для проведения экспериментов. Ствол с резьбой переменной глубины был установлен с осевым предварительным натягом в 27200 фунтов. После отстрела осевой предварительный натяг упал до 24500 фунтов, что видимо является максимальным значением, которое может выдержать данная резьба. Эта конструкция не так хороша, как рамповая резьба, но она намного превосходит обычную V-образную резьбу. После этого теста я решил работать с рамповой резьбой, потому что был уверен в ней.

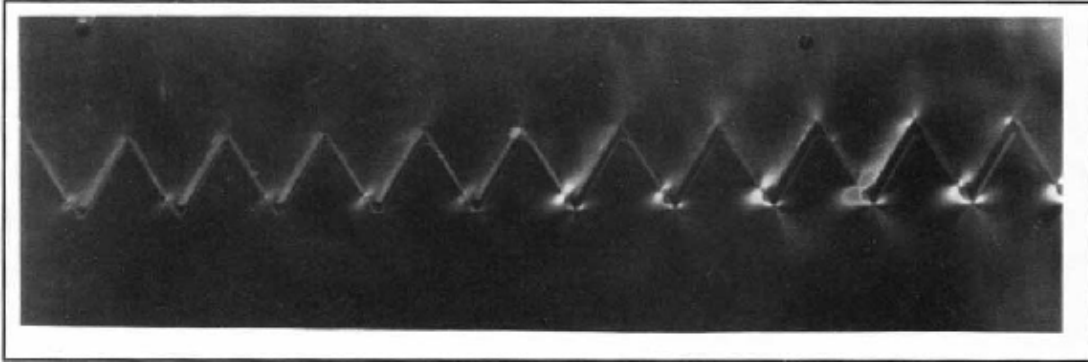


Рисунок 6-10 – Фотография пластиковой модели соединения ствола, показывающая как конические витки резьбы нагружены более равномерно, что обеспечивает возможность увеличения предварительной нагрузки. Заметьте большую глубину витков спереди ресивера с правой стороны.

Тесты на точность с рамповой резьбой

Точность была измерена и средний размер групп составил практически те же значения (0,884 дюйма), что на предыдущих тестах, представленных в Главе 4 (Таблица 4). Больших отрывов под воздействием высоких температур, которые были до установки нового ствола с рамповой резьбой, не наблюдалось. В предыдущем тесте винтовка охлаждалась после каждой группы (10 выстрелов), в то время, как в этот раз я стрелял четыре 5-патронные группы в быстром темпе до охлаждения и чистки.

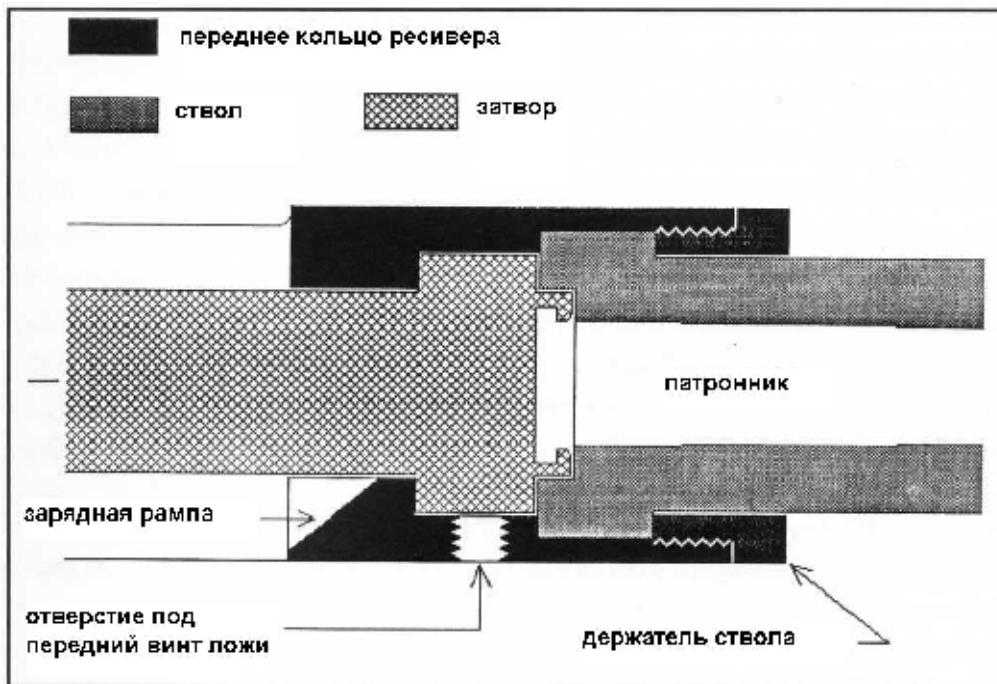


Рисунок 6-11 – Рисунок разреза конструкции соединения ствола, которая не требует больших предварительных нагрузок для стабилизации и не подвергается влиянию температурных градиентов.



Рисунок 6-12 – Фотография затворной группы, показывающая разобранное соединение ствола, которое не чувствительно к температуре и другим проблемам соединения ствола. Эта конструкция соответствует Рисунку 6-11.

Полное изменение конструкции соединения ствола

Эскиз усовершенствованного соединения ствола и ресивера показан на Рисунке 6-11, а на Рисунке 6-12 приведена фотография ресивера и ствола, изготовленных в соответствии с данным эскизом. Кольцо на стволе зажимается между упором ресивера и зажимным резьбовым кольцом. В общем, температурное расширение ствола или его кольца в осевом направлении просто увеличивает силу, удерживающую соединение неподвижным, а не уменьшает эту силу, как на обычном соединении. Другими словами, когда ствол нагревается в процессе быстрой стрельбы или растягивается из-за действия гильзы патрона, соединение от этого становится только крепче. Эта конструкция является более действенным решением проблемы, так как не нуждается в большой по направлению величине осевого предварительного натяга. Какой бы длины не было крепежное резьбовое кольцо, если оно сколь-нибудь затянуто, ствол остается неподвижным относительно ресивера. Конструкция была действительно воплощена в металле и проверена, о чем говорит Рисунок 6-12. Такая конструкция ресивера и ствола была отстреляна с применением прицелов на ресивере и на тяжелом стволе. Ствол был диаметром 1,2 дюйма у патронника и 0,9 дюйма со стороны дульного среза. Средний размер 5-патронных групп составил 0,65 дюйма и не было различия в размере групп между двумя местами расположения прицела. Было абсолютно ясно, что такая конструкция ствола абсолютно стабильна и не дает подвижности между стволом и ресивером от выстрела к выстрелу.

Другим путем предотвращения подвижности ствола относительно ресивера является возможность их изготовления из одного куска стали. Наиболее точная коммерческая винтовка, которую я когда-либо имел (Сэвэдж, модель 23Д, в калибре .22Хорнет), была сделана именно так. К сожалению, это не практичный способ, так как теряется возможность замены ствола.

Выводы

Выяснено, что обычное соединение ствола с применением V-образной резьбы является подвижным. Подвижность ствола бывает очень большой в условиях высоких температур, возникающих при быстром отстреле 15 выстрелов, и дает очень большие отрывы. Теоретические расчеты и практические измерения показывают, что соединение ствола будет подвижным на горячем стволе, если осевой предварительный натяг будет меньше 24000 фунтов. Эта проблема решается заменой стандартной резьбы на рамповую, которая выдерживает осевой предварительный натяг в пределах 30000 вместо 20000 фунтов. Увеличенный осевой предварительный натяг, обеспечиваемый рамповой резьбой, предотвращает подвижность ствольного соединения.

Встает вопрос, а как насчет подвижности резьбовых соединений стволов в болтовых винтовках вообще? Вообще то никто не знает, но я предполагаю, что вообще то все резьбовые

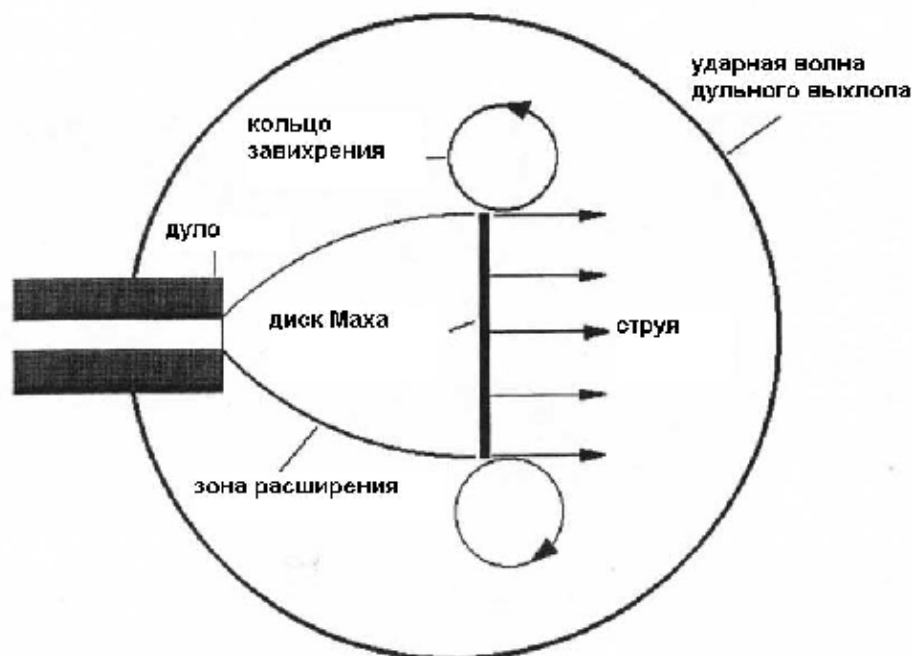
соединения стволов в той или иной степени подвижны, хотя на моделях с интегрированными упорами отдачи и стандартным беддингом эти проблемы менее заметны. Беддинг (О'Коннора, описанный в Главе 4, способен стабилизировать это соединение в какой-то степени. Этот беддинг придает некоторый предварительный натяг соединению, что, похоже, стабилизирует его. Большинство инженеров знает, как тяжело добиться прочности резьбового соединения, особенно при повышенной температуре, ударах и вибрациях, присутствующих на винтовках.

Бенчрестерские винтовки имеют тяжелыми стволами, которые отводят тепло от соединения ствола, уменьшая температурный эффект. Кроме того, тяжелые стволы помогают уменьшить нагрузку на соединение. У них часто ресиверы жестко прикрепляются к ложе, уменьшая действие отдачи на соединение. Кроме того, там применяются малые калибры, а стволы часто чистятся, обеспечивая тем самым выравнивание температурных различий, уменьшая вероятность подвижности резьбового соединения на бенчрестерских системах. Тем не менее, подвижность резьбового соединения является природным явлением и присутствует в той или иной степени на любой винтовке. Я очень подозрительно отношусь к ключам с короткой ручкой, используемым бенчрестерами при установке или замене стволов. Эти ключи не позволяют развить хороший крутящий момент для придания достаточного осевого предварительного натяга при применении стандартных смазок. Увеличение осевого предварительного натяга при использовании тефлоновой ленты в качестве смазки позволяет уменьшить тенденцию соединения ствола к подвижности. Использование тефлоновой ленты при том же прилагаемом крутящем моменте позволяет более чем вдвое повысить осевой предварительный натяг.

Глава 7

Дульный выхлоп

Более тридцати лет назад мой друг (Эд Кэйв) и я стали лагерем в горной низине, поросшей высокой зеленой травой. Зеленая трава – приятная неожиданность в этой части света (Нью Мехико). Я решил пострелять по удаленной цели на склоне горы. Я сел и произвел несколько выстрелов поверх травы. Мой друг стоял позади меня, и когда я закончил стрелять, он сказал: «Что-то забавное происходит – иногда я не вижу дульного выхлопа на траве, иногда он появляется справа или слева, а иногда и прямо перед тобой.» Тогда я стандартно ответил «А-га» и продолжил стрельбу, хотя знал, что этот парень был очень зорким наблюдателем. Тогда я попросил его сделать несколько выстрелов, чтобы я мог наблюдать, и в итоге убедился, что он был прав. Было великолепно видно, что направление дульного выхлопа изменяется от выстрела к выстрелу. Этот опыт не давал мне покоя годами, и я решил повторить «травяной» эксперимент на более профессиональном уровне, и попытаться получить какие-нибудь приличные данные. Ввиду того, что я являюсь старым аэродинамиком, я решил использовать «Старый Трюк Аэродинамиком». Раньше в старые добрые времена, когда мы не могли точно сказать, что будет происходить в той или иной проблеме обдува воздушными потоками, мы использовали закрепляемые на крыле или чем-то другом штуки, называемые пучками, и они позволяли нам сказать, куда дует поток. Эти пучки делались из шерстяных нитей двух- или трехдюймовой длины. Они принимали направление местных воздушных потоков и очень помогали в прогнозировании аэродинамических проблем. Иногда требовались сотни пучков. Сейчас для моделирования воздушных потоков используются компьютеры, которые обычно справляются с



этой задачей лучше. Я решил применить старую «пучковую» технологию к решению проблемы дульного выхлопа, потому что это просто, дешево, и мы сможем сфотографировать результаты.

Рисунок 7-1 – Диаграмма поля истечения дульного выхлопа, показывающая основные составляющие.



Рисунок 7-2 – Фотография пучкового экрана, демонстрирующая расположенный по центру дульный выхлоп. Экран – квадрат 4 на 4 фута, расположенный на расстоянии 18 футов от дульного среза. Круговой узор вокруг удара струи по центру получается в результате воздействия кольцевого круга завихрения, похожего на кольцо табачного дыма.

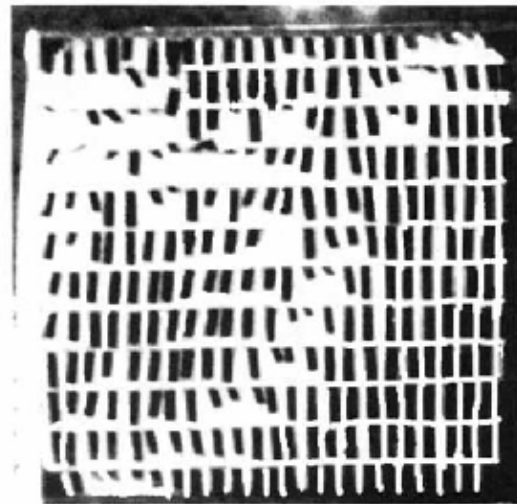


Рисунок 7-3 – Фотография пучкового экрана, на котором дульная струя отклонилась вверх и влево. Сегмент кольца завихрения растянулся снизу слева наверх вправо.

Пучковый экран

Квадратный экран размером 4х4 фута состоит из деревянной рамки сечением 1х6 дюйма с закрепленной спереди проволочной сеткой с размером ячейки 2х4 дюйма. Сзади закреплен белый лист для повышения фотографического контраста. Пучки сделаны из черной бумаги 1-дюймовой ширины. Они закрепляются на проволочной сетке путем загиба вокруг проволоки и фиксируются скотчем. Пуля выстреливается через центр экрана, расположенного на расстоянии 18 футов перед дульным срезом, результат выстрела фотографируется Полароидом. Идея в том, что пучки останутся отклоненными назад от воздействия дульной струи и соответствующего поля истечения. Потом мы сможем определить расположение центра поля истечения дульного выхлопа, исследуя фотографию. На Рисунке 7-1 показана упрощенная схема поля истечения дульного выхлопа. Этот район истечения называется районом переходной баллистики от внутренней к внешней. Когда горячий газ под большим давлением покидает ствол, он расширяется и его течение становится сверхзвуковым. Когда газ расширяется, его скорость уменьшается до скорости звука (один Мах) и генерирует плотную ударную волну называемую диском Маха. Скорость струи в диске Маха приблизительно равна 4000 футов/сек, потому что при высокой температуре (~6000°F) и скорость звука выше. Это высокоскоростное течение генерирует кольцо завихрения, подобное кольцу табачного дыма, которые иногда делают курильщики. Ударная волна дульного выхлопа, которая производит громкий звук выстрела винтовки, продолжает расширяться и, в конце концов, становится слабой звуковой волной. Струя и кольцо завихрения продолжают двигаться на некоторой дистанции (как минимум 20 футов) и там, как мы видим, пробивают пучковый экран. Рисунок 7-2 демонстрирует фотографию, на которой дульная струя попала в центр пучкового экрана. Если вы присмотритесь, то увидите довольно округлую область вокруг центра экрана. Эта округлая область обусловлена кольцом завихрения, которое формируется вокруг струи в центре. На Рисунок

ке 7-3 показан случай, когда дульная струя попала в верхний левый угол экрана, а часть кольца завихрения хорошо видна растянувшейся снизу слева вверх направо. Это говорит о наличие угла в 6 градусов между струей и осью канала ствола. Следующий рисунок (Рисунок 7-4) показывает случай, когда и струя и кольцо завихрения полностью прошли мимо экрана, что требует угла отклонения дульной струи как минимум 12 градусов. Белый квадратик по центру являлся прицельной точкой, и в нем не было пучка. Использовались пули 270 калибра четырех марок, и все из них кроме одной марки показали большие углы отклонения дульной струи. Не попадание в экран часто было обычным результатом, что указывало на то, что мне нужен больший экран. Тем не менее, даже имевшийся размер экрана требовал 284 пучков, что было хлопотным делом. Возможно, было бы лучше производить высокоскоростную кино съемку каждого выстрела, а потом распечатывать кадры, соответствующие оптимальному времени. Тем не менее, я думаю, что результаты достаточно точны для того, чтобы сказать, что дульная струя не центрирована при применении некоторых пуль. Это подтверждает наблюдаемое мною и моим другом при стрельбе по верху травы много лет назад.

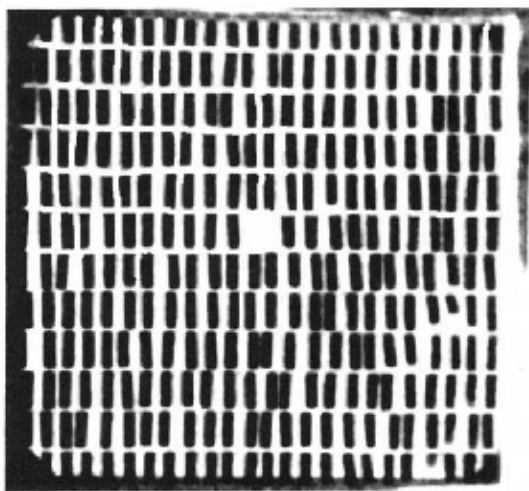


Рисунок 7-4 – Фотография пучкового экрана, демонстрирующая случай, когда дульный выхлоп полностью прошел мимо экрана.

Я заметил, что пучки не реагируют на ударные волны, генерируемые на дульном срезе ствола, а реагируют на струю, исходящую от дула, и кольцо завихрения, которые быстро теряют скорость. Единственной причиной, по которой я проводил этот эксперимент, было показать читателю, что дульный выхлоп может быть асимметричным относительно оси ствола на некоторой дистанции от дульного среза, потому что полученные данные бесполезны для предположения влияния данного явления на рассеивание. Но, прежде всего, определим, что же вызывает эту проблему.

Наклон пули внутри ствола

Единственной логичной причиной того, что ударная волна дульного выхлопа асимметрична относительно оси канала ствола, это наклон донца пули в момент ее вылета из ствола. Наиболее логичной причиной такого наклона донца является наклон пули еще в канале ствола. Я наблюдал неравные круговые следы от нарезов на стреляных артиллерийских снарядах, что подтверждает тот факт, что артиллерийские снаряды могут проходить через ствол наклоненными. Тем не менее, я не был склонен верить, что стандартная винтовочная пуля цилиндрической формы (смотри Рисунок 7-5) могут наклоняться внутри канала ствола. Так, я решил проверить несколько пуль калибра 270 с целью выявить присутствие в форме их поверхности дефектов, которые могут позволить им наклоняться в стволе.

геометрия тангентно-оживальной пули



Рисунок 7-5 – Рисунок, демонстрирующий геометрию оживально-касательной пули.

Было проверено несколько пуль разных производителей. Практически все из них имели коническую или оживальную форму хвостовой части вместо настоящей цилиндрической. Хвостовая часть – это часть пули от донца до того места, где оживальная часть начинает сужаться. Коническая или суживающаяся хвостовая часть обычно будет позволять пуле идти по стволу с наклоном. На многих пулях оживальная форма продолжается до самого донца и цилиндрическая хвостовая часть вообще отсутствует. Я думаю, что производитель делает такую форму пули, чтобы облегчить процесс ее извлечения из формовочного пресса. Сделав несколько пуль, я могу гарантировать вам, что извлечение пули из формовочного пресса может быть очень затруднительным, и легкий конус на хвостовой части может серьезно облегчить задачу. Рисунок 7-6 – это фотография зажатой между параллельными губками штангенциркуля пули Hollow Point калибра 270. Можно заметить, что хвостовая часть начинает сужаться к меньшему диаметру сразу же от передней части донца пули. На Рисунке 7-7 показана фотография 130 грановой пули Bronze Point калибра 270 производства Ремингтон, которая имеет настоящую цилиндрическую хвостовую часть длиной около 1,2 калибра. К сожалению, эта пуля имеет канелюрную канавку, которая уменьшает длину цилиндрического хвостовика. Это также уменьшает баллистический коэффициент и может вызывать разбалансировку пули. Надо отметить, что 90 и 100 грановые пули калибра 270 не могут иметь длину цилиндрической хвостовой части больше, чем 1,5 калибра, иначе их нос будет слишком тупой. Понятно, что если мы выстрелим изображенную на Рисунке 7-6 пулю из гладкого ствола, она пойдет наклоненной. Тем не менее, боковые поверхности пули придут в контакт с полями нарезов на расстоянии 1,5 калибров перед донцем пули, несмотря на конический хвостовик, что должно помочь стабилизировать пулю и предохранить ее от наклона. Итак, вполне возможно, что пуля не будет наклоненной в стволе, даже несмотря на конусность хвостовой части. Единственный путь удостовериться в том, что наклон пули ведет к возникновению асимметрии дульного выхлопа, я вижу в сборе нескольких отстрелянных пуль и их последующем изучении.

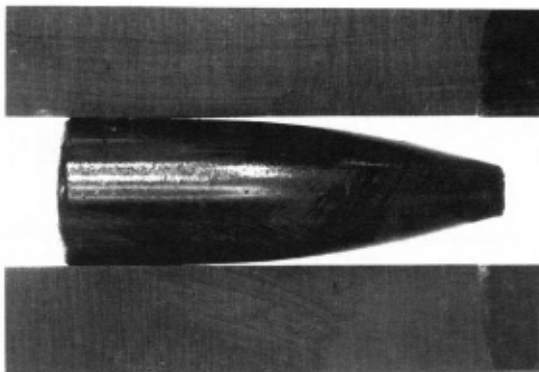


Рисунок 7-6 – Фотография 90 грановой пули 270HP, находящейся между параллельными губками штангенциркуля, показывающая конический хвостовик.

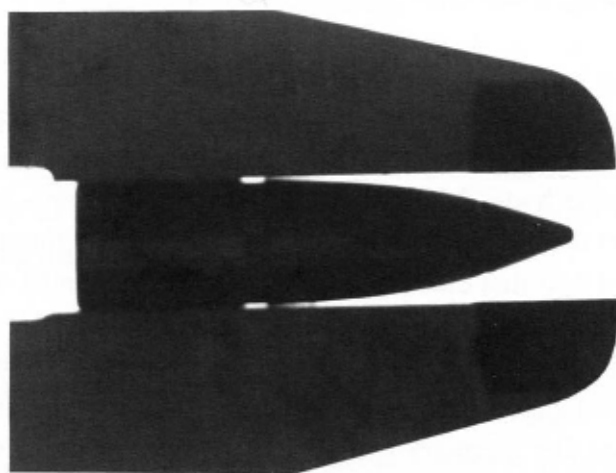


Рисунок 7-7 – Фотография 130-грановой пули Bronze Point калибра 270 производства Ремингтон между параллельными губками штангенциркуля. Показана параллельность сторон цилиндрического хвостовика.

конец следа от нареза

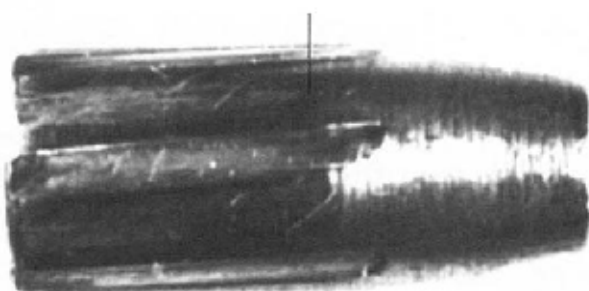


Рисунок 7-8 – Фотография стреляной 90-грановой пули 270НР, показывающая царапину треугольной формы на боковой поверхности пули между следами от нарезов, которая может быть измерена для определения наклона пули.

Сбор стреляных пуль

Получение стреляных пуль неповрежденными при больших скоростях очень трудоемко, поэтому я решил отрезать им носики (Рисунок 7-8). Это увеличивает коэффициент сопротивления в 2,5 раза и помогает снизить их скорость. Расчетная скорость на 300 ярдах была определена в 1400 футов/сек. На этом расстоянии я поставил фанерный ящик квадратного сечения 1,5х1,5 фута и длиной 4 фута, заполненный сосновыми опилками. 90-грановая пуля 270 НР, которая стала весить 86 гранов после отрезания носика, прошла около 3,5 футов через опилки и была получена с хорошим сохранением поверхности. Это больше, чем я ожидал (2 фута), возможно из-за плотности опилок (13 фунтов на кубический фут), которая была меньше ожидаемой (20 фунтов на кубический фут). 130-грановая пуля прошла ящик насквозь и не была подобрана для изучения. Если вы хотите подобрать более тяжелую стреляную пулю менее чем на четырех футах, высверлите немного свинца из ее носика для уменьшения веса ниже 90 гранов, используйте коробку большей длины, или подберите ее на большем расстоянии. Могут возникнуть проблемы с регулировкой прицела на больших расстояниях для корректировки падения пули. В данном случае корректировка составила 31 дюйм, что было заранее рассчитано и подтверждено на практике. Данный вес может быть масштабирован по поперечной плотности для других калибров.

Угол наклона пули может быть определен на собранной стрелянной пуле путем измерения разницы в длине следов нарезов на противоположных сторонах рубашки. Была выведена простая формула для приблизительного подсчета угла наклона.

$$\text{Угол наклона} = 28,65 * L / R_o, \text{ градусов}$$

где L – разница в длине следов нарезов, дюймов

R_0 – радиус оживала носика пули (от 1,2 до 1,5 дюйма)

Собранные стрелянные 90 грановые пули были измерены и L находилось в пределах от 10 до 20 миллидюймов (милов). Это означает, что угол наклона находился в пределах от 0,24 до 0,48 градусов для R_0 в 1,2 дюйма. Это хорошо согласуется с измеренным углом хвостовой части, полученного из Рисунка 7-6. итак, конический хвостовик может вызывать наклон пули внутри ствола в пределах 0,5 градуса. Я определил, что лучшим методом определения L было измерение длину царапины в том месте, где бок пули контактирует с канавкой между полями нарезов. Эта царапина, которая приблизительно треугольной формы, может быть рассмотрена на Рисунке 7-8. Это трудно сфотографировать и еще труднее рассмотреть. Треугольная форма получается из-за конуса в хвостовой части.

Возможно, что этот метод определения наклона пули дает погрешность почти в два раза. Пуля может стартовать в пультном входе в не наклоненном состоянии, что приводит к равенству следов от нарезов вначале. Пуля может потом наклониться внутри ствола, когда достигается максимальное давление. Это будет удлинять следы от нарезов на одной стороне, но не будет их укорачивать на противоположной. То же самое происходит с царапинами от дна нарезов. В общем, вы не можете быть уверены, что вы измерили максимальный угол наклона на стреляной пуле, но я не знаю лучшего способа сделать это.

Теперь мы знаем, что пули могут наклоняться внутри ствола в результате сужения хвостовика. Но насколько большое рассеивание это может вызвать?

Разброс наклона донца пули

Для того, чтобы смоделировать влияние наклона пули на рассеивание я решил прибегнуть к «Старому Трюку Инженеров». Проще говоря, это означает, что если у вас есть маленькая ошибка, которую трудно измерить, увеличьте ее так, чтобы ее можно было померить. При этом методе вы должны быть очень осторожны, чтобы не нарушить чего-то другого. Для осуществления этого трюка я подпилил донце пули под углом два градуса, а потом просверлил отверстие в длинной стороне пули для компенсации увода центра тяжести (ЦТ).



Рисунок 7-9 – Пуля слева имеет подточное на угол 2 градуса донце по сравнению с нормальной пулей справа. Маленькое отверстие в левой части донца модифицированной пули компенсирует асимметрию масс, возникшую в результате скашивания донца. Донца обеих пуль покоятся на стеклянной плите. Заметьте, что модифицированная пуля слева прислонилась к нормальной пуле справа.

Эта модификация видна на Рисунке 7-9. Угол донца в 2 градуса почти в 4 раза превышает максимальное значение наклона пули, измеренное мною. Это требует снятия приблизительно 10 милов с оболочки донней части пули с короткой стороны. Так как толщина оболочки пули в донней части составляет около 25 милов, угол в 2 градуса, пожалуй, является максимальным углом, который может выдержать пуля. Большой угол может привести такое утоньшение оболочки пули, что возникнет реальная опасность прорыва свинцового сердечника через оболочку в процессе выстрела. При этом оболочка может заклинить в стволе, что является очень опасным положением. Также важно использовать пули с относительно острыми углами на донце, так как при этом уменьшается количество снимаемого с оболочки на донце пули материала. По этой причине для эксперимента были выбраны 100-грановые пули 270 калибра с мягким носиком (полуоболочечные). Суть эксперимента – отстрел четырех 3-патронных групп с асимметрией донца пуль, направленных вверх, вниз и налево относительно дульного среза ствола. Если вы захотите провести такой тест, необходимо удалить выбрасыватель и отражатель из затвора, и использовать гильзы с зеркальным зазором как минимум 5 милов. Иначе затвор будет поворачивать патрон, и чистота эксперимента нарушится. Гильзы выбивайте шомполом, и каждый раз при зарядании нового патрона убедитесь, что гильза предыдущего удалена! Хорошей идеей является проверка канала ствола на предмет отсутствия посторонних предметов каждый раз перед зарядкой очередного боевого патрона. Единственным методом установки гильз под правильным углом поворота я вижу нанесение риски на шляпку гильзы. Риска поворачивается до правильной позиции, потом патрон проталкивается в патронник пальцем до упора. Это не просто, но это было сделано. В результате эксперимента получены четыре отчетливые группы, отстоящие приблизительно на 90 градусов друг от друга, что дает нам достаточно точную информацию о том, как работает асимметрия донца пули. Результаты теста показаны на Рисунке 7-10. Математические центры групп (Средние Точки Попаданий – прим. перев.) обозначены квадратиками, ориентации коротких сторон пуль также указаны. Пули отклоняются в сторону короткой части, если не принимать во внимание гироскопического эффекта. Вы можете видеть, что группы повернуты по часовой стрелке где-то на 30 и 60 градусов. Это означает, что в полет пули на расстоянии после 6 или более калибров от дульного среза вносилось возмущение, что и ожидалось. Шмидт и несколько его сотрудников из Лаборатории Баллистических Исследований Армии США (Ссылки 4 и 5) показали, что пуля подвергается влиянию дульного выхлопа на расстоянии около 15 – 20 калибров. Имеющее наибольшее влияние повышенное давление присутствует намного ближе к дульному срезу. Почему поворот групп не постоянен, не известно. Тем не менее, присутствуют другие эффекты, такие как ошибка в пометке патронов, разбалансировка пуль, статистическая ошибка 3-х патронной группы и другие эффекты, позволяют просто объяснить вариации угла поворота групп.

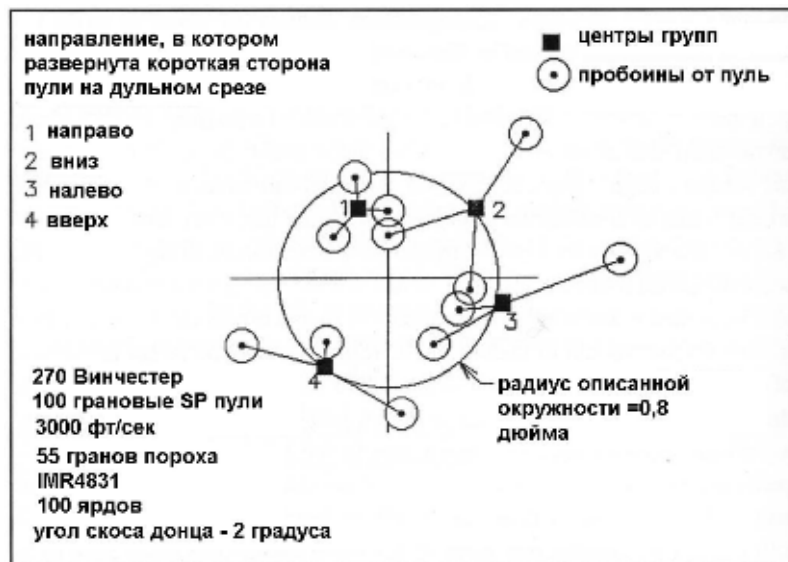


Рисунок 7-10 – Распечатка мишени, показывающая результаты отстрела четырех 3-х патронных групп калибра 270 со скошенными донцами пуль. Скосы пуль расположены по окружности через 90 градусов. Квадратики обозначают средние точки попаданий в группах. Радиус описанной окружности (радиус рассеивания) составляет 0,8 дюйма.

Интересным открытием было то, что радиус рассеивания получился равным 0,8 дюйма при угле скоса донца пули в 2 градуса. Это означает, что при максимальном измеренном угле наклона пули в 0,5 градуса мы будем иметь обусловленный этим размер групп в пределах 0,4 дюйма, если другие источники ошибки устранены. Даже несмотря на то, что это относительно грубый эксперимент, я думаю, он показывает, что наклон пули приводит к рассеиванию. Таким образом, наклон пули является серьезным источником рассеивания, даже несмотря на то, что это рассеивание намного меньше, чем от других источников.

После годичной работы над этой проблемой я оказался в состоянии провести такой же тест на рэйлгане калибра 6 мм BR. Тест проводился на туннельном стрельбище, исключая ветровые эффекты. Задействованное оборудование упоминалось в Главе 4 и детально описано в Приложениях Е и F. Результаты тестов на рэйлгане с пулями, донца которых подпилены под углом 2 градуса, приведены на Рисунке 7-11. Вы можете видеть, что результаты сходные с результатами на 270 калибре, за исключением меньшего радиуса рассеивания (0,64 по сравнению с 0,8).

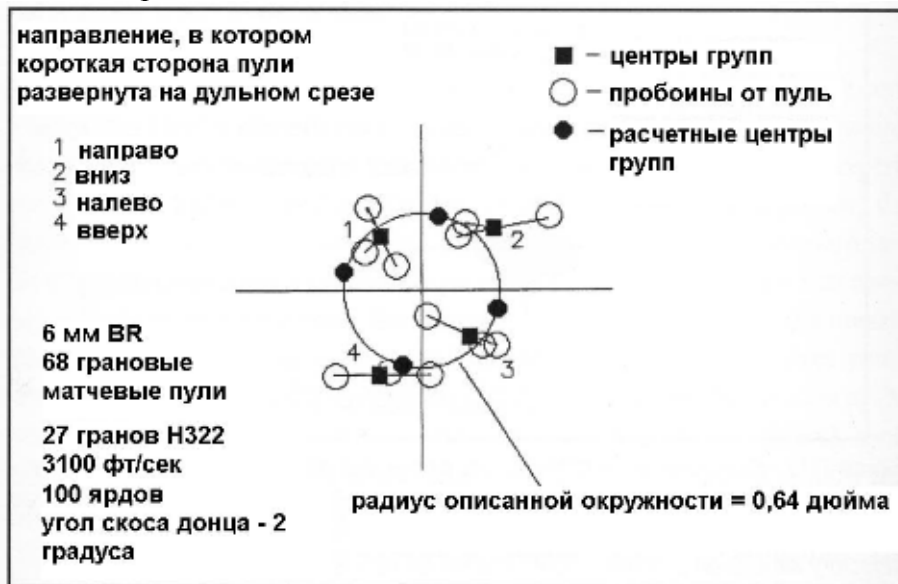


Рисунок 7-11 – Распечатка мишени, показывающая результаты отстрела четырех 3-х патронных групп калибра 6 мм BR со скошенными на 2 градуса донцами пуль. Скосы пуль расположены по окружности через 90 градусов. Радиус рассеивания составил 0,64 дюйма, что предварительно рассчитано теоретически (зачерненные кружки).

Тот факт, что радиус рассеивания был меньше, говорит о том, что, возможно, давление дульного выхлопа для 6BR меньше. Мы измерим влияние различных порохов на давление дульного выхлопа позже в этой главе.

Тест с наклоненными пулями

В то время, как тест со скошенными донцами пуль имел целью определить, действует ли дульный выхлоп вообще, я решил проверить реальный случай, где вся пуля наклонена в стволе. На калибре 6BR я экспериментировал, устанавливая пулю под углом 0,215 градуса в дульце гильзы и размещая патроны по углу поворота таким же образом, как и ранее. В результате получилась группа, похожая на четырехлепестковый клевер, показанная на Рисунке 7-12. радиус рассеивания, показанный описанной окружностью, составил 0,196 дюйма. Теоретическое значение, рассчитанное на компьютерной программе расчета траектории, было чуть больше и составило 0,243 дюйма. Теоретически было предсказано

вращение групп по часовой стрелке на 70 градусов. Существует два объяснения того, почему практическое значение оказалось чуть меньше теоретического.



Рисунок 7-12 – Отсканированное на компьютере изображение мишени, на которой показан результат отстрела 4 групп по 4 патрона в каждой, где пули наклонены на 0,215 градуса в гильзах. Пули размещались с интервалом в 90 градусов по окружности. Радиус рассеивания в 0,196 дюйма наложен на мишень. Программа расчета траектории показала радиус рассеивания в 0,243 дюйма.

Пуля слегка выравнивается при попадании в пульный вход, или Центр Тяжести (ЦТ) может быть чуть дальше от стороны, сильнее контактирующей с каналом ствола. Пуля могла быть вытолкнута в сторону лишь на 0,05 мила, что могло вызвать смещение ЦТ, достаточное для объяснения различия между теорией и экспериментом. Обе или одна из этих причин физически объяснимы и вполне могли случиться. Важно осознать, что наклон пули всего на 0,2 градуса приводит к рассеиванию с радиусом в 0,2 дюйма. Это намного большее влияние, чем я мог ожидать от теста с наклоном пули. Обратите внимание, что радиус рассеивания для наклоненной пули составляет 1 дюйм на градус наклона, в то время, как для скошенного донца пули лишь 0,32 дюйма на градус. Я думал, что чувствительность к обоим видам ошибки будет приблизительно одинаковой, но оказалось, что нет. Другой вещью, которую я заметил, является то, что вы должны слегка отодвигать наклоненные пули от полей нарезов, иначе несоосность пули уменьшается. Вначале я пробовал экспериментировать с наклоненными пулями, контактирующими с полями нарезов, и радиус рассеивания был лишь 0,15 дюйма. Тест, показанный на Рисунке 7-12 проводился с пулями, отстоявшими от полей нарезов на 30 мил. Большинство бенчрест стрелков заглубляют пулю в нарезы на 10-20 дюймов. Это может помочь уменьшить наклон пули в дульце гильзы. Результаты теста с наклоненными пулями показывают, что наклон пули на 0,1 градус приводит к отклонению пули приблизительно на 0,1 дюйм на 100 ярдов.

Физика дульного выхлопа

После более чем годичной работы над проблемой дульного выхлопа я все еще не был уверен, что узнал об этом все. Я предположил, что наклон пули вызывает асимметрию дульного выхлопа, которую я наблюдал при экспериментах с пучковым экраном. Я также предположил, что асимметрия дульного выхлопа смещает пулю с исходного направления. Я показал, к чему приводит наклон пули и продемонстрировал его влияние на рассеивание. Тем не менее, я до сих пор не уверен, что наклон пули вызывает асимметрию дульного выхлопа. Итак, я решил сфотографировать модель струи дульного выхлопа используя искровую тенеграфию. Эта техника позволяет сфотографировать тень от струи дульного

выхлопа. Полное описание метода приведено в Приложении G. А если коротко, то вы используете мощный (10кВ), с короткой длительностью (0,4 микросекунды) точечный источник вспышки, который создает изображение тени либо на пленке (12"x18" литографическая пленка) или на белом экране. Изображение на белом экране может быть сфотографировано Полароидом. Световые лучи поглощаются твердыми материалами (пуля, дым) и искривляются градиентами плотности, такими, как ударная волна. Было сделано около 100 снимков с Полароида и около 40 литографий, демонстрирующих пулю на различных расстояниях от дульного среза ствола. Район струи между моментом выхода пули из ствола и прохождением волны выхлопа называется районом переходной баллистики между внутренней и внешней баллистикой. Данные теневой фотографии были получены на рэйлгане под патрон 6 мм BR.

Рисунок 7-13 демонстрирует предшествующую сферическую ударную волну, формируемую сжимающимся воздухом распространяющуюся перед пулей. Пуля находится в стволе на расстоянии около трех дюймов до дульного среза. Рисунок 7-14 (0 мсек) показывает пулю только показавшуюся из ствола, предшествующая волна все еще перед пулей. Одна мсек (микросекунда) – одна миллионная доля секунды. Рисунок 7-15 (11 мсек) показывает вырывающиеся за донцем пули газы, в момент, когда пуля вылетела приблизительно на одну свою длину из ствола. Рисунок 7-16 (56 мсек) показывает пулю, вылетевшую на 2,5 своих длины (около 12 калибров), и на половине этой дистанции находится то, что называется диском Маха. Если присмотреться внимательно, то заметна темная вертикальная линия возле донца пули. Это обычная ударная волна, обусловленная тем фактом, что поток газа быстрее, чем пуля (обратный поток). Там также присутствуют ударные волны, испускаемые кромками ствола, обусловленные расширением струи, а также вы можете видеть коническую ударную волну, формируемую носиком пули. На Рисунке 7-17 (90 мсек) показана пуля в процессе прохода основной волны выхлопа и начало преодоления предшествующей волны. Если вы посмотрите на верхнюю часть основной волны выхлопа, то можете увидеть несгоревшие частички пороха, которые слегка пробивают волну выхлопа. На следующей фотографии, Рисунок 7-18 (142 мсек), пуля преодолела волну выхлопа, объединившуюся с предшествующей волной, и покинула зону дульного выхлопа.

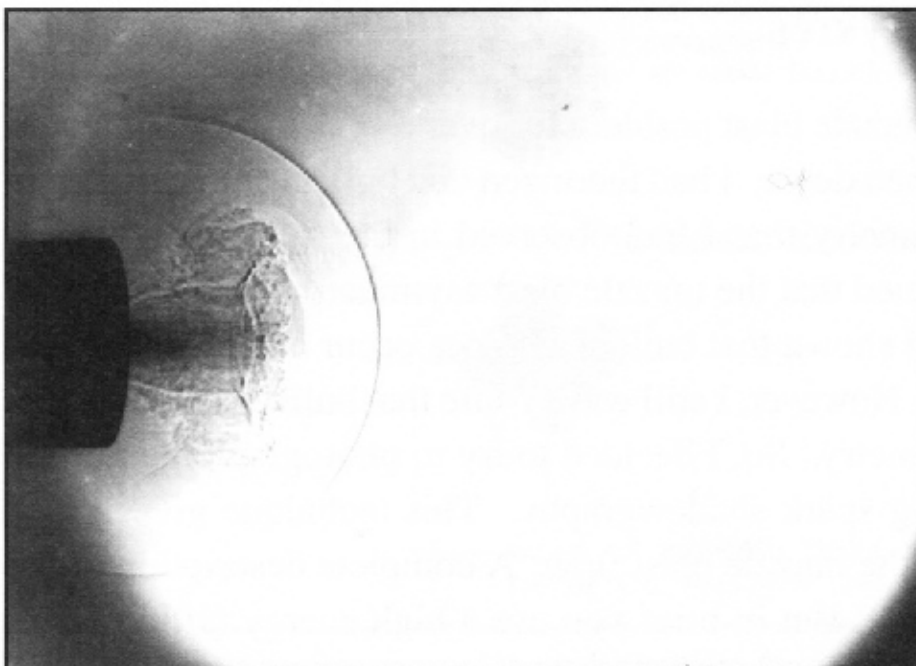


Рисунок 7-13 – Теневая фотография, показывающая сферическую предшествующую ударную волну, расходящуюся от дульного среза. Она формируется сжимающимся воздухом и газами перед пулей. Пуля почти на три дюйма находится внутри ствола.

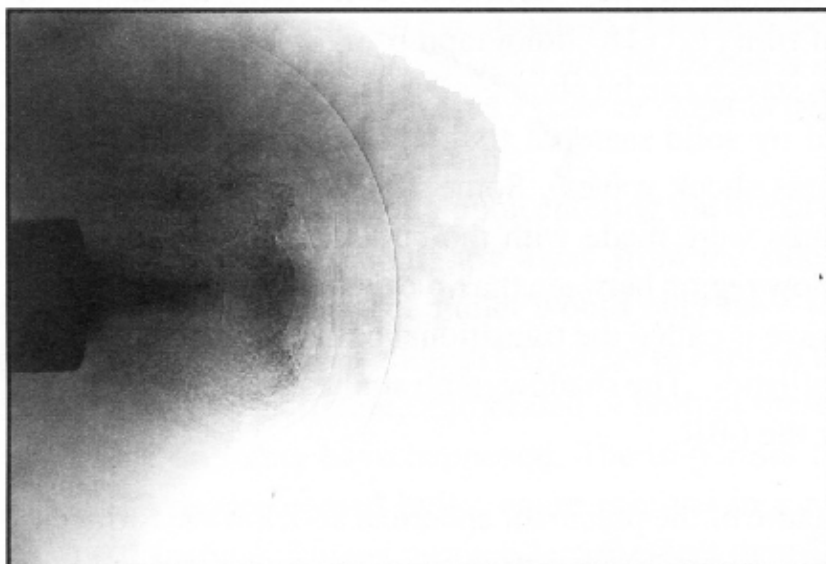


Рисунок 7-14 – Теневая фотография пули только показавшейся из ствола (0 μ сек).

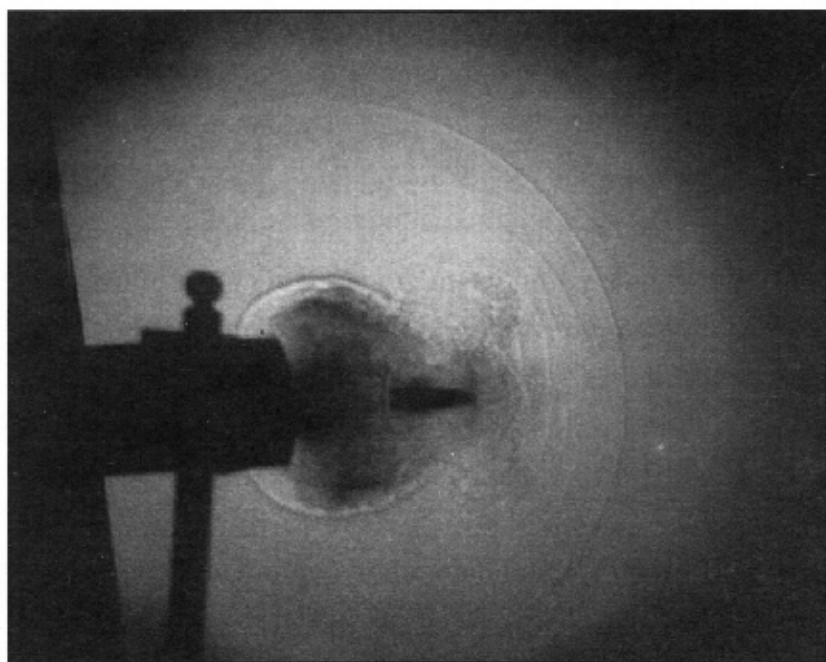


Рисунок 7-15 - Теневая фотография, где донце пули находится на расстоянии около одной длины пули (около 0,86 дюйма) от дульного среза. Сферическая волна выхлопа начинает формироваться вокруг темного облака дыма на 20 μ сек. Давление на донце пули около 4000 psi.

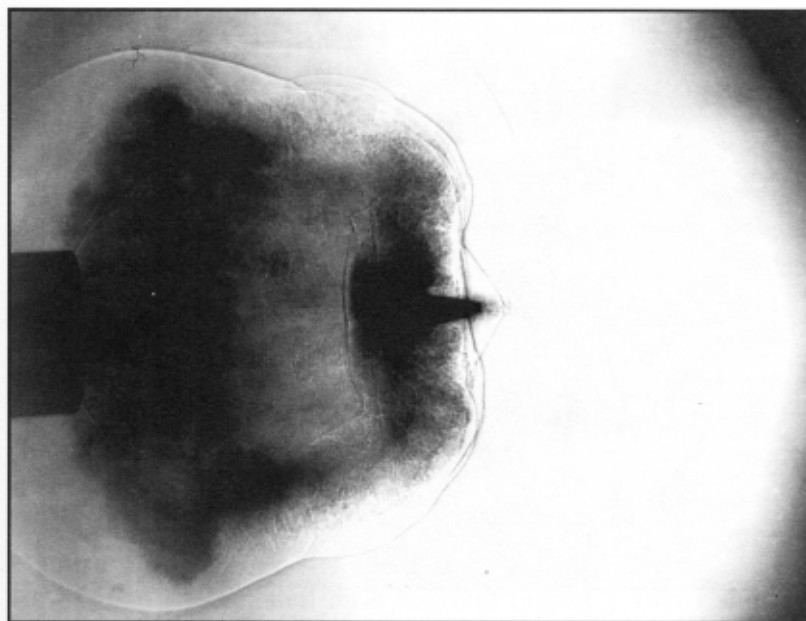


Рисунок 7-16 – Теневая фотография, где донце пули находится на расстоянии 2,5 длины пули от дульного среза на 56 μ сек. В этот момент давление, действующее на донце пули упало до нескольких сотен psi. Видна нормальная ударная волна от обратного потока на донце пули и стреловидная волна на носике пули.

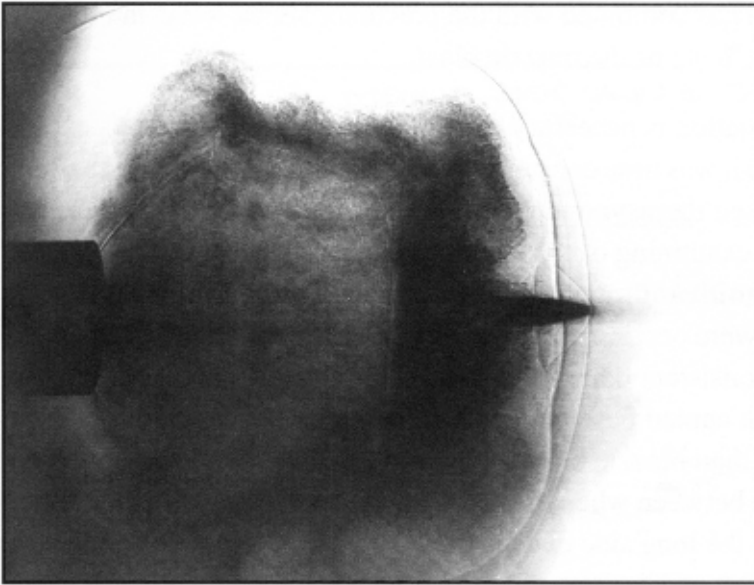


Рисунок 7-17 – Теневая фотография пули, пробивающей основную волну выхлопа и начинающей пробивать предшествующую волну на 90 псек. Основная волна догоняет предшествующую. Пуля находится вне зоны существенного влияния дульной струи. Видны крошечные частички несгоревшего пороха, старающиеся пересечь волну выхлопа над пулей.

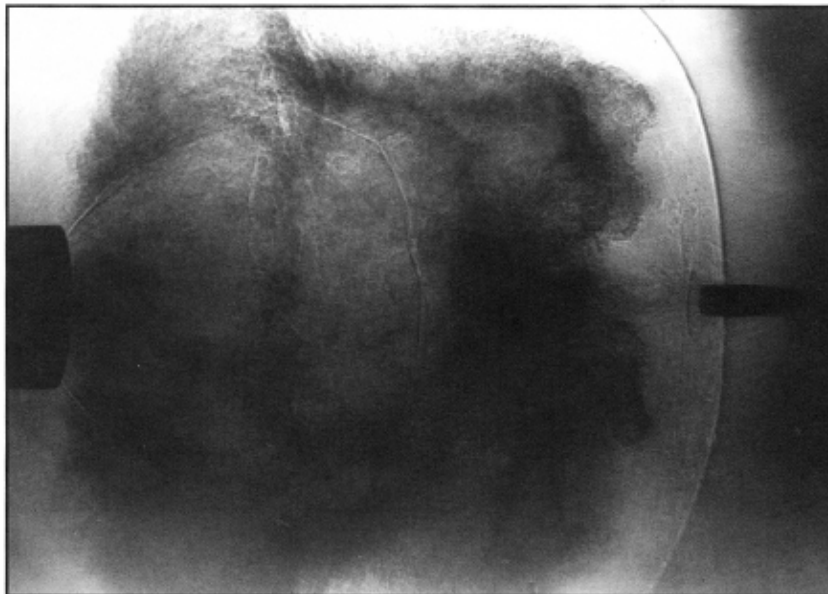


Рисунок 7-18 – Теневая фотография на 142 псек, где пуля пробила объединившиеся и основную и предшествующую волны. Видна слабая стреловидная волна на носике пули.

Теперь необходимо несколько объяснений. Вначале я решил провести этот эксперимент даже несмотря на большое затрачиваемое время (10 месяцев) и финансовые затраты (1000\$), чтобы увидеть воочию асимметрию дульного выхлопа, которую я надеялся наблюдать. После изучения более 100 изображений, большинство из которых с наклоненными пулями, **я не увидел никакого существенного явления асимметрии дульного выхлопа, ожидаемого мною!** В то время как появлялись случайные местные искажения ударной волны, не было закономерных, четких явлений. Это означало, что рассеивание, наблюдаемое в тестах как с наклоненными пулями, так и со скошенными донцами пуль получались в результате действия причин, отличных от асимметрии дульного выхлопа. Если подумать, то время, проходящее от момента выхода из ствола короткой стороны пули до выхода длинной составляет лишь 0,2 псек. Ничего существенного не может случиться за такой промежуток времени. Другой вещью, которая происходит, является то, что сферическая ударная волна держится в форме, похожей на мыльный пузырь, стараясь сохранять симметричную сферическую поверхность.

Итак, если опыты с пучковым экраном показали наличие асимметрии дульного выхлопа, почему мы не наблюдаем этого на теневой фотографии? Струя газа не стабильна и, возможно, кольцо завихрения, формируемое вокруг струи, не всегда симметрично располо-

жено. Кроме того, кольцо завихрения, подобно кольцу табачного дыма, может смещаться ветром. В любом случае, результаты опытов с пучковым экраном, подвигнувшие меня на эту работу, были обманчивы. Единственным методом проанализировать данные по рассеиванию от скошенного донца пули и от наклона пули было использование компьютерной программы 6DOF по расчету параметров траектории (см. Главу 10), и посмотреть, что она скажет нам о причинах рассеивания.

Теоретический анализ

На Рисунке 7-19 показаны два метода проведения эксперимента. Рисунок 7-19А демонстрирует случай теста со скошенным донцем пули, а Рисунок 7-19В показывает случай, когда вся пуля наклонена (то есть реальный случай). В случае со скошенным донцем вектор силы, действующей на донце в результате давления дульного выхлопа, показан стрелкой, перпендикулярной донцу. Давление может действовать только перпендикулярно к поверхности. Эта сила относительно ЦТ производит момент, отклоняющий нос пули вверх. Позже мы измерим давление дульного выхлопа (5000 psi для калибра 6BR), поэтому мы можем посчитать силу.

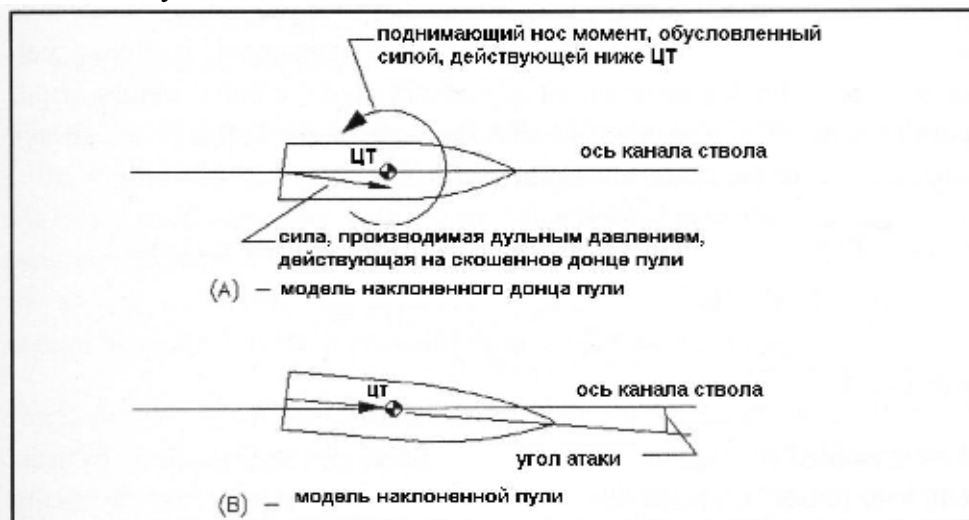


Рисунок 7-19 – Рисунок, показывающий физическую модель воздействия дульного выхлопа на пулю со скошенным донцем и на наклоненную пулю. Выполнение компьютерной программы 6DOF по расчету траектории пули, дало радиус рассеивания, точно согласующийся с экспериментальным.

Из других имевшихся данных (Ссылки 4 и 20) было ясно, что как только донце пули преодолевает диск Маха, давление на донце становится очень малым, и им можно пренебречь. Из теневой фотографии мы можем определить время от момента появления пули до преодоления диска Маха – около 50 мксек (8 калибров). Теперь мы знаем, что давление дульного выхлопа падает с 5000 до 150 psi за 50 мксек для калибра 6BR, но мы не знаем, по какому закону оно падает. У меня были данные, по которым давление спадает по экспоненциальной зависимости, и такое же предположение взято при написании компьютерной программы 6DOF. Когда я запустил компьютерную программу, она выдала значение радиуса рассеивания для 6BR около 0,64 дюйма. Если вы сравните это с Рисунком 7-11, то увидите, что теория согласуется с экспериментальным значением 0,64 дюйма. Я запустил программу для калибра 270 с величиной давления дульного выхлопа в 11500 psi и получил радиус рассеивания в 0,85 дюйма. Вы можете видеть, что экспериментальный радиус рассеивания для 270-го на Рисунке 7-10 был 0,8 дюйма, поэтому теория хорошо согласуется с экспериментом как для 270-го, так и для 6 мм.

Таким образом, я думаю, что теперь мы выяснили влияние давления дульного выхлопа на наклоненные пули. Наклон пули в канале ствола в той или иной степени присутствует всегда. Факторами, определяющими наклон пули, являются конусность хвостовой части пули, длина цилиндрической части и насколько пуля центрирована относительно оси канала ствола перед выстрелом. Факторами, влияющими на то, насколько хорошо пуля отцентрирована по оси канала ствола, являются: степень наклона дульца гильзы; насколько пуля наклонена в заряженном патроне; насколько ось патронника согласована с осью канала ствола; степень асимметрии пульного входа; глубина посадки пули в нарезы. Также не исключен случай не перпендикулярности донца пули ее продольной оси.

Итак, как мы можем минимизировать ошибку, обусловленную давлением дульного выхлопа?

Пули с измененным размером

Впервые я столкнулся с методом изменения размеров (переобжимки) коммерческих пуль абсолютно случайно в конце 60 годов. У меня был Ремингтон 721 под патрон 300 Везерби, который давал пятипатронные группы размером 2,5 дюйма на 300 ярдов. Потом я собрал подобную винтовку под патрон 270 Магнум, в котором использовалась гильза 270 Везерби с прямыми плечами, винтовка давала только 3,5 дюйма на 300 ярдов. Я теоретизировал по поводу того, почему на 300-м я получал меньшие группы, чем на 270-м, что дало мне повод обжать пули калибра 270.

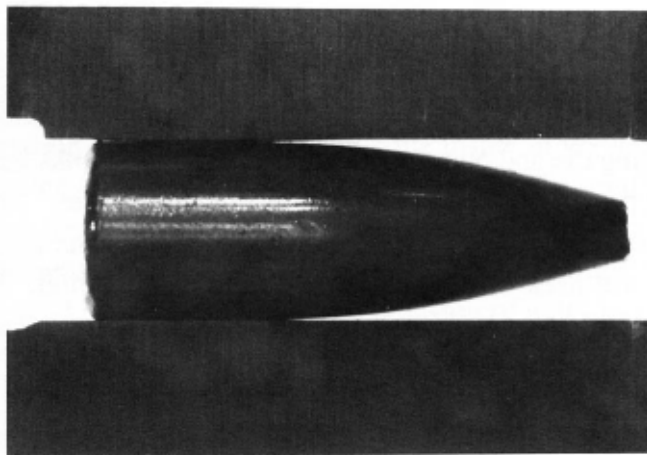


Рисунок 7-20 – Фотография 90-грановой пули HP калибра 270, обжатой с 0,2770 до 0,2765 дюйма в диаметре, находящейся между параллельными губками штангенциркуля. Сравнение с Рисунком 7-6 показывает, насколько обжимка пули увеличивает длину цилиндрической части хвостовика.

Я пробовал обжимать 270-е пули на 0.3, 0.5 и 0.7 мила. Я определил, что пули, обжатые на 0.5 и 0.7 мила уменьшают размер групп на 300 ярдах с 3,5 до 2,5 дюйма. И только недавно для меня стало понятным, что на самом деле это было влияние давления дульного выхлопа на наклон пули. Обжимка пуль 270 калибра помогает уменьшить наклон пуль. Видите ли, я использовал 180-грановые пули Ремингтон Bronze Point, которые имели длинные цилиндрические хвостовики, на калибре 300 Магнум, а на калибре 270 Магнум 150-грановые пули SP, имевшие конические хвостовики.

Влияние на длину цилиндрической части небольшой обжимки пули видно из Рисунка 7-20, где показана 90-грановая HP пуля, удерживаемая штангенциркулем. Сравнение с Рисунок 7-6 показывает, насколько обжимка пули увеличивает длину цилиндрической части хвостовика. Я также подобрал несколько стреляных 90-грановых HP пуль, на которых не было и следа наклона. Вспомните, что на подобранных стрелянных 90-грановых HP пулях мы видели признаки наклона.

Я попытался обжимать 6мм матчевые пули, но это не дало результата. Все 6мм матчевые пули трех штучных производителей пуль, которые я проверял, имеют вещь, называемую кольцо давления на донце пули. Прямо на донце пули находится узкое кольцо с диаметром на 0.3 – 0.6 мила превышающим диаметр калибра, в зависимости от производителя. Я не мог понять, в результате чего она получается – в результате чьей-то творческой идеи или это дефект производства. Я спросил Уолта Бергера, и он ответил, что это дефект производства и никто не может понять, как она получается. Тем не менее, пули стреляют хорошо, и поэтому они не хотят ничего исправлять. Случайно, изготовленные мною пули 270-го калибра с плоским донцем не имели кольца давления, и я подумал, что это происходит из-за согласования между матрицей для обжимки рубашки и заостряющей матрицей. Некоторые стрелки полагают, что кольцо давления обеспечивает лучшую обтюрацию, возможно это так. Тем не менее, я отметил, что сравнительно просто направить такую пулю не по центру, так как дульце гильзы удерживает только самую заднюю часть пули. Я не знаю, хорошо это или плохо. Такое кольцо давления может помочь пуле выровняться по пульному входу.

Асимметрия дульца гильзы

Я надеялся избежать затрагивания проблемы асимметрии дульца гильзы, даже несмотря на то, что стрелки бенчрест уделяют ее исправлению большое внимание. Их задача – иметь пулю, хорошо совмещенной с пульным входом и точно отцентрированной с каналом ствола. Иначе пуля может наклоняться при попадании в пульный вход. Если вы проверите несоответствие оси пули с осью гильзы на заводских патронах, вы сможете наблюдать до 6 мил эксцентриситета (полной измеренной несоосности), что очень много. Также можно измерить до ± 1 мила разнотолщинности стенок дульца гильзы, при обычной величине $\pm 0,5$ мила. Патронник экспериментальной винтовки калибра 270 имеет диаметр под дульце гильзы в 0,307 дюйма, а снаряженный патрон имеет диаметр по дульцу от 0,303 до 0,306, в зависимости от изготовителя гильзы. Средняя толщина стенки по дульцу варьируется от 13,0 до 14,5 мила от брэнда к брэндю. Это означает, что внешняя поверхность дульца может иметь эксцентриситет с гильзой до 2 мил. Если вы добавите сюда разнотолщинность в 1 мил, то возможное отклонение донца пули от центра составит как минимум 3 мила. Теперь, даже если пуля хорошо села по нарезам, она может быть наклонена на угол до 0,5 градуса. Похожие результаты были получены для калибра 6 мм Ремингтон. В общем, асимметрия дульца гильзы может влиять на наклон пули сильнее, чем форма поверхности пули, и если кто-то действительно пытается добиться хорошей точности, он должен устранить эту проблему.

В начале я попытался переформовывать внешнюю поверхность гильз, изготовив матрицу из двух частей. Одна часть держала тело гильзы и скаты, а вторая удерживала дульце. Матрица вращалась в токарном станке, в то время, как часть, державшая дульце, сдавливалась шаровым приспособлением. Это решение совсем себя не оправдало, даже в случае, когда дульца гильз предварительно отжигались. Потом я измерил дульца стреляных гильз и выяснил, что их внешние поверхности принимают нормальную форму. Это было неожиданно, но теперь у меня было хоть что-то концентричное, с чем можно было начинать работать. Затем я проточил дульца гильз изнутри, сняв столько материала, сколько было необходимо для обеспечения равнотолщинности стенок по дульцу. Гильзодержатель, удерживающий гильзу в цанге токарного станка, был изготовлен путем разворачивания патронника в цельном прутке. Потом он удерживался на развертке патронника, а его наружная поверхность обтачивалась до размера токарной цанги – $\frac{3}{4}$ дюйма. Потом внутренняя поверхность протачивается обычным резцом, причем гильза удерживается в вышеописанном приспособлении. На гильзах Ремингтон и Норма 270-го калибра обработка за-

вершалась при толщине стенок около 13 мил, что означает среднее уменьшение толщины стенок приблизительно в 1 мил. Следующим шагом была обжимка дульца до размера, лишь обеспечивающего удержание пули, с надеждой на то, что внутренняя поверхность гильзы останется по центру. Это работало намного лучше, чем я ожидал. Приблизительно 40% гильз обеспечивали нулевое биение заряженной пули, около 40% давали 0,5 мил, и 20% в пределах 1 мила и меньше. Это было существенным улучшением по сравнению с заводскими патронами. К сожалению, я не знаю способа проделать все это без соответствующего оборудования. Обжимка для дульца гильзы изготавливалась протачиванием тела приспособления до такого размера, чтобы тело гильзы плотно садилось в нее. Часть, обжимающая дульце, вскрывалась наждачной бумагой с 0,299 до 0,302 дюйма. Поэтому приспособление было прекрасно концентрично со шпинделем токарного станка. Стрелки бенчрест используют винтовки с патронниками уменьшенного диаметра, а дульца гильз должны быть проточены до зарядки патронов в патронник. Дульца гильз протачиваются до конечной толщины стенок в 8,5 мила, при этом разнотолщинность не превосходит значения 0,1 мила от гильзы к гильзе. Радиальный зазор между дульцем гильзы и дульцем патронника обычно составляет только 0,4...0,7 мила. Преимущество бенчрестерского метода в том, что гильзы подвергаются лишь небольшой обжимке. Недостатки в том, что допуски должны быть очень жестко проконтролированы, а также необходимость использования только модифицированных патронов.

Позже я нашел лучший способ уменьшения биения пули, которое может хорошо работать долгое время. Вначале, я обрабатываю внутреннюю поверхность дульца стреляной гильзы для придания ей равнотолщинности таким же образом, как и ранее. Затем я использую старую головку для изготовления нарезов и изготавливаю шесть прямых нарезных канавок на приспособлении для обжимки дульца гильзы. Глубина канавок регулируется таким образом, чтобы дульце обжатой гильзы плотно садилось по дульцу патронника.

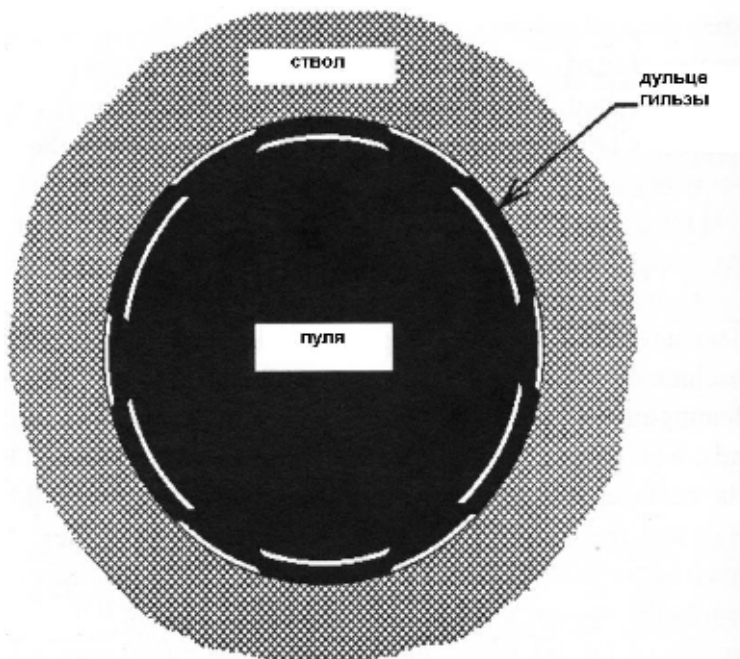


Рисунок 7-21 – Разрез ствола, показывающий как гильза с волнистым дульцем удерживает пулю отцентрированной по стволу. Гильза с волнистым дульцем изготавливается прежде всего обработкой внутренней поверхности дульца для придания ей равнотолщинности, а потом обжимкой на приспособлении, сделанном путем изготовления нарезов на части, обжимающей дульце гильзы.

В результате обжимки на приспособлении, получаются гильзы, дульца которых имеют волнистую форму. Разрез патронника, дульца гильзы и пули показаны на Рисунке 7-21. Радиальный зазор между дульцем гильзы и дульцем патронника составляет всего несколько десятых мила. Вы видите, что в итоге пуля становится точно по центру ствола, потому что если дульце гильзы концентрично со стволом, то пуле больше просто некуда деться. Когда я проверил биение пули в заряженном патроне, то оказалось, что большин-

ство пуль находится в пределах нескольких десятых миля, при худшем случае в 2 миля. Это намного лучше, чем если не делать ничего. Теперь я осознаю, что не у каждого есть точный токарный станок с цангами, и не у всех есть головка для изготовления нарезов поблизости. Тем не менее, я надеюсь, что производители смогут придумать что-то более дешевое для производства такой работы. В конце концов, они уже делают подобное оборудование для бенчрестеров. Преимуществом данного метода является то, что вы не задумываетесь об обеспечении плотной посадки гильзы по патроннику, как при обычном бенчрест методе. Вы также можете работать со стандартным патронником, таким как в экспериментальной винтовке. Тем не менее, вам может понадобиться производить герметизацию крошечных зазоров между пулей и дульцем гильзы для исключения попадания влаги через них, если вы собираетесь хранить заряженные патроны длительный период времени. Некоторые люди переживают, что газы будут прорываться через эти крошечные зазоры. Я не думаю, что это проблема, потому что лишь очень малое количество газов может проходить через такие маленькие радиальные зазоры (т.е. 1,5...2 миля). Фактически это может оказаться преимуществом, потому что частицы несгоревшего пороха могут выдуваться между выстрелами.

Насколько точно такая пуля, отцентрованная по стволу, будет удерживаться по его оси, не очевидно. Тем не менее, мы знаем, что бенчрест винтовки не могут стрелять хорошо без модификации отобранных гильз. Это может означать необходимость удерживания пули по центру в пределах 0,5 мил и менее. В любом случае настало время провести стрелковый тест на модифицированной винтовке с обжатыми пулями, снаряженными в гильзы с волнистыми дульцами и посмотреть, будут ли какие-то улучшения. Можете вспомнить данные из Таблицы 4 Главы 4, по которым среднее рассеивание было 0,884 дюйма. Результаты этого теста приведены в Таблице 8.

Таблица 8

Обжатые 90-грановые пули НР калибра 270 и гильза с волнистым дульцем

Максимальные рассеивания для восьми 5-патронных групп на 100 ярдов

Среднее	Максимальное	Минимальное
0,804	1,399	0,386

Итак, как видно из Таблицы 8, среднее рассеивание упало с 0,884 до 0,804. Используем метод Корней из Квадратов Среднего для нахождения влияния обжатых пуль:

$$\text{Ошибка} = (0,884^2 - 0,804^2)^{1/2} = 0,367 \text{ дюйма}$$

Эта рассчитанная ошибка хорошо согласуется с предполагаемой ошибкой из экспериментальных измерений (от 0,2 до 0,4 дюйма). Если мы используем тот же метод вычислений для калибров 300 (2,5 дюйма) и 270 Маг. (3,5 дюйма) на 300 ярдов, которые упоминались ранее, мы получим ошибку, соответствующую 0,81 дюйму на 100 ярдов для магнумов. Эта ошибку приблизительно в два раза больше, чем для патрона 270 Винчестер. Это меня не удивило, так как давление дульного выхлопа на магнумах приблизительно в 1,5-2 раза больше, чем на стандартном 270-ом. В любом случае, я думаю, что проблема давления дульного выхлопа, действующего на наклоненные пули, может быть решена в некоторой степени применением пуль с цилиндрическими хвостовиками существенной длины и гильз с концентричными или волнистыми дульцами и.

Бой 270 Винчестер слегка улучшился, но не на столько, на сколько я ожидал. Также, при таком методе модификации дулеца гильз обжимка пуль дает меньший эффект, чем можно было ожидать. Тем не менее, точность бенчгана калибра 6 мм Ремингтон улучшилась существенно при обжимке дулеца гильз волнообразным методом, показанным на Рисунке 7-21. Винтовка начала стрелять 6мм матчевыми пулями на стволе с шагом нарезов 14“ группы в среднем в 0,25 дюйма, по сравнению со старыми группами в дюйм на стволе с шагом нарезов 10”. Это заставило меня полагать, что что-то не так с пулями, и оказалось, что это происходит из-за ошибок оболочки пуль. Мы рассмотрим эту проблему в следующей главе (Глава 8).

Уменьшение давления дульного выхлопа

Не секрет, что быстро горящий порох приводит к меньшему давлению на дульном срезе, чем медленно горящий, с которым мы работали раньше. Тем не менее, для равной начальной скорости быстрее горящий порох будет производить большее давление в патроннике. Ничего не бывает бесплатного в этом бизнесе! Я попытался проверить это разногласие измерением давления внутри дульной части ствола тензометрическим методом, которым мы измеряли давление в патроннике ранее в Главе 2. Ввиду того, что нас интересует только сравнение дульных давлений, производимых двумя разными порохами, нам нет необходимости повторять нудную процедуру калибровки, использованную при измерении давления в патроннике, и нам вполне хватит теоретической калибровки. Мы используем для эксперимента заряды в 49 гранов пороха IMR4064 и 57 гранов пороха IMR4831, что развивает приблизительно одинаковое максимальное давление в патроннике. На обоих порохам использовалась 90-грановая пуля НР калибра 270. Результаты теста (Рисунки 7-22 и 7-23) показали, что дульное давление составило 11500 psi для IMR4831 и 7100 psi для IMR4064, что означает 38%-ое уменьшение давления для быстрее горящего пороха IMR4064. Дульная (начальная) скорость для IMR4064 была приблизительно на 150 футов/сек меньше, чем на IMR4831. Отрицательный след на осциллокопе возможно получился из-за компрессионной волны, идущей по стволу в нескольких дюймах впереди расширения ствола, обусловленного внутренним давлением позади пули. Донце пули проходит под тензодатчиком на 1,37 мсек, при этом достигается пиковое давление, а покидает ствол на 1,40 мсек. Заметьте, что дульное давление в 11500 psi хорошо согласуется с давлением на донце пули в точке дульного среза, показанным на Рисунке 2-21. теперь мы знаем, что выбор пороха существенно влияет на величину давления дульного выхлопа.

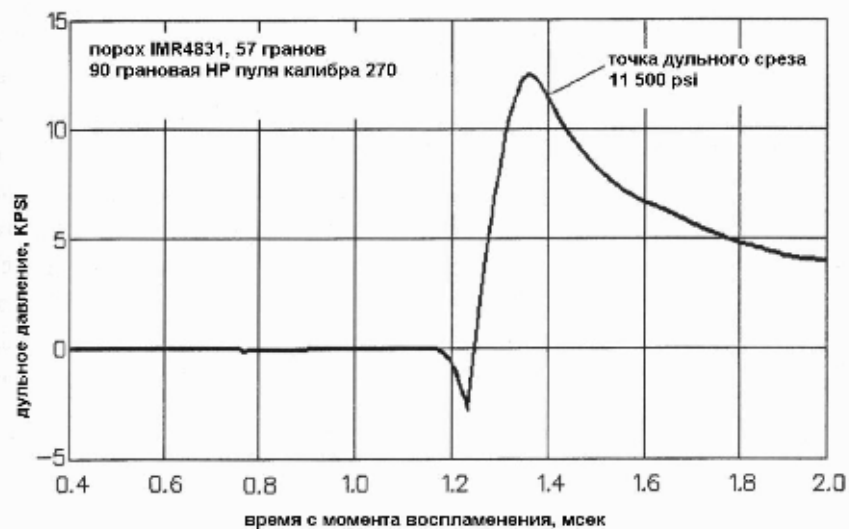


Рисунок 7-22 – Измерение дульного давления в стволе возле дульного среза для пороха IMR4831.

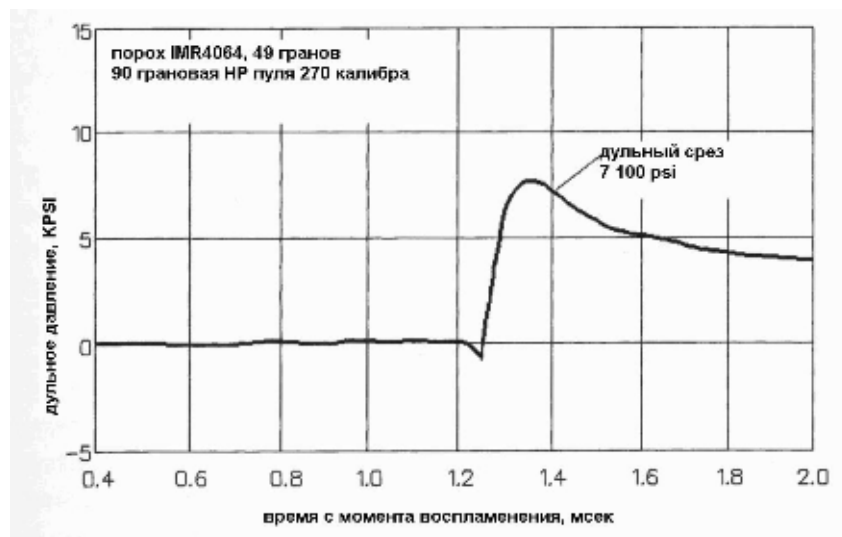


Рисунок 7-23 – Измерение дульного давления в стволе возле дульного среза для пороха IMR4064.

Перед тем, как закончить обсуждение проблемы быстро и медленно горящих порохов, надо уточнить, что основное различие между этими родственными порохами – это размер зерна. Диаметр зерна IMR 4064 составляет 0,032 дюйма и диаметр для IMR 4831 – 0,041 дюйм. Это означает, что IMR 4064 будет гореть почти на 28% быстрее IMR 4831, если параметр горения одинаков для обоих порохов. Это означает, что пиковое давление в патроннике достигается на 0,47 мсек для IMR 4064, в сравнении с 0,65 мсек для IMR 4831 (смотри Рисунок 2-21, Глава 2). Я упоминал, что все пороха IMR являются родственными, что означает равенство их параметра горения, а основное различие – это размер зерна. Параметр горения для родственных порохов приблизительно одинаков, независимо от того, имеете вы дело с ружейным порохом или с 8 дюймовым артиллерийским порохом. Параметр горения также может быть изменен применением ингибиторов. Мы можем рассмотреть влияние размера зерна в Таблице 9, где приведен диаметр зерна и его толщина для нескольких порохов, расположенных в порядке возрастания скорости их горения.

Таблица 9
Диаметр зерна порохов

	Порох	Диаметр зерна, дюйм	Толщина
Медленно	H 570	0.057	0.0285
	H 4831	0.045	0.0225
	IMR 4831	0.041	0.0175
	IMR 4350	0.038	0.0160
	IMR 4320	0.034	0.0140
	IMR 4064	0.032	0.0130
	IMR 3031	0.029	0.0115
Быстро	H 322	0.027	
	IMR 4198	0.026	0.0100

Эта таблица демонстрирует существенное различие в диаметре и толщине зерна между быстро и медленно горящими порохами. Данные получены при реальном измерении зерен микрометром, и они слегка отличаются от данных, опубликованных ДюПоном в нескольких местах. В общем, когда мы говорим о медленно и быстро горящих порохам, мы на са-

мом деле говорим о мелко- либо крупнозернистых порохах, и о времени, требуемом на разжигание этих зерен.

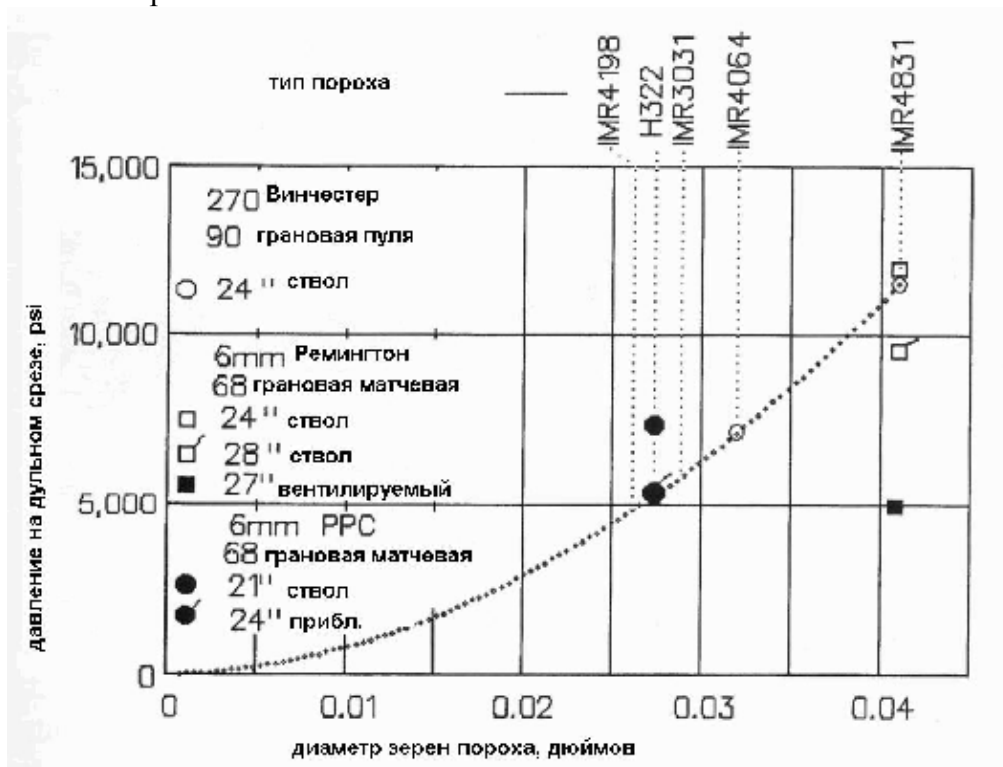


Рисунок 7-24 – График, показывающий, как диаметр зерен пороха влияет на давление дульного выхлопа. Медленно горящие крупнозернистые пороха создают большее давление на дульном срезе, чем мелкозернистые быстро горящие.

Две точки экспериментальных значений дульного давления для 270-го калибра (обозначены открытыми кружками), а также кривая, проходящая через них, изображены на Рисунке 7-24. Это позволяет графически измерить влияние размера зерна на дульное давление. К примеру, замена пороха с IMR 4831 на IMR 3031 уменьшит давление на дульном срезе почти в два раза.

Теперь поговорим о других точках данных, изображенных на Рисунке 7-24. Квадратики – данные, полученные на рэйлгане калибра 6 мм Ремингтон. Можете заметить, что дульное давление для 270 Винчестер и 6 мм Ремингтон (оба с 24 дюймовыми стволами) практически равны для пороха IMR 4831. так должно быть, потому что отношение объема гильзы к площади канала ствола приблизительно одинаково. Теперь заметьте, что дульное давление для 6мм Ремингтон с 28 дюймовым стволом составляет около 9000 psi. Это давление почти на 4000 psi меньше, чем на том же калибре с 24 дюймовым стволом.

А теперь посмотрите на черный квадратик на отметке 5000 psi, который изображает давление на дульном срезе для 6 мм ремингтон с 27 дюймовым стволом, имеющим вентилируемое дуло (смотри Рисунок 7-25).

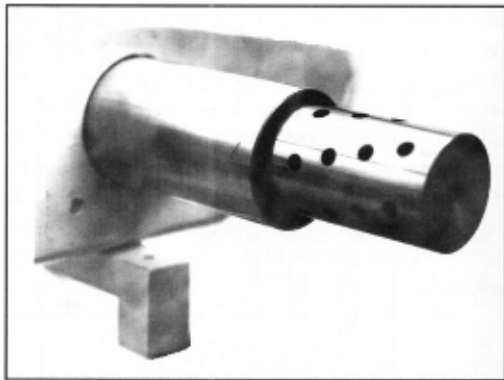


Рисунок 7-25 – Фотография вентилируемого дула.

Дульная часть вентилируется при помощи двадцати четырех отверстий диаметром 0,078 дюйма в донцах нарезов. Поля нарезов не затрагиваются и продолжают поддерживать пулю до выхода из ствола. Большие снаружи отверстия имеют диаметр 3/16 дюйма и просверлены до глубины 0,15 дюйма от дна нареза. Это позволяет вводить фрезу диаметром в 5/64 дюйма, имеющую хвостовик в 3/16 дюйма диаметром для просверливания оставшихся 0,15 дюйма. Фреза применяется для образования отверстия, чтобы уменьшить образование заусенцев. Внутренние острые кромки вентиляционных отверстий выгорают после некоторого количества выстрелов (возможно, 50) и не беспокоят пулю. В любом случае, дно нареза имеет ширину 0,093 дюйма, поэтому отверстие лишь чуть-чуть меньше канавки. Пуля увлекается полями нарезов до самого выхода из ствола, и дульное давление существенно уменьшается. Не путайте этот метод уменьшения давления с обычным дульным тормозом. Обычный дульный тормоз использует обратный канал ствола с диаметром, большим диаметра пули. Поэтому отверстиям не обязательно располагаться точно по донцам нарезов. Тем не менее, пуля теряет ориентацию в момент выхода из плотного контакта с нарезами, и, даже если дульное давление при этом уменьшается, это не уменьшает влияния дульного выхлопа на рассеивание пуль.

Я также смог померить дульное давление на штучной бенчрест винтовке Легкий Варминтер (ЛВ) калибра 6 мм РРС моего друга (Др. Джек Джексон). Эта винтовка имела ствол в 21 дюйм, что является типовым для бенчрест винтовок, эти данные показаны покрашенными кружками. Заряд был довольно мощным зарядом пороха Н322 (27,8 грана) – быстро горящего пороха. В общем, пиковое давление в патроннике было в пределах 60000 psi в отличии от 53000 psi на 270-ом и 6мм Ремингтон. Поэтому, как и ожидалось, дульное давление было соответственно выше. Если откорректировать эти данные для 24 дюймового ствола (закрашенная окружность с рисочкой), то получится значение, близкое к нормальной кривой. Итак, вы видите, что скорость горения пороха (диаметр зерен), максимальное давление в патроннике и длина ствола влияют на давление дульного выхлопа. Кроме того, 6РРС имеет меньшее дульное давление в виду малого объема гильзы, что дает возможность применять быстро горящие пороха при полном заполнении гильзы.

Хорошо, помогла ли вентиляция дула? Помогла. Средний размер 5-патронных групп на 100 ярдов уменьшился с 0,35 до 0,23 дюйма с матчевыми пулями и шагом нарезов 14 дюймов для рэйлгана калибра 6 мм Ремингтон. Это не так хорошо, как лучшие группы на 6РРС ХВ винтовке или рэйлгане калибра 6BR, приближающихся к высоким единицам (т.е. 0,18 дюйма). Вентилируемое дуло может быть хорошей идеей на спортерах и дальноточных магнумах, однако поговаривают об их запрещении на бенчрест винтовках Охотничьего Класа для применения на соревнованиях, как увеличивающих влияние дульного выхлопа на находящихся рядом стрелков. Я, например, не могу сказать, чтобы это имело какое-нибудь значение.

Вентилируемая часть ствола позже была отрезана от ствола. Острые углы отверстий оказались закругленными горячими газами в местах направления потока. Также наблюдались частички омеднения по направлению потока газов. Насколько это важно, я не могу сказать, но это не может быть полезным. Изготовление такого типа вентиляции дула не является простым видом механообработки и достаточно дорого. Расположение вентиляционных отверстий прямо по донцам нарезов – не простая задача.

В общем, суть всего вышеприведенного в том, что влияние дульного выхлопа на размер групп может быть снижено при уменьшении давления дульного выхлопа. Давление дульного выхлопа может быть снижено применением мелкозернистых или быстрогорящих порохов, удлинением стволов, уменьшением давления в патроннике или вентиляцией дула. Тем не менее, для гильзы определенного объема вы можете потерять в скорости, или в весе пули, или увеличить максимальное давление в патроннике для обеспечения той же скорости. Это обычно означает использование меньшего заряда быстро горящего пороха, который будет не полностью заполнять гильзу, что может привести к большим вариациям скорости от выстрела к выстрелу.

Бенчрестеры оптимизировали эту проблему переходом на калибр 6 мм РРС, гильза которого намного меньше стандартной 6мм Ремингтон, и используют пороха, которые также быстро горят или быстрее, чем IMR 4198, с 60 – 70 грановыми пулями. Влияние давления дульного выхлопа существенно уменьшается. К сожалению, хотя это работает хорошо на укороченных дальностях, легкие пули с малыми поперечными нагрузками плохо работают на длинных (600-1000 ярдов) дистанциях. А на больших дальностях единственным способом остается использование тяжелых пуль и гильз большей вместимости с медленно горящими порохами. Такие тяжелые дальнобойные винтовки обычно имеют длинные (30 дюймовые) стволы, которые в определенной степени уменьшают давление дульного выхлопа.

Патроны 270 Винчестер, с которыми мы работали, относятся к калибрам с гильзой средней вместимости, и заполнялись порохами IMR 4831 и IMR 4350. эти пороха обеспечивают оптимальные скорости, но также дают большие давления дульного выхлопа. Решением может быть использование медленно горящих порохов с тяжелыми пулями (130 гранов) для охоты и переход на быстро горящие пороха с легкими пулями (90-100 гранов) для целевой стрельбы.

Форма дульного среза

Какую форму должен иметь дульный срез ствола для достижения наилучших результатов – вот тема бесконечного числа публикаций в печати на протяжении многих лет. Большинство из этих публикаций, прочитанных мною, является полной чушью (не подкрепленной какими-либо фактами). Я думаю, что единственным фактом, от которого мы должны отталкиваться, является то, что ответа на вопрос никто не знает, включая автора этой книги. Как я уже говорил, это не имеет серьезного значения, если только дульный срез симметричен и перпендикулярен каналу ствола. Я испытывал все из распространенных форм дульного среза (Рисунок 7-26), и я не видел какой-либо разницы между ними. Круговая или спортерная форма, используемая на большинстве коммерческих винтовок, выглядит неплохо и хорошо предохраняет торцы нарезов. Тем не менее, она более трудна в производстве и трудно центруется, чем две другие формы, показанные на Рисунке 7-26. Плоская бенчрест форма более проста в изготовлении и менее чувствительна к тому, насколько она отцентрована с каналом ствола. Она может иметь небольшое углубление возле канала ствола для предохранения нарезов, тем не менее, я использую плоскую форму без всяких

углублений на целевых винтовках. Многие штучные бенчрест стволы имеют коническую форму с углом 11 градусов. Дает ли это какое-то улучшение, я не знаю. Тем не менее, угол в 11 градусов возможно пошел от того факта, что пули с коническим хвостовиком (такие как boat tail) будут иметь проблемы от разделения потока, если угол конуса будет больше, чем 11 градусов. Это ничего не делает со струей выхлопа. Возможно, кто-то видел эту информацию и неверно приложил ее к влиянию струи дульного выхлопа. Коническая форма, скорее всего, также хороша, как и все остальные, хотя возможно, что кто-то знает больше, чем знаю я. Выводом может являться то, что никто на самом деле не знает, какая форма дульного среза лучшая, или какая может быть лучшей. В общем, можете использовать такую форму, которая вам нравится, лишь бы она была симметрична относительно оси канала ствола.



Рисунок 7-26 – Разные виды формирования дульного среза.

Выводы

При использовании пучкового экрана мы определили, что дульный выхлоп может быть несимметричным. Мы нашли путем исследования, что большинство пуль не имеют цилиндрического хвостовика необходимой длины для предотвращения наклона пули внутри ствола. Подобранные стрелянные пули имели следы наклона, даже если измеренная точность была лучше необходимой. Измерения, проведенные на стреляных пулях, показали угол наклона в 0,25 – 0,5 градусов.

Потом пули были модифицированы срезанием их донца под углом 2 градуса и эти пули были отстреляны четырьмя группами, в которых направления наклона донца отличались на 90 градусов по окружности. Результатом стало то, что угол скоса в 2 градуса производит радиус рассеивания в 0,8 дюйма для 270 калибра и 0,64 дюйма для 6 мм BR. Разработанная позже компьютерная программа точно предсказала результаты данных тестов.

Потом мы сделали теневые фотоснимки поля выхлопа с целью определения несимметричности истечения газов из дула. К моему удивлению, существенной асимметрии потока не было обнаружено. Эти наблюдения привели к созданию компьютерной программы, которая точно предсказала результаты отстрела как для пуль 270-го калибра, так и для 6 мм BR пуль. Стрелковые тесты потом были продолжены с пулями, наклоненными в дульцах

гильз на 0,215 градуса. Эти тесты показали радиус рассеивания в 0,196 дюйма на 100 ярдов, а компьютерная программа предопределила радиус в 0,243 дюйма. Так как угол наклона пули в 0,2 градуса может получиться очень просто, рассеивание от наклоненных пуль может быть большим.

Потом мы находили методы уменьшения наклона пули. Пули калибра 270, обжатые по диаметру на 0,5 мил, найденные после отстрела, показали намного меньшие следы наклона в канале ствола. Обжатые пули снизили средний размер групп с 0,884 до 0,804 дюймов на 100 ярдов для 270-го калибра, доказывая, что наклон пуль в канале ствола может быть в определенной мере скорректирован обжимкой пуль. Обжимка 6 мм матчевых пуль не дала эффекта на калибре 6 мм BR. Тот факт, что обжимка 6 мм матчевых пуль не дала результата, скорее всего, обусловлен обточкой дулец гильз, комбинированной с посадкой пули в нарезы, что помогает предотвратить серьезный наклон пули. Было определено наличие нецентрованности пуль на не модифицированных гильзах 270-ого и 6 мм калибров, и это было откорректировано проточкой внутренней поверхности дульца гильзы и изготовлением волнистой формы дульца. Волнистая форма серьезно улучшила точность на 6 мм Ремингтон с матчевыми пулями Кука, но дала незначительный эффект на 270-ом калибре. Поэтому стало ясно, что что-то не так с 90-грановыми пулями 270-го калибра, которые использовались, и мы рассмотрим эту проблему в следующей главе.

Было измерено давление дульного выхлопа при помощи тензодатчиков, и было выяснено, что большие гильзы (270 Винчестер) со сравнительно медленно горящими крупнозернистыми порохами создают большее дульное давление, чем относительно быстро горящие мелкозернистые пороха. Дульное давление также может быть уменьшено применением более длинных стволов и вентиляцией дульной части ствола. Дульная вентиляция была опробована, и она действительно уменьшила дульное давление и привела к снижению размеров групп. Однако примененный тип вентиляции является сложной задачей механообработки и может быть дорог в производстве.

Проблемы сердечников пуль

Свинцовый сердечник оболочечных пуль подвергается большим срезающим напряжениям в области между оболочкой и сердечником, обусловленным вращением. В момент входа пули в нарезы возникает большое угловое ускорение, заставляющее проворачиваться оболочку. Свинцовый сердечник тяжел и имеет большой момент инерции при вращении, который противостоит большому угловому ускорению. Сердечник удерживается силой трения, возникающей между сердечником и оболочкой, а напряжение на срез возникает в результате появления внутренних вмятин, обусловленных следами от нарезов. Эти внутренние вмятины проникают в сердечник на глубину около 2 миллов. Если свинцовый сердечник слишком слаб, чтобы выдерживать это напряжение среза, сердечник отделяется от оболочки, и сердечник будет иметь меньшую частоту вращения, чем оболочка, при вылете пули из ствола. Максимальная разность частот вращения, которую я измерял (5,5%) получается при запаздывании угла поворота сердечника от угла поворота оболочки в 20 градусов. После вылета из ствола сердечник снижает частоту вращения оболочки, а оболочка слегка повышает скорость вращения сердечника до тех пор, пока их частоты вращения не выровняются. Результирующая скорость вращения пули получается меньше, чем на пуле с отделенным сердечником. Как это будет влиять на траекторию полета пули - неизвестно. Тем не менее, это, возможно, приводит к асимметрии Центра Тяжести (ЦТ) и безусловно приводит к меньшей, изменяющейся частоте вращения. Мы можем и промеряем изменения частоты вращения, но я не знаю какого-либо способа измерить влияние отделившейся оболочки на асимметрию ЦТ. Мы начнем с определения твердости свинцового сердечника, как показателя допустимого напряжения среза, для нескольких пуль. Мы также измерим крутящий момент, необходимый для проворачивания сердечника в оболочке для разных пуль. Это скажет нам, насколько возможно отделение сердечника от оболочки.



Рисунок 8-1 – Фотография прибора для определения твердости по Бриннелю.

Лабораторные исследования отделения сердечника

Вначале я изготовил прибор для определения Твердости по Бриннелю (НВ), показанный на Рисунке 8-1, так как я не нашел местной лаборатории, обладающей таким оборудованием.

Прибор для определения НВ – это ничто иное, как подпружиненный плунжер, который привинчивается к нагружающему прессу и прилагает известную нагрузку на маленькую (3/16 дюйма диаметром) шаровую опору, которая создает небольшой кратер на свинцовом образце. Если нагрузка, диаметр шарика и диаметр кратера известны, то НВ может быть вычислено по формуле:

$$НВ = 0,0004485 * F / \{ (\pi/2) * D^2 * [1 - \sqrt{1 - (d/D)^2}] \},$$

Где

F = нагрузка, фунтов (обычно 100)

D = диаметр шарика, дюймов (0,1875)

d = диаметр кратера на образце, дюймов

$\pi = 3,14159$

В соответствии с инженерными справочниками и экспериментальным определением допустимых напряжений, которые я проводил на гидравлическом прессе на некоторых образцах, предел текучести сердечника, или прочность сердечника может быть определена умножением НВ на 515. Результаты проверки твердости для пуль четырех разных производителей показаны на Рисунке 8-2. данные для чистого свинца и линотипного металла приведены для сравнения. Вы можете видеть, что измеренные твердости сердечников и прочности сильно различаются между пулями – намного больше, чем я ожидал. Я выбрал эти пули, потому что после отстрелов у меня были основания полагать, что 65 грановая 6-мм матчевая пуля никогда не расслаивается на уменьшенных зарядах в стволах с шагом нарезов в 10 дюймов, 90 грановая НР пуля 270-го калибра ведет себя погранично на том же шаге нарезов, а 68 грановая 6-мм матчевая пуля всегда расслаивается на нарезах с шагом 10 дюймов. Теперь перед тем, как кого-либо постигнет разочарование, спешу отметить, что 6-мм 68-грановая матчевая пуля ведет себя очень хорошо в бенчрест винтовках с шагом нарезов 14 дюймов, где она должна применяться. Итак, вы можете видеть, что результаты теста на твердость и прочность находятся в приблизительном соответствии с результатами отстрелов. Что же это доказывает? Это доказывает, что 65 грановая матчевая пуля имеет более прочный материал сердечника, чем большинство других тестируемых пуль. Тем не менее, это не говорит нам о том, какой крутящий момент нужен, чтобы сдвинуть сердечник с места. Чтобы определить это, мы должны провести измерения.

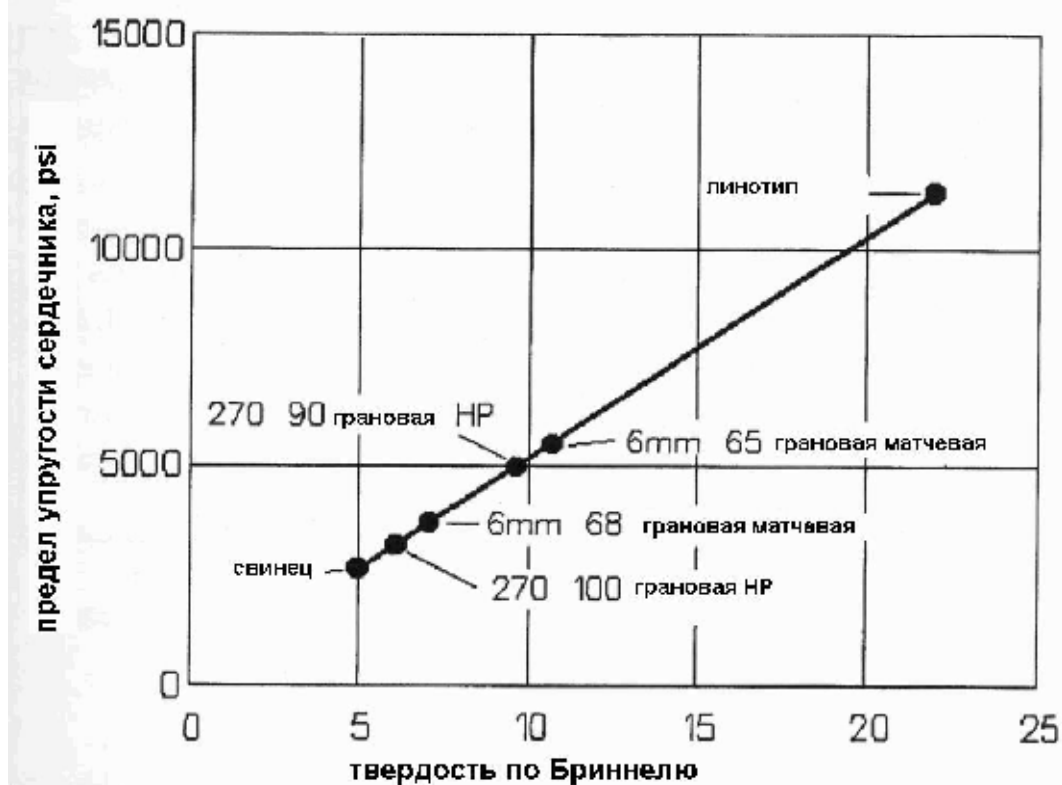


Рисунок 8-2 – Измеренные значения твердости по Бриннелю и предела текучести (прочности) для сердечников четырех тестируемых пуль. Данные для чистого свинца и линотипного металла даны для справки.

На Рисунке 8-3 показан динамометрический ключ, сконструированный для измерения крутящего момента, необходимого для повреждения сердечника. Лезвие похожее на лезвие отвертки, выступающее из динамометрического ключа, погружается в свинцовый сердечник. Лезвие ключа вставляется в носовую часть пули, зажатой в коротком отрезке ствола. Верхний стержень диаметром 1/8 дюйма служит указателем, а нижний – изгибаемым элементом, при помощи его осуществляется приложение крутящего момента к лез-

вию. Крутящий момент, необходимый для повреждения сердечника, считывается по калиброванной карточке, прикрепленной к изгибаемому стержню. Сборка удерживается в тисках заостренным концом вверх. К заостренной части прикладывается направленная вниз нагрузка в 1000 фунтов, частично воспроизводящая удерживающую силу. Верх приспособления заострен, чтобы уменьшить момент трения, возникающий между верхом ключа и прессом, прикладывающим удерживающую нагрузку. Для тестирования пуль 270 калибра использовался сгибаемый стержень диаметром в 3/16 дюйма. Результаты теста на крутящий момент. Повреждающий сердечник, приведены на Рисунке 8-4 для комнатной температуры (70°F) и для повышенной температуры в 250°F.

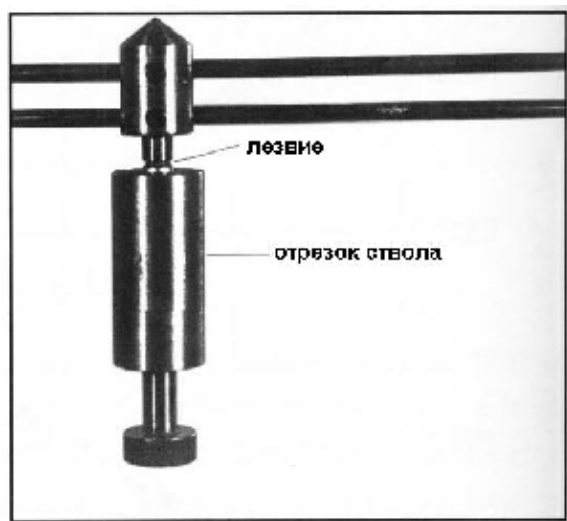


Рисунок 8-3 – Фотография динамометрического ключа, использованного

для измерения повреждающего сердечник крутящего момента для четырех тестируемых пуль.

Я не могу уверенно сказать, насколько греется ствол спортера. Я знаю, что канал ствола нагревается приблизительно на 200°F в жаркий день после отстрела нескольких патронов, потому что вода закипает, когда я заливаю ее в ствол для охлаждения. Кроме того, кратковременный нагрев поверхности канала ствола до 1000°F был измерен Армейцами (Ссылка 3). Как вы можете заметить, температура очень сильно изменяется, и я думаю, что это одна из причин того, что нагретый ствол обычно не стреляет хорошо. Я измерял температуру в патроннике в 133°F в холодный день после отстрела 15 патронов, и я предполагаю, что температура на пульном входе будет существенно выше.

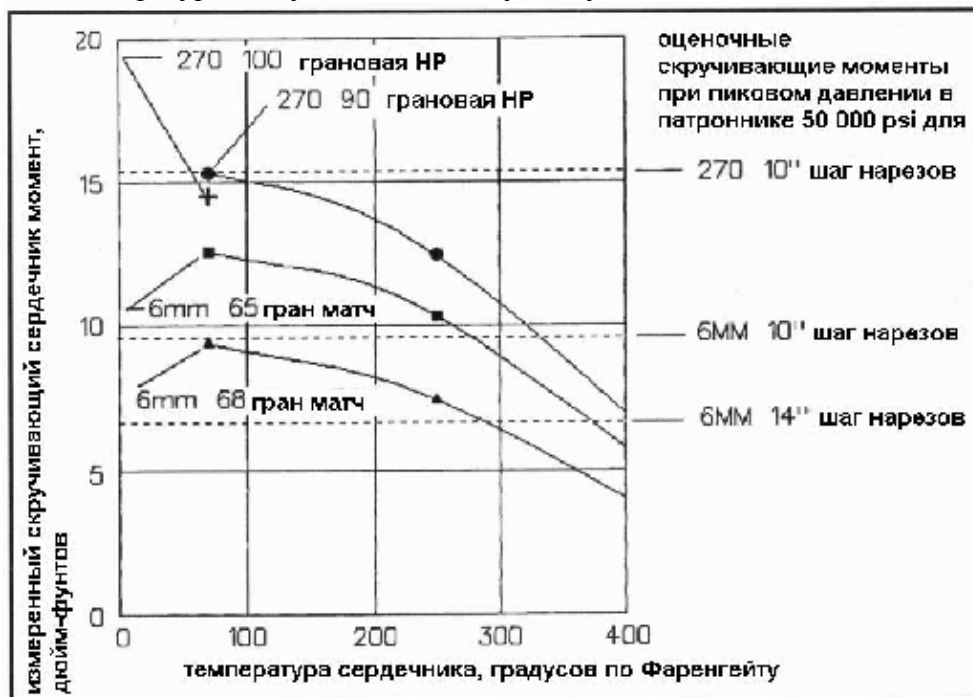


Рисунок 8-4 – Проворачивающий сердечник крутящий момент для четырех пуль при нормальной и повышенной температурах.

На Рисунке 8-4 пунктирными линиями показаны приблизительные значения проворачивающих сердечник крутящих моментов для 270 –го калибра с 10 дюймовыми нарезами и для 6-мм как для 10, так и для 14 дюймового шага нарезов. Вы можете видеть, что 65 грановая пуля не претерпит отслоения сердечника, в то время как 68 грановая матчевая и 90 грановая 270-го калибра будут вести себя погранично либо расслаиваться на нарезах с шагом 10 дюймов. 68-грановая 6-мм пуля останется невредимой на 14 дюймовых нарезах, что и подтверждают экспериментальные данные. Расчетный скручивающий момент был получен сперва вычислением равновесного вращающего момента исходя из максимального давления в патроннике, что было сделано очень точно, и потом умножением значения равновесного вращающего момента на два, принимая во внимание тот факт, что крутящий момент более динамичен, чем статическая нагрузка. Равновесное угловое ускорение равно

$$a = (P \cdot A \cdot g \cdot 2 \cdot \pi) / (W \cdot T_w), \text{ рад/сек}^2$$

где

P = максимальное давление в патроннике, psi

A = площадь поперечного сечения патронника, дюйм²

W = масса пули, фунтов (граны/7000)

T_w = вращение, дюймов/12

g = ускорение свободного падения, 32,2 фт/сек²

π = 3,14159

Равновесный вращающий момент получается умножением углового ускорения на момент инерции вращения сердечника.

$$T_e = a \cdot I_x \cdot 12, \text{ дюйм-фунтов}$$

Где момент инерции вращения

$$I_x = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2, \text{ слаг-фт}^2,$$

и

m = масса сердечника = (вес сердечника в фунтах)/g

r = радиус сердечника, фт

динамический вращающий момент (эффективный скручивающий момент) получен умножением значения равновесного вращающего момента в два раза. Хотя я знаю из опыта, что динамическая поправка вдвое достаточно верна для данного случая, я не смог найти строгих ссылок, поэтому примите мои слова за истину. Кроме того, заметьте, что скручивающий момент прямо пропорционален максимальному давлению в патроннике. Кроме того, скручивающий момент в некоторой степени является функцией количества свободного пролета пули до удара о нарезы. В данном случае наличия небольшого свободного движения пули поправка вдвое верна. В общем, наши измерения момента, повреждающего сердечник, и рассчитанные границы скручивающего момента должны быть нормальными, и показывают повреждение сердечника в некоторых случаях. Важно помнить, что рассчитанные значения скручивающих моментов (пунктирные линии на Рисунке 8-4) являются приблизительными и могут иметь погрешность до 20 %.

В результате этой работы мы увидели, что повреждающий сердечник крутящий момент был прямо пропорционален пределу текучести материала сердечника для пуль одинако-

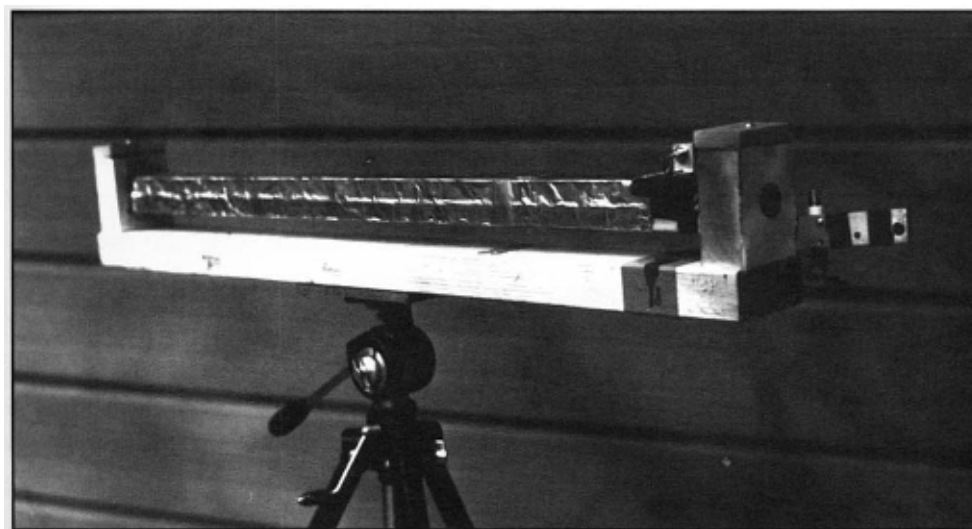
вой формы. Я думаю, что также очевидно то, что длина следов от нарезов на боковой поверхности пули тоже будет влиять на повреждающий сердечник момент. Кроме того, повреждающий сердечник момент существенно зависел от температуры сердечника. Тот факт, что повреждающий сердечник момент чувствителен к длине следов от нарезов, может объяснить, что некоторые boat tail (BT) пули ведут себя не правильно на некоторых винтовках. В общем, пули с плоским донцем будут иметь большие следы от нарезов, чем аналогичные BT пули.

В итоге я решил, что единственным путем проверки реальности возникновения отслоения сердечника является измерение частоты вращения пули после ее вылета из ствола и сравнение этого измеренного значения с частотой вращения, вычисленной из шага нарезов и измеренной дульной скорости.

Тесты на частоту вращения пули

Если частота вращения пули существенно меньше частоты, рассчитанной из дульной скорости и шага нарезов, то действительно произошло отделение оболочки или сердечника. Ввиду того, что никакого разрушения оболочки на подобранных стреляных пулях калибра 270 не наблюдалось, уменьшение частоты вращения может быть вызвано отделением сердечника. Вначале я пытался использовать оптический детектор, но после нескольких месяцев неудачных экспериментов я решил попробовать магнетометр.

Магнетометр, использовавшийся для измерения частоты вращения пули и показанный на Рисунке 8-5, представляет собой ничто иное, как квадратную трубу сечением 1x1 дюйм по внутреннему размеру, длиной 3 фута. Труба сделана из фанеры толщиной ¼ дюйма. Она имеет 1-дюймовое отверстие с каждой стороны для прохода пули. Прямоугольный контур размером 1,5x1,5x31,25 дюйма сформирован таким образом, как показано на Рисунке 8-6. в просверленные в корпусе отверстия вставлены деревянные дюбели диаметром 1/8 дюйма для обеспечения изгибов контура по длине модели. Контур состоит из 35 витков магнитной проволоки №30 по ASWG (Американская сталепроволочная компания). Намотка



проволоки начинается с одного из дюбелей натяжением вдоль формы до другого дюбеля.

Рисунок 8-5 –
Фотография магнетометра, использовавшегося при измерении частоты вращения пули, вылетевшей из ствола.

Потом проволока протягивалась через верх приспособления до противоположного дюбеля и дальше назад до следующего дюбеля и опять через верх до первого. Эта процедура повторялась 35 раз для обеспечения полного контура. Резистор на 15 Ом присоединялся последовательно с контуром, а конденсатор на 1,5 мФ присоединялся параллельно выходу. Конденсатор уменьшал радиочастотный шум, а резистор осуществлял демпфирование

максимального сигнала в 0,7 раз. Экран из алюминиевой фольги обматывался вокруг контура для дополнительного уменьшения электромагнитного шума. Отношение сигнал-шум в худших радиочастотных условиях было около 200, поэтому сигнал получался очень четким.

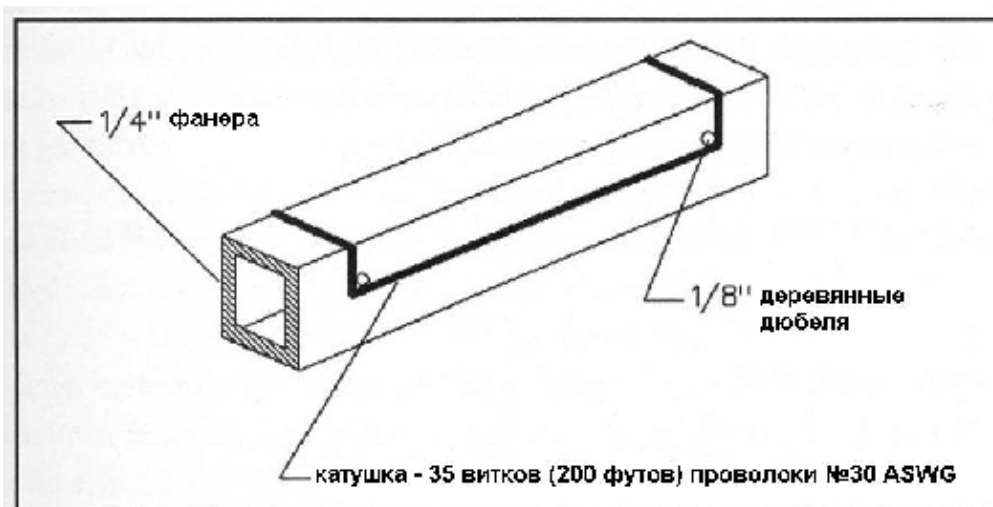


Рисунок 8-6 – Рисунок магнетометра, показывающий, как контур укладывался вокруг короба из 1/4 дюймовой фанеры. Короб имеет длину три фута с отверстием для пролета пули сечением 1x1 дюйм.

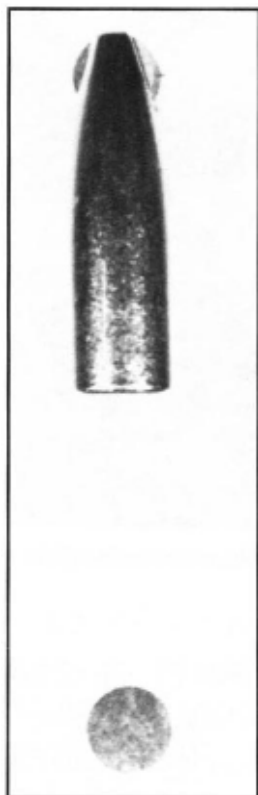


Рисунок 8-7 – Фотография пули калибра 270 с магнитом, вставленным в профрезерованное в носовой части углубление шириной 1/16 дюйма. Редкоземельный магнит показан ниже.

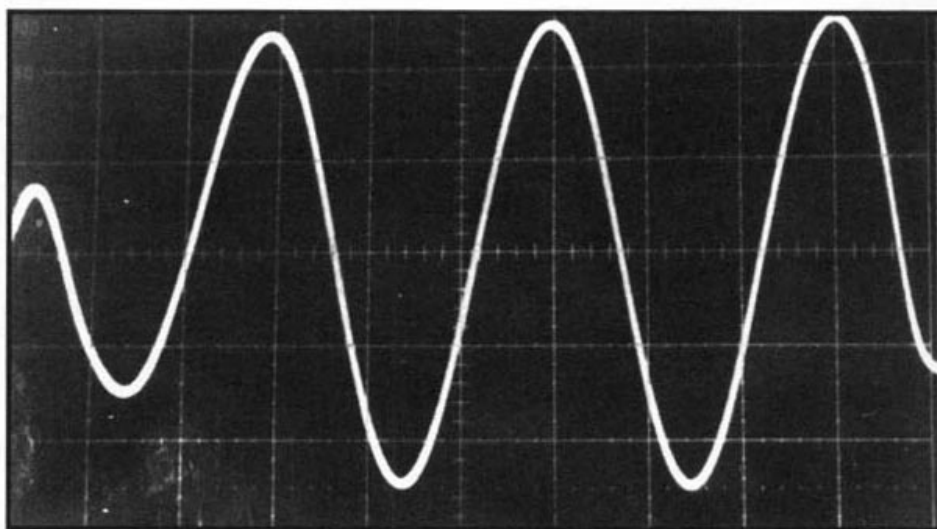


Рисунок 8-8 – Фотография трасы осциллоскопа, показывающая синусоидальный сигнал, генерируемый в контуре магнетометра вращающимся магнитом в носовой части пули. Горизонтальная шкала времени с ценой деления 0,1 мсек на сантиметр. Шкала напряжения – 0,1 В на см.

Центр магнетометра располагался на расстоянии приблизительно 12 футов от дульного среза. Хронограф Oehler 35P с базой в 6 футов располагался между дульным срезом и входом магнетометра. Маленький микрофон, располагавшийся около входа магнетометра, предназначался для включения схемы развертки осциллографа. В пулю в профрезерованную в носовой части канавку шириной 1/16 дюйма клеивался на эпоксидный клей ма-

ленький редкоземельный магнит (диаметр 3/16 дюйма, толщина 1/16 дюйма, марка Radio Shack 65-1895). Когда пуля пролетала через магнетометр, вращающееся магнитное поле генерировала в контуре синусоидальный электрический сигнал (0,5 В от пика к пику). На Рисунке 8-7 показана пуля со вставленным в нее магнитом и отдельно сам магнит. Электрический сигнал записывался на осциллокопе и фотографировался. Типичная запись показана на Рисунке 8-8, где можно видеть около 2,5 периодов колебаний. Искажение первой половины периода происходит из-за переходной характеристики магнетометра и во внимание не принимается. Период колебания может быть измерен данным методом с точностью в 0,2%. Винтовка устанавливается в жестком станке и пристреливается дульным коллиматором таким образом, чтобы пуля проходила через одно-дюймовые отверстия входа и выхода магнетометра.

По методу тестирования отстреливалась одна полностью медная пуля Барнс Икс (Barnes X) с магнитом в носике на каждые пять тестовых пуль. Так как пуля Barnes X полностью медная, у нее нет сердечника, который мог бы отслаиваться. Цельно медная пуля является справочной для данных, полученных на тестовых пулях. Справочная пуля говорит нам, какая частота вращения должна быть на данной дульной скорости, и эта частота непосредственно сопоставляется с частотой вращения, измеренной на тестовых пулях. Небольшая корректировка была сделана на влияние небольшой разности в скоростях между справочной и тестовой пулями. Так как погрешность измерения скорости не превосходит 0,2%, общая ошибка измерений при сравнении цельно медных справочных пуль с тестируемыми оболочечными пулями со свинцовым сердечником не должна быть больше 0,4%. Если сердечник отделяется, то он будет иметь меньшую частоту вращения, чем оболочка, в момент вылета пули из ствола. После вылета пули из ствола сердечник начинает замедлять вращение оболочки, а оболочка слегка ускоряет вращение сердечника до тех пор, пока они не начнут вращаться с одной частотой. После этого пуля проходит магнетометр и в случае отслаивания сердечника регистрируется пониженная частота вращения. Измеренная разность частоты вращения должна быть умножена на 1,5, чтобы узнать реальную разность частот вращения между оболочкой и сердечником в момент вылета пули из ствола. Это делается из тех соображений, что сердечник намного тяжелее оболочки. То есть его момент инерции вращения намного больше момента инерции вращения оболочки. То есть медленнее вращающийся сердечник будет замедлять оболочку быстрее, чем быстро вращающаяся оболочка будет ускорять сердечник после вылета пули из ствола. Я измерял разницу в частоте вращения справочной и тестовых пуль в диапазоне от 0,0% до 5,5%. Несомненно, что некоторые из этих тестовых пуль имели сердечники, отслоенные от оболочки. Разница в угле поворота между сердечником и оболочкой достигала 20 градусов. В худшем случае частота вращения оболочки в момент вылета пули из ствола должна быть на 8,25 % выше частоты вращения оболочки ($5,5\% * 1,5 = 8,25\%$). Это очень большое различие.

Измерения частоты вращения магнетометром подтвердили измерения повреждающего сердечник скручивающего момента, показанные на Рисунке 8-4 – где была предсказана возможность отслаивания сердечника от оболочки. Сводная таблица результатов 61 измерения на стволе с шагом нарезов 10 дюймов приведена ниже. Было сделано пять и более записей для каждой пули и вывод об отделении сердечника делался в случаях, когда разница между предположительной и измеренной частотами вращения превосходила 1%.

Таблица 10
Результаты стендовых испытаний на отделение сердечника

Тип пули	Заряд IMR4831	Давление, kpsi	Процент повреждений
270 Винчестер – шаг нарезов 10”			
270 90 гранов НР	57	53	60%
270 90 гранов НР (горячая)	57	53+	100%
270 90 гранов НР	59	63	100%
270 100 гранов НР	57	53	40%
270 100 гранов НР	59	63	100
6 мм Ремингтон – шаг нарезов 10”			
6 мм 68 гранов матчевая	44	50*	100%
6 мм 68 гранов матчевая	46	60*	100%
6 мм 65 гранов матчевая	44	50*	0%
6 мм 65 гранов матчевая	46	60*	30%

+ - показывает давление выше указанного

* - приблизительно

Тесты с повышенной температурой проводились при опускании пули в заряженном патроне в сосуд с кипящей водой, и затем выстрел производился так быстро, насколько было возможно. В момент выстрела температура пули была порядка 180°F. Давления для 6мм калибра были оценены исходя из данных по 270 калибру, приведенных в Главе 2. Данные по частоте вращения совместно с данными по отслоению сердечника убедили меня в том, что некоторые виды легких пуль hollow point имеют тенденцию к отделению их сердечников от оболочек в стволах с десятидюймовыми нарезами. Также есть основания предполагать, что и некоторые boat tail пули страдают отслаиванием сердечника. В журнале Precision Shooting (Точная стрельба) в 1993-1994 годах долго обсуждалась проблема того, как некоторые винтовки стреляют неточно пулями boat tail. Однако тест на частоту вращения требует много времени и финансовых вливаний, поэтому я не могу его больше проводить. Я провел тест на момент скручивания сердечника на полуоболочечных (soft point) пулях 270 калибра и все они за исключением одной не проявили признаков отслаивания сердечников. В общем, большинство коммерческих полуоболочечных пуль, скорее всего, будут хороши.

Насколько отслаивание сердечника будет причиной неточности винтовки сказать трудно. Я знаю, что 6-мм 68 грановые пули с плоским донцем показывают хорошие результаты на стволах с 14” нарезами, давая группы менее чем 0,2 дюйма на 100 ярдов. Тем не менее, пяти-патронные группы на 10 дюймовых стволах в среднем составляют более 1 дюйма при той же дульной скорости. Я также знаю, что если вы слишком сильно пустите 65 грановую матчевую пулю по 10 дюймовым нарезами, кучность ухудшается. Таблица 10 показывает, что 65 грановая матчевая пуля претерпевает отслаивание сердечника, если ее слишком сильно пустить по стволу. Я думаю, что эти данные говорят нам о том, что отслаивание сердечника имеет серьезное значение.

Многие бенчрест стрелки заряжают свои 6мм РРС патроны очень сильными зарядами, что ведет к высоким давлениям в патроннике (>65000 psi) и высоким дульным скоростям (>3300 фт/сек). Если вы сверитесь с Рисунком 8-4, то увидите, что момент, повреждающий сердечник, достигается при давлении в патроннике в 50000 psi. Расчетный скручи-

вающий момент для 6 мм на 14" шаге нарезов будет выше на 30% для давления в патроннике в 65000 psi. Это передвинет пунктирные линии для 14" нарезов прямо под пунктирную линию для 10" нарезов. Другими словами, если вы слишком сильно пустите такую матчевую пулю по стволу, то можете получить отслаивание сердечника даже на 14" нарезах, что приведет к необъяснимому отрыву.

Еще одно интересное наблюдение было получено в качестве побочного продукта тестов на частоту вращения пули. Если мы сравним измеренную частоту вращения пули с частотой вращения, рассчитанной исходя из шага нарезов и измеренной скорости, то найдем, что измеренная частота меньше рассчитанной из измеренной скорости на 2,7%. К примеру, мы измерили скорость в 3057 фт/сек, а дульная скорость, полученная из частоты вращения, была меньше на 82 фт/сек после корректировки на положение хронографа относительно дула. Это явление описано в Главе 2, и происходит оно из-за того, что дульная струя продолжает ускорять пулю после ее вылет из ствола. Дульная струя ускоряет пулю, но ее частота вращения не изменяется, потому что пуля больше не находится в контакте с нарезами.



Рисунок 8-9 – Фотография разрезанной 90 грановой HP пули 270 калибра современного изготовления, использованная при тестировании, показывающая выступание сердечника в носике пули, которое имеет тенденцию сминаться под воздействием сжимающих нагрузок.

Смятие сердечника

К сожалению, пули 270 калибра, выбранные для исследований, возможно, имеют тенденцию к смятию сердечника, и я думаю, что это общий недостаток их конструкции. На Рисунке 8-9 показана фотография 90 грановой пули HP 270 калибра того же типа, как использовались в экспериментах. Вы можете видеть выступающую вперед часть диаметром 1/8 дюйма и длиной 0,15 дюйма в носовой части пули. Быстрый расчет показывает, что при пиковом давлении в патроннике в 50000 psi сжимающее напряжение, воздействующее на торец выступающей части, возникающее в результате сдавливающего ускорения, составит около 12000 psi, в сравнении с измеренным (см. Рисунок 8-2) пределом текучести в 5000 psi. Очевидно, что выступающая часть будет деформироваться, так как приложенная нагрузка в три раза превосходит предел текучести сердечника. Если смятая выступающая часть останется осесимметричной, это, возможно, не окажет большого влияния на точность. Тем не менее, если она будет сползать в сторону, это вызовет асимметрию ЦТ и основной оси пули, что приведет к неточности, описанной в Главе 9. вы можете точно проверить наличие смятия сердечников, используя более мягкий метод подбора стрелянных пуль, чем описанный в Главе 7, но это займет много работы и я не считаю это необходимым.



Рисунок 8-10 – Фотография 90грановой HP пули 270 калибра прошлых лет изготовления, демонстрирующая меньшую выступающую часть, которая не сминается.

Странно, но я отстрелял тысячи таких пуль в 1960-х и 1970-х годах, и они вели себя намного лучше пуль современного изготовления. Когда я рассматривал проблему смятия сердечника, я огляделся в своей мастерской, нашел одну из таких старых пуль и разрезал ее. Вы можете видеть, что выступающая часть намного короче, чем в современных пулях (Рисунок 8-9). Фактически она достаточно коротка, чтобы не сминаться. Где-то между концом 70-х и серединой 80-х производители изменили конструкцию пули, чем пустили нас по кривой прямо посередине исследовательских работ. Тем не менее, читатель должен осознавать, что эта пуля все еще является прекрасной пулей для варминта.

По этой причине я решил переключиться на 14” нарезы чтобы проверить, будут ли улучшения на 270 калибре с 90-грановыми НР пулями. Это должно уменьшить скручивающий момент, действующий на сердечник пули, и 270-й должен стрелять меньшие группы. Результаты теста показали, что средний размер групп уменьшился с 0,804 до 0,505 дюйма на 100 ярдов (см. Таблицу 11, Глава 9). Большая часть этого уменьшения рассеивания произошла из-за уменьшения асимметрии ЦТ. Тем не менее, все это уменьшение рассеивания произошло из-за устранения отслаивания сердечника.

Пуля НР 65 гран калибра 6 мм ведет себя удовлетворительно на 10 дюймовых нарез до тех пор, пока не перегружать ее. К сожалению, эти пули больше недоступны ввиду безвременной кончины в 1994 году Уолтера Янковского (Walter Jankowski), владельца Cook Bullets. Я переключился на использование 14 дюймового ствола на бенчрест винтовки калибра 6 мм BR, и начал использовать 68 грановые матчевые пули другого производителя. Результаты этой замены показаны в Главе 9, в которой описывается разбалансировка пули.

Влияние крутящего момента на точность

Время от времени я читаю статьи в оружейных журналах о том, как винтовка поворачивается в результате крутящего момента пули, и как это вращение влияет на неточность. В этих статьях никогда не бывает фактов или данных, только мнения. Достаточно просто взять скручивающий момент, рассчитанный нами в начале этой главы, и оценить угол вращения винтовки. Скручивающий момент, рассчитанный для 90 грановой пули 270 калибра был 15 дюйм-фунтов. Мы можем пересчитать его для 130-грановой пули и получим момент в 22 дюйм-фунта. Мы можем оценить момент инерции винтовки, и из момента инерции и момента вращения определим среднее угловое ускорение в 203 рад/сек². если мы умножим угловое ускорение на время нахождения пули в стволе (1,3 мсек), получим угловую скорость в 0,26 рад/сек. Также рассчитаем угол, на который повернется винтовка – 0,01 градус. Если ЦТ винтовки расположен на 1 дюйм ниже оси канала ствола, то ствол будет отклоняться влево со скоростью 0,26 дюйм/сек, что дает отклонение в 0,013 дюймов на 100 ярдов. Если момент вращения варьируется на 1% от выстрела к выстрелу, что типично для варьирования скорости, то разница в поперечной скорости составит 0,0026 рад/сек, что вызовет горизонтальное рассеивание в 0,00025 дюймов на 100 ярдов. Разница в поперечном направлении ствола составит 0,00013 дюйма. Это грубая инженерная оценка влияния вращения, но она достаточна для того, чтобы прийти к заключению о том, что влияние момента вращения слишком мало, чтобы принимать его в расчет на винтовках. Тем не менее, он может быть значительным на пистолетах. Я не проверял этого, но думаю, что на пистолетах существует слишком много других проблем, среди которых эта окажется не самой главной.

Выводы

Тот факт, что свинцовые сердечники пуль иногда отслаиваются ввиду больших крутящих моментов, действующих на оболочку, продемонстрирован измерением частоты вращения пули после ее выхода из ствола, сделанным магнитометрическим методом. Крутящий момент, необходимый для отрыва сердечника от оболочки был измерен динамометрическим ключом на четырех тестируемых пулях при комнатной (70°F) и повышенной (250°F) температурах. Крутящий момент, необходимый для отрыва сердечника при комнатной температуре был существенно выше, чем тот же момент при повышенной температуре. Кроме того, более твердый материал сердечника уменьшает возможность его отслаивания ввиду большей жесткости. Эти стендовые испытания находятся в приблизительном соответствии с измеренной частотой вращения и тестами на размер групп.

Разбалансировка пуль

Разбалансировка пуль – один из важнейших факторов, влияющих на рассеивание, и я знаю об этом уже последние 30 лет. Тем не менее, проблема эта остро встала лишь в последние несколько лет, когда я осознал, как конкретно она влияет на рассеивание. Кроме того, я не мог найти метода исправления этой проблемы, кроме как самостоятельное изготовление или покупка отличных пуль. Ну что же, приступим к осмыслению этой проблемы.

Физическое описание

На Рисунке 9-1 показано, как разбалансированная пуля отклоняется после вылета из ствола. Эскиз с левой стороны Рисунка 9-1 показывает, как центр тяжести (ЦТ), смещенный от центральной линии или геометрической оси, стремится к развороту вокруг геометрической оси. Это ненормальное состояние. Вращающийся снаряд всегда будет вращаться вокруг своей главной оси, а главная ось всегда проходит через ЦТ, если у нее есть возможность это сделать. В общем, пуля начнет вращаться вокруг своей главной оси и ЦТ сразу же после вылета из ствола. Кроме того, из-за смещения ЦТ, еще когда пуля находится в стволе, будет возникать тангенциальная составляющая скорости (V_t). Эта тангенциальная составляющая скорости (V_t) перейдет в скорость поперечного смещения (V_d) в момент вылета пули из ствола. Направление скорости поперечного смещения будет перпендикулярно плоскости, содержащей геометрическую и главную оси пули в момент вылета пули из ствола.

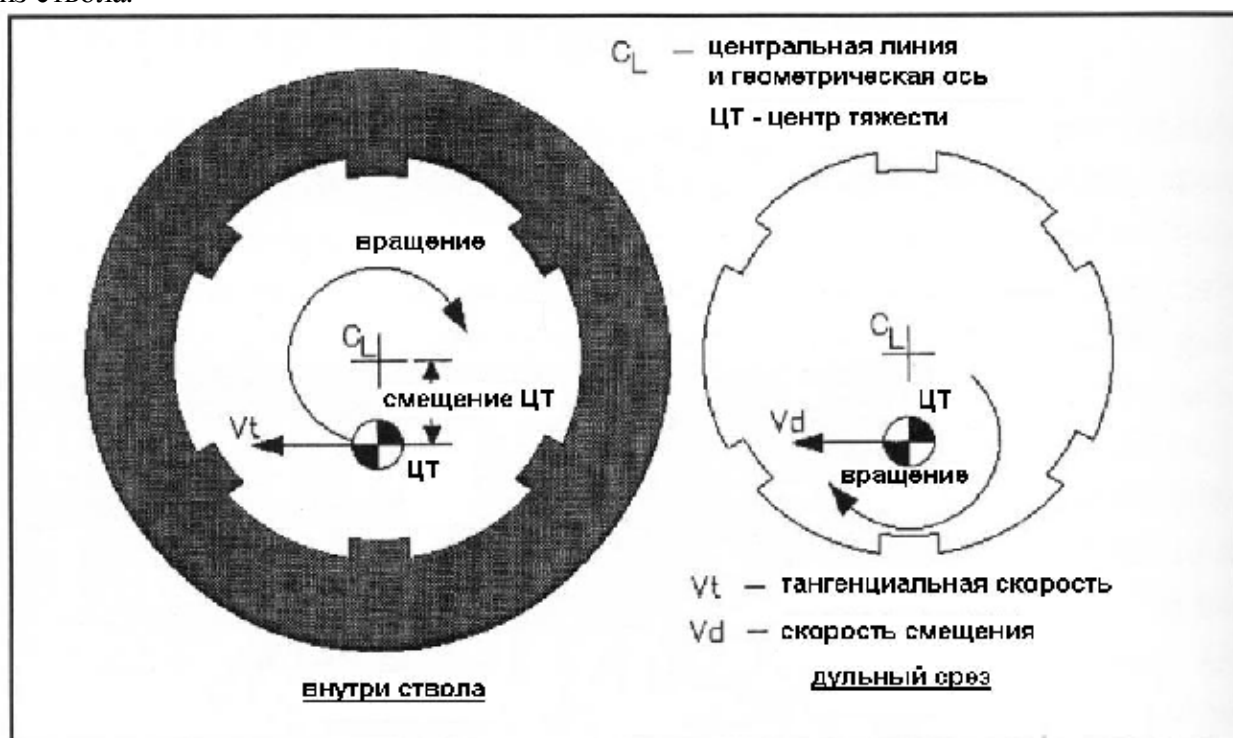


Рисунок 9-1 – Эскиз, показывающий как разбалансировка пули вызывает скорость поперечного смещения, которая служит причиной отклонения траектории пули после ее вылета из ствола.

Расстояние, на которое отклонится пуля, может быть вычислено умножением скорости поперечного смещения на время полета пули. Формула, по которой рассчитывается размер отклонения пули на цели следующая:

$$\sigma = 24 \pi (V/t) (\text{TOF}) \delta$$

где

σ = отклонение пули в дюймах, радиус рассеивания или размер промаха

$$\pi = \text{пи} = 3,14159$$

V = дульная скорость в фт/сек. Заметьте, что V на 50...100 фт/сек меньше измеренной скорости (2900 фт/сек). Это происходит из-за того, что дульная струя продолжает ускорять пулю после ее вылета из ствола.

t = шаг нарезов в дюймах на оборот (10 дюймов)

TOF = время полета (0,1 сек на 100 ярдов)

δ = отклонение ЦТ в дюймах

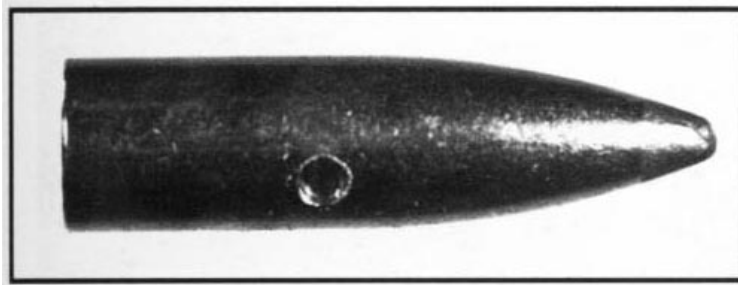


Рисунок 9-2 – Фотография пули 270 калибра, модифицированной просверливанием отверстия, для специального создания гигантского смещения ЦТ в 0,00118 дюйма.

В следующем разделе мы экспериментально определим радиус рассеивания при отклонении ЦТ в 0,00118 дюйма. Это в три-четыре раза превосходит смещение, возможное при изготовлении пули. Это значение отклонения ЦТ было рассчитано из диаметра и глубины просверленного отверстия в боковой стороне пули, использованной в нижеследующем эксперименте. Давайте рассчитаем ожидаемый радиус рассеивания на 100 ярдов для такого увеличенного смещения ЦТ.

$$\sigma = 24 * 3,14159 * (2900/10) * 0,1 * 0,00118 = 2,58 \text{ дюйма}$$

в 1909 году Др. Франклин Манн (Dr. Franklin Mann) опубликовал книгу (Ссылка 21) с формулой, аналогичной представленной здесь. Хотя формула была верна и подтверждена им на практике, ее физическое объяснение было дано некорректно. Тем не менее, это была знаменательная книга для того времени. Теперь определим экспериментально эффект смещения ЦТ.

Экспериментальное определение

Обратимся снова к «Старому Трюку Инженеров» - увеличению влияния с целью упрощенного его измерения. Теперь мы специально разбалансируем 90 грановую пулю 270 калибра просверливанием отверстия в ее боковой стороне точно на половинную глубину. Отверстие просверливается в месте расположения ЦТ по длине пули. Рисунок 9-2 демонстрирует картинку пули, которая была модифицирована для получения смещения ЦТ в 0,00118 дюйма. Рисунок 9-3 – распечатка мишени, показывающая отверстия от пуль в четырех трехпатронных группах, отстрелянных с позиционированием отверстия вверх, вправо, вниз и влево на дульном срезе. Символы квадратиков показывают центры каждой

группы, а рисунки окружностей возле групп показывают направление отверстия в пуле в момент вылета из ствола. Если вы посмотрите на группу 1, то увидите, что отверстие в пуле направлено вверх на дульном срезе, это означает, что ЦТ пули будет ниже геометрической оси. При вращении по часовой стрелке (правосторонние нарезы) ЦТ в группе 1 будет смещаться влево, что означает отклонение пули влево, что и оказалось на самом деле. Если вы начертите окружность радиусом 2,5 дюйма, то увидите, что она проходит недалеко от центров всех четырех групп.

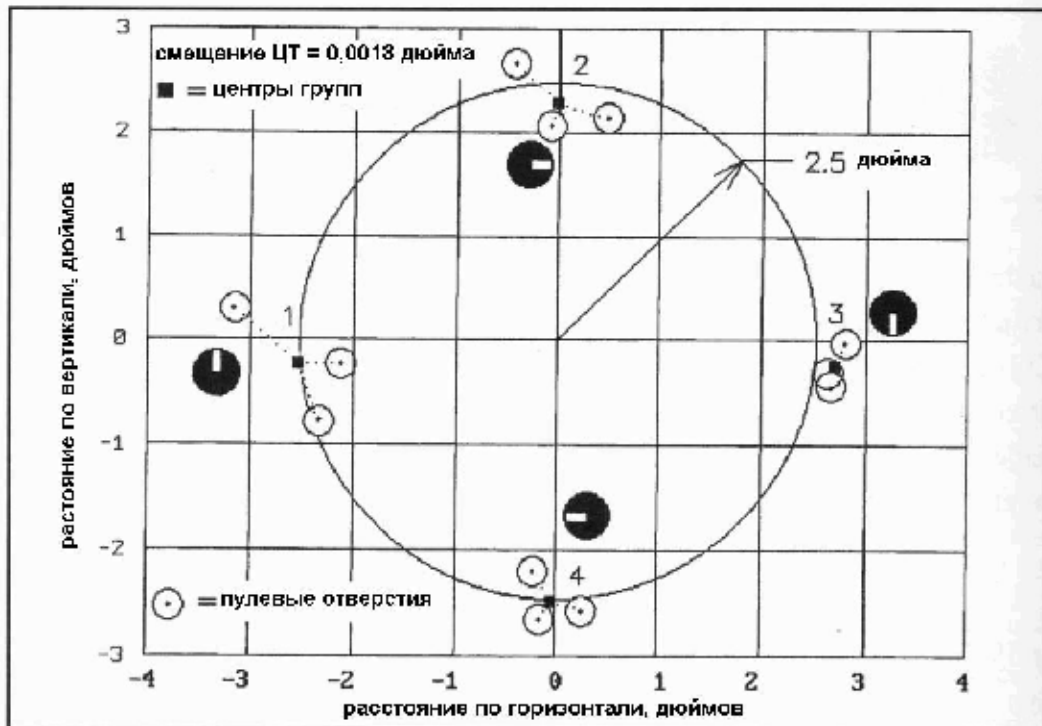


Рисунок 9-3 – Распечатка мишени, показывающая четыре 3-патронные группы, сформированные расположением пуль через 90 градусов по окружности. Пули имеют большое смещение ЦТ в 0,00118 дюйма. Экспериментально определенный радиус рассеивания был около 2,5 дюймов.

В предыдущем разделе мы рассчитали величину радиуса рассеивания в 2,58 дюйма. Угол вращения это просто угол поворота вокруг геометрической оси (центральной линии) пули. Если будете проводить этот тест, не забудьте достать экстрактор и эжектор и обеспечить достаточный зеркальный зазор между зеркалом затвора и донцем гильзы. Иначе вы повернете патрон в случайное положение и в результате получите ошибку. В обычных условиях направление отклонения будет абсолютно случайным, в зависимости от угла поворота ориентации асимметрии ЦТ. Этот тест подтверждает наши прогнозы по данной проблеме и определяет чувствительность рассеивания к размеру смещения ЦТ. Теперь вопрос, насколько плохо сбалансированы производимые пули? К сожалению, это требует очень большой работы, но это было сделано.

Измеренная разбалансировка пуль

Есть два метода измерения разбалансировки пуль – статический и динамический. Статический баланс – более простой, но менее точный и более медленный метод.

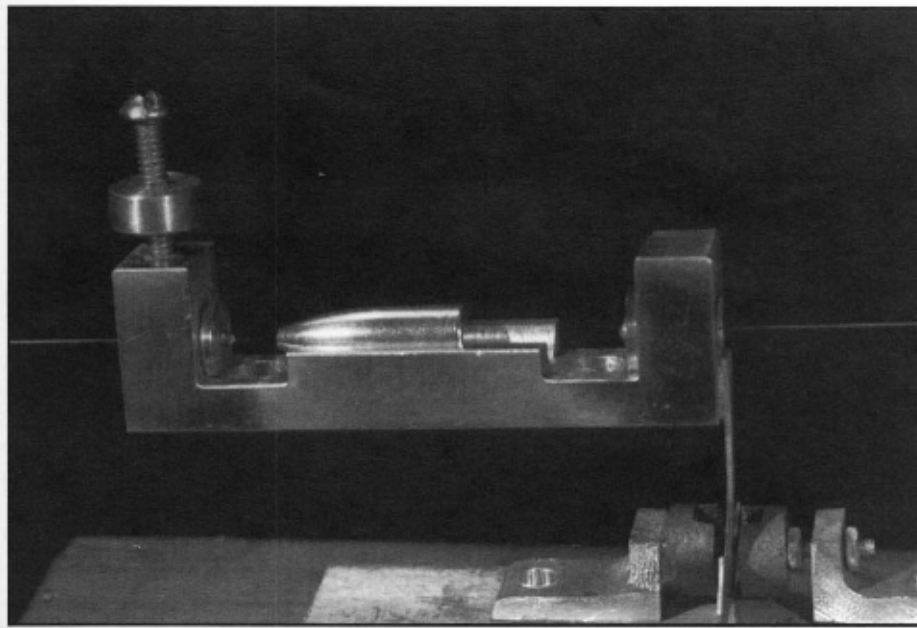


Рисунок 9-4 – Фотография приспособления для проверки статического баланса пуль. Конструкция основана на принципе крутильного маятника. Смотри Приложение С для полного описания.

На Рисунке 9-4 показано оборудование статической балансировки. Оно основано на принципе крутильного маятника, где люлька, в которой удерживается пуля, подвешивается между двумя кусками сильно натянутой стальной проволоки. Если пуля вращается, и есть смещение ЦТ, то люлька тоже будет вращаться и отклонять световой пучок, проецирующийся на экран световым пятном. Движение этого светового пятна показывает размер смещения ЦТ. Приспособление балансируется гайкой на винте в верхней части люльки, а коромысло, подвешенное между двумя магнитами, замедляет вращение люльки. Конструкция, калибровка и использование приспособления детально описаны в Приложении С. результаты измерения смещения ЦТ на коробке в 100 штук 90 грановых НР пуль калибра 270 показаны на графике на Рисунке 9-5. Можно заметить, что большинство пуль имеют смещение ЦТ между 0,1 и 0,2 мила, в то время, как некоторые из них разбалансированы на 0,3 мила. Это типично для обычных коммерческих пуль. Штучные матчевые пули имеют смещение ЦТ равное одной трети этого размера смещения. Имейте в виду, что 90 грановая НР пуля 270 калибра предназначена для варминга и в общем достаточно точна для этих целей.

Динамическое балансировочное приспособление показано на Рисунке 9-6. В этом приспособлении пуля вращается с частотой 120 оборотов в секунду (s^{-1}) в воздушном подшипнике, подвешенная между двумя магнитными микрофонами, служащими как электрические датчики.

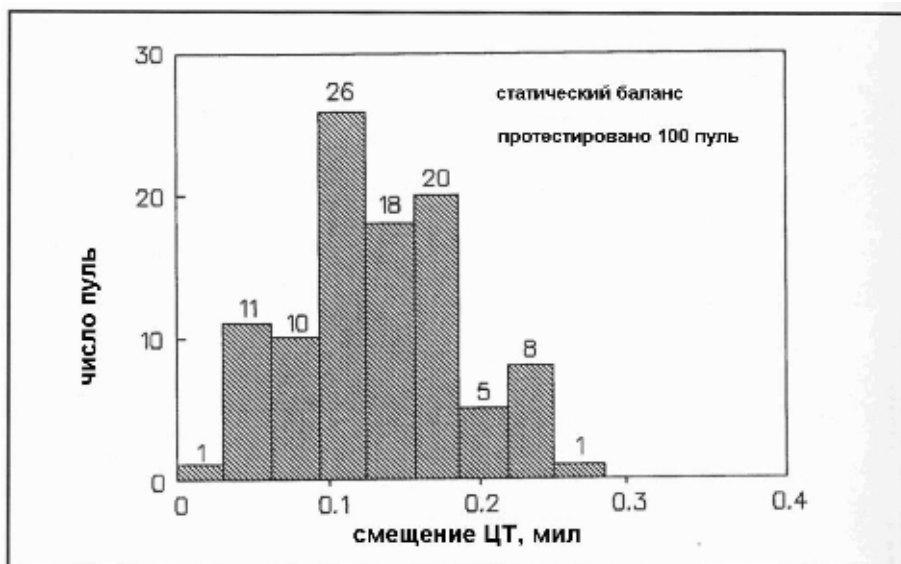


Рисунок 9-5 – Столбиковая диаграмма, показывающая результаты, полученные при проверке статического баланса коробки 100 пуль калибра 270.

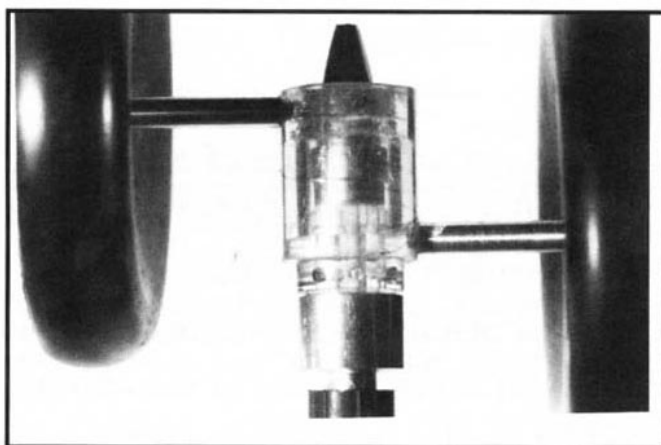


Рисунок 9-6 – Фотография динамического балансировочного приспособления для проверки пуль. Оно основано на принципе воздушного подшипника, где разбалансированная пуля, вращающаяся внутри пластикового цилиндра, производит осциллирующую силу на двух диафрагмах телефонных микрофонов. Это движение производит вибрирующий электрический сигнал, пропорциональный разбалансировке. См. Приложение С для полного описания.

При вращении пули без соприкосновения с внутренними поверхностями пластикового цилиндра, давление воздуха между вращающейся пулей и стенками цилиндрической полости заставляет цилиндрический носитель колебаться. Эта механическая вибрация передается на диафрагмы двух микрофонов и преобразуются в электрический сигнал, который можно вывести на осциллограф. Конструкция, калибровка и использование приспособления также детально описаны в Приложении С. результаты проверки баланса такой же коробки 100 пуль, как при статической проверке, показаны на Рисунке 9-7, и можно видеть, что результаты практически совпадают. Тем не менее, данные по динамической балансировке более гладкие и, возможно, более точные, чем при статической балансировке. Динамическое приспособление куда более простое в использовании и более точное, но его намного труднее изготовить, чем статическое.

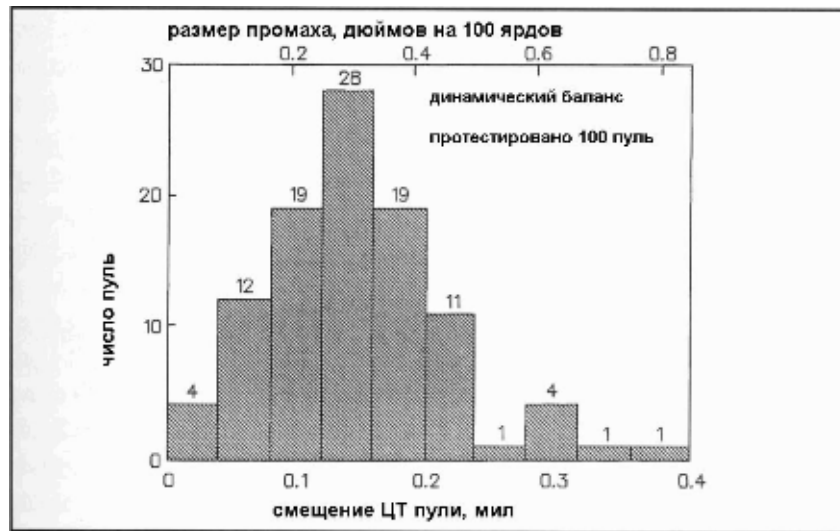


Рисунок 9-7 – Столбиковая диаграмма, показывающая результаты измерения динамической разбалансировки тех же 100 пуль, как и при статическом измерении на Рисунке 9-5. размер промаха для этих пуль на 100 ярдов показан на верхней шкале.

В верхней части графика на Рисунке 9-7 для соответствующего смещения ЦТ показаны размеры промаха (радиус рассеивания). Я разработал компьютерную программу, которая использует генератор случайных чисел для придания значения смещению ЦТ и углу поворота пули, и «выстрелил» двадцать 5-патронных групп. Я получил результат, что средний размер групп с использованием этой программы для тех же 100 пуль с Рисунка 9-7 должен быть около 0,7 дюйма на стволе с 10 дюймовым шагом нарезов. Максимальный рассчитанный размер группы был 1,3 дюйма и минимальный – 0,3 дюйма. Это хорошо соответствует последним тестам на точность из Главы 8, поэтому можно быть почти уверенным в том, разбалансировка пуль вносит основной вклад в оставшуюся неточность экспериментальной винтовки.

Я спешу заметить, что измеренная разбалансировка на этой конкретной пуле типична для стандартно произведенных пуль, которые я проверял. Фактически, я находил пули другого производителя, которые были еще хуже. Наиболее предположительной причиной разбалансировки является радиальная разница по толщине оболочки, которая появляется при глубоком протягивании плоского медного диска при формовке оболочки. Фактически, я был поражен, каким образом при массовом производстве пули могут получаться такими точными. Если вы измерите биение толщины оболочки на одном и том же расстоянии от донца, то получите отличие по окружности, соответствующие измеренным смещениям ЦТ. Изготовители утверждают в своих проспектах, что оболочки их охотничьих пуль концентричны с максимальным отклонением в 0,6 миля, а оболочки матчевых пуль – в 0,3 миля. Так как оболочка данной 90 грановой пули (hollow point) составляет около 1-3 общего веса, смещение ЦТ будет составлять около 2/3 не концентричности оболочки. Это означает, что смещение ЦТ будет около 0,4 мил для обычных пуль и около 0,2 мил для матчевых пуль. Эта разбалансировка в 0,4 миля хорошо согласуется с измеренными данными на Рисунке 9-7. Смещение ЦТ, конечно, обусловлено тем, что свинец намного тяжелее меди. Некоторые матчевые пули имеют смещение ЦТ меньше чем 0,1 мил. Я протестировал 6 мм 68 грановые матчевые пули и получил максимальное смещение ЦТ около 0,07 мил. Вам никогда не удастся получить группу из пяти патронов в среднем в 0,2 дюйма на 100 ярдов из бенчрест винтовки, если ваши пули не будут сбалансированы на 0,1 мил и лучше. Матчевые пули короче охотничьих и делаются с более тонкими оболочками, что, как я полагаю, более просто позволяет придавать им равную толщину при протяжке. К сожалению, толщина оболочки пуль обычного назначения должна сохраняться для обеспечения необходимых экспансивных характеристик по охотничьим животным. В об-

щем, я сомневаюсь, что какие либо изготовители могут быть в состоянии делать обычные пули существенно лучше, чем теперь, по крайней мере, до тех пор, пока кто-нибудь не придумает лучшего способа изготовления оболочек пуль. А нам остается только придумать какой-нибудь метод компенсации разбалансировки пуль до вылета пули из ствола.

Компенсатор разбалансировки пуль

Способом решения проблемы разбалансировки пуль могло бы быть обеспечение пуле возможности вращения вокруг своей центроидальной оси до вылета из канала ствола. Центроидальная ось проходит через ЦТ и параллельна геометрической оси пули. Если это сделать, то ствол будет уменьшать скорость поперечного смещения пули и уменьшать влияние разбалансировки пули. Я опробовал три метода изготовления такого компенсатора, и все три попытки были неудачными.

Первым решением было рассверлить дульную часть ствола на расстояние 3 дюйма. Чтобы это работало, радиальный зазор между пулей и каналом ствола должен быть небольшим (менее 3 мил). Причиной столь малого зазора является то, что корректирующий эффект зависит от вязкостного взаимодействия между пулей и стволом. Я пытался начинать с радиального зазора в 1 мил, и группы были огромными. Я постепенно увеличивал зазор и приблизительно на 10 милах радиального зазора винтовка начала стрелять также хорошо, как до проведения этой модернизации. После того, как я сделал теневые фотографии и увидел маленькие частично сгоревшие порошинки, летящие вперед вместе с пулей, я засомневался, будет ли этот метод вообще работать. Кроме того, после опытов я разрезал ствол и определил, что рассверловка не центрирована со стволом. Это и могло уничтожить эксперимент с самого начала. Если кто-нибудь захочет повторить это, я рекомендую использовать развертки с направляющей, изготовленные с шагом в 1 мил. В соответствии с компьютерной программой, это должно работать, но я мог ошибиться где-то в физической модели.

Другим методом компенсации смещения ЦТ могло быть придание стволу смещения относительно ЦТ пули перед вылетом пули из ствола. Я использовал два различных метода, и ни один не сработал. Один из них вроде бы работал, но он рисовал прямые линии отверстий от пуль на мишени, как результат температурных искажений. Я тестировал ствол на станке и нашел, что дульный срез достаточно покорежен умеренным изменением температуры, чтобы объяснить смещение.

В то время, как я не смог решить эту проблему, я решил двинуться дальше и опубликовать эту книгу, потому что это сложная проблема, и вообще она может быть не решаемой. Тем не менее, все, что вы можете сделать, это купить самые лучшие пули, которые вы только можете найти. Также можно отметить, что производители постоянно пытаются улучшить качество своих пуль, и в виду того, что эти данные были получены несколько лет назад, к настоящему моменту ситуация может измениться.

Изготовление пуль

Я лучше бы вытерпел лечение каналов зуба, чем изготовление собственных пуль, но при случае мне пришлось изготовить несколько специальных пуль. Существует множество статей, посвященных самостоятельному изготовлению пуль, и я хотел бы оспорить некоторые из приводимых рекомендаций. Одна из таких процедур – это смазка прутков перед их обжимкой в сердечники. Свинцовая проволока нарезается на прутки, которые слегка тяжелей обжатых сердечников. Потом прутки смазываются смесью вазелина и канифоли, могут использоваться и другие вещества для смазки. Это обычно осуществляется оборо-

чиванием прутков хлопчатобумажной тканью, смоченной в растворе смазки. Другой метод – растворение известного количества смазки в растворителе и окунание прутка в раствор. Потом раствор высушивается, растворитель испаряется, оставляя на прутке тонкий и ровный слой смазки. Скорее всего, это лучший метод, так как слой смазки остается тонким и равномерным. Потом смазанный пруток обжимается на обжимочном прессе в сердечник, а лишний свинец выдавливается. Потом сердечник обезжиривается растворителем. Обычно используется метилен хлорид, так как трихлорэтилен и 1,1,1-трихлорэтан запрещены к использованию Управлением по охране окружающей среды. Проблема в том, что растворитель используется снова и снова, что приводит к постепенному возрастанию концентрации смазки в растворителе. В результате тонкая пленка смазки может оставаться на сердечнике. Для решения этой проблемы некоторые изготовители пуль обезжиривают сердечники, пропуская их через серию из трех или четырех емкостей с растворителем, которые часто меняются, так что последняя емкость остается относительно свободной от растворенной смазки. Эта техника требует большого количества растворителя, но это лучше, чем долговременно использовать одно и то же количество растворителя. Использование смазки может вызвать потенциальные проблемы. Если смазка останется на сердечнике, может возникнуть отслаивание сердечника от оболочки в результате вращения пули, что приведет к рассеиванию. Кроме того, смазка может проникнуть внутрь сердечника при формовке прутков. Это может вызывать смещение ЦТ на готовой пуле. Я никогда не считал необходимым смазывать прутки перед их обжимкой в сердечники. Фактически, я вначале очищаю и обезжириваю прутки полосканием их в водном растворе стирального порошка (Lemon Joy) перед их обжимкой в сердечники. Я также очищаю обжатые сердечники таким же образом, чтобы быть уверенным в их чистоте. Тем не менее, я не делал больших количеств штучных пуль, таких как делают некоторые бенчрест стрелки, поэтому смазка может оказаться необходимой для таких количеств, хотя я не осознаю этого.

В этом деле чем чище, тем лучше. Фактически, матчевые пули должны изготавливаться в помещениях с такой чистотой, как при производстве электронных микросхем. Очень маленькая частица инородного вещества на сердечнике или внутренней поверхности оболочки может хватить для получения отрыва в одной группе, достаточного для проигрыша соревнования.

Проблема не концентричности оболочки – один из лимитирующих факторов на сегодняшний день, и я пытался подправлять оболочки обточкой и не получил результата. Возможно, вы могли бы использовать сверление на супер точном токарном станке с практически нулевым (<100 микродюймов) биением шпинделя и тем самым улучшить оболочки, но я сомневаюсь в этом. Такие станки должны существовать в больших мастерских, но они дороги и трудны в настройке. Лучшие матчевые оболочки производятся компанией J-4, которая сейчас присоединилась к Berger Bullets и эти оболочки очень хороши.

Я думаю, я уже упоминал, что случайно обнаружил маленькую пустоту в свинцовом сердечнике разрезанной пули, которая приводила к большому смещению ЦТ. Возможно, она обусловлена маленьким кусочком шлака, находившегося в свинцовой проволоке. За исключением рентгеноскопии, я не знаю, как кто-то может быть уверен в правильной форме сердечника. Конечно, это должно быть запретно дорого для производства.

Другая проблема, существующая для экспансивных пуль (hollow point) – это то, что верхняя часть сердечника может оказаться неплоской и не перпендикулярной оси при обжимке носика. Сердечник может также затекать за кромку пресса при обжимке носика, вызывая заливы свинца в месте соединения сердечника и оболочки. Эти проблемы могут вызывать смещение ЦТ и рассогласование основной оси. Я наблюдал эту проблему на коммер-

ческих пулях, которые я разрезал, и, как вы можете ожидать, они стреляли очень плохо. Короткая выступающая часть сердечника (0,06 дюйма), как приведенная на Рисунке 8-10, позволяет корректировать эту проблему уменьшением снижения диаметра в передней части пули. Только не делайте ее слишком длинной. Эта проблема может заставить вас задуматься над тем, что произойдет при сминании в нарезках при ударе пули о пульный вход. Останется ли сердечник симметричным? Никто не знает. Вы можете проверить это измерением динамического баланса пули до, и после выстрела с использованием очень мягкого метода подбора стреляной пули. Я не планировал делать это, потому что это может потребовать большого количества усилий. Может оказаться, что пули с суживающимся носиком будут работать хорошо, потому что длина контактирующей с нарезками части пули у них меньше. Некоторые бенчрест стрелки надеются получить преимущества в использовании таких пуль с коническим носиком, но у меня не было подобного опыта.

Другая проблема с экспансивными пулями – выступание сердечника слишком далеко в оживальный носик. Когда формируется оживальный носик, оболочка сжимается в короткие сегменты, обычно не равномерные по толщине. Если сердечник обжимается по этой передней части оболочки, он может производить асимметрию ЦТ.

Некоторые производители коммерческих пуль выпускают матчевые пули прекрасно сбалансированными. Коммерческие пули существенно улучшились за последние 30 лет. Тем не менее, штучные изготовленные вручную пули все еще выигрывают большинство бенчрест матчей. Я полагаю, что различие в качестве оболочек плюс вы можете отбраковать пулю, которая «не хорошо себя чувствовала» в процессе обжимки. Обычная машина не имеет такой возможности.

Если вы решили делать собственные пули, убедитесь в том, что используете слегка закругленный переход у донца пули. Острые углы, взаимодействуя с полями нарезов, могут производить маленькие заусенцы, которые будут отрываться от действия дульного выхлопа. Я видел это на старых теневаых фотографиях и подобранных стреляных пулях, и они могут быть причиной асимметрии. Как я уже упоминал, изготовление собственных пуль – проигрышная позиция до тех пор, пока вы не опробуете какой-нибудь новый способ или если это доставляет вам удовольствие. Но это может помочь вам стать слегка безумным!

Тест на точность

Это последний тест на точность на экспериментальной винтовке калибра 270 с 14 дюймовым шагом нарезов ствола. Можете припомнить, что последний тест в Главе 7 (Таблица 8) показал средний размер групп в 0,804 дюйма на 100 ярдов с использованием 90 грановой пули НР с 10 дюймовым шагом нарезов. Мы также теоретически определили в этой главе, что 270-й должен давать средние группы в 0,7 дюйма на 100 ярдов, если разбалансировка пуль была единственной ошибкой, влияющей на точность. В общем, мы должны ожидать $0,7 * 10 / 14 = 0,5$ дюймовые средние группы с 14 дюймовым в отличии от 10 дюймового шага нарезов, при отсутствии других влияющих на точность источников ошибки. Результаты теста для 270-го с 14” шагом нарезов показаны в Таблице 11.

Таблица 11

Тест на точность, калибр 270 Винчестер, шаг нарезов 14 дюймов, пуля 90 гранов, НР

Максимальные отклонения для двенадцати 5-патронных групп на 100 ярдов

Средняя	Максимальная	Минимальная
0,505	0,617	0,393

Я думаю, что максимальный вклад в оставшееся рассеивание на экспериментальной винтовке вносит разбалансировка пуль. Я также верю, что эта винтовка может давать в среднем группы около 0,2 дюйма на 100 ярдов с пулями матчевого класса и стволом с шагом нарезов 14". К сожалению, матчевые пули для 270 калибра сейчас не доступны. Это завершает нашу работу со спортером 270 калибра.

Глава 10

Внешняя баллистика

Внешняя баллистика или динамика полета – это знание о движении пули после ее вылета из ствола. Мы уже использовали компьютерную программу расчета траектории Шесть Степеней Свободы (6DOF) для определения влияния смещения центра тяжести (ЦТ) пули и влияния дульного выхлопа на траекторию наклоненной пули. Мы определили, как на самом деле летит пуля, и как это будет влиять на точность. Вся работа, проведенная в этой главе справедлива для правосторонних нарезов. Правосторонние нарезы считаются нормальным направлением нарезки стволов, но иногда случайно попадаются люди, использующие левосторонние нарезы. Для случая левосторонних нарезов направление конусообразного движения должно быть перевернуто. Мы начнем с краткого описания программы 6DOF.

Программа расчета траектории 6DOF

Компьютерная программа 6DOF – это незаменимый инструмент для изучения детализированного движения снаряда. Она производит это путем совместного решения трех уравнений линейного движения и трех уравнений углового движения. Эти уравнения показаны в Приложении D. Три угловых уравнения описывают угловое движение вокруг осей поворота, тангажа и рыскания. Данные из угловых уравнений используются для линейных уравнений, чтобы определить местоположение снаряда в пространстве. Шесть уравнений движения решаются совместно компьютером. Для использования программы 6DOF необходимо знать начальные условия, несколько аэродинамических коэффициентов и массовые характеристики снаряда. К сожалению, такие программы имеют недружественный интерфейс и обычно используются профессионалами. Наибольшая проблема состоит в нахождении аэродинамического коэффициента для конкретной формы пули. Это требует богатой библиотеки, которой большинство людей не имеет. В любом случае, мы будем широко использовать эту программу, которая очень точна, если вы знаете аэродинамику и массовые характеристики.

Гироскопическая стабильность

Много чего написано о гироскопической стабильности, но большинство из этого материала на самом деле не показывает читателю, как она влияет на движение пули и точность. С компьютерной программой 6DOF мы можем в деталях рассмотреть угловое конусообразное движение пули. Рисунки с 10-1 до 10-4 показывают конусообразное движение пули для четырех значений гироскопической стабильности (ГС), лежащих в диапазоне от 1,13 до 2,98. Эти рисунки показывают угол атаки в вертикальной плоскости (тангаж) по вертикальной оси в зависимости от угла бокового наклона (рыскания) по горизонтальной оси при начальном угле атаки около 0,2 градуса на Рисунках с 10-1 по 10-3. Для Рисунка 10-4 был выбран меньший угол в 0,13 градуса. Начальный угол атаки в 0,2 градуса был выбран потому, что это типичный максимальный начальный угол атаки, который может присутствовать в хорошей винтовке, имеющей патронник и пульный вход по центру канала ствола. Начальный угол атаки, возможно, значительно меньше на хороших бенчрест винтовках, использующих гильзы с обточенными шейками пули, сидящие в контакте с нарезами. Лучший путь к пониманию этих рисунков – представить, что вы смотрите сзади вдоль направления полета пули и наблюдаете движение носика пули. Конечно же, пуля летит по траектории, напоминающей штопор, вокруг среднего направления полета. Влияние штопорообразного движения пули на точность будет рассмотрено далее. Заметьте, что пуля начинает конусообразное движение с большой частотой (быстрая прецессия), кото-

рое довольно быстро замедляется, и пуля стабилизируется на более низкой частоте конического движения (медленная прецессия). Чем выше гироскопическая стабильность, тем меньше частота медленной прецессии и выше частота быстрой прецессии. Иными словами, чем выше гироскопическая стабильность, тем быстрее замедляется медленная прецессия. Это является желательным, так как медленно прецессирующее конусообразное движение более стабильно. Заметьте, что в случае, когда $ГС=1,13$ (Рисунок 10-4) медленная прецессия возрастает быстрее из начального угла атаки в $0,13$ градуса до максимального угла атаки в $0,25$ градуса и лишь слегка замедляется на расстоянии 200 ярдов.

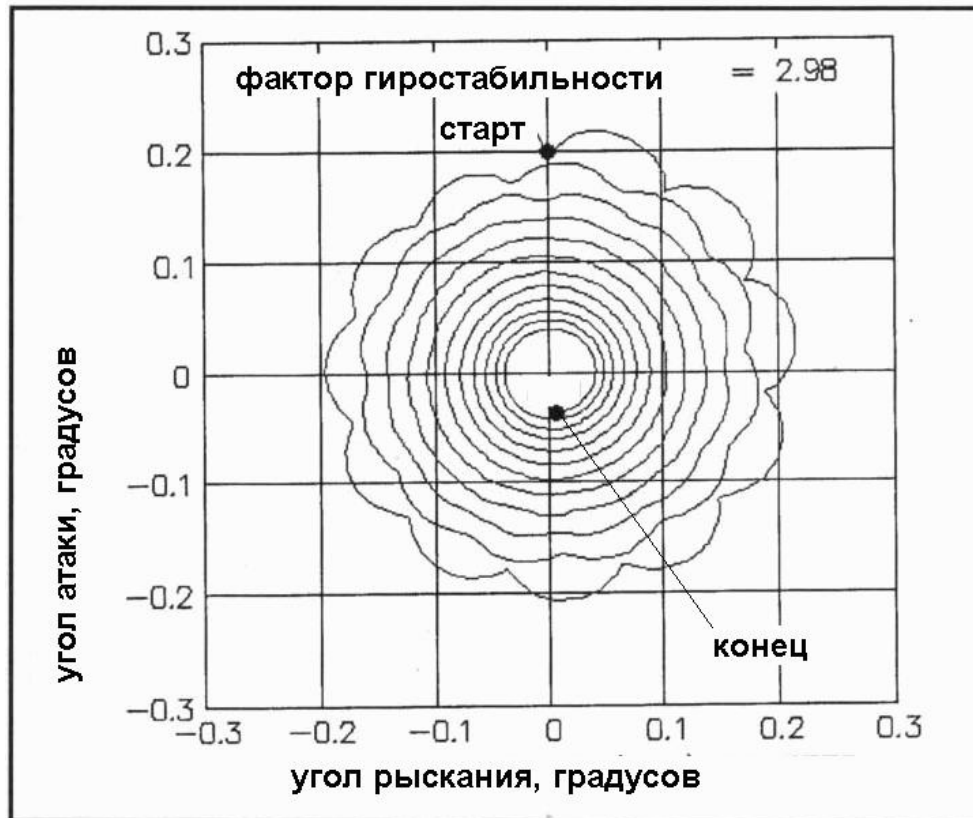


Рисунок 10-1 – Распечатка с программы *bDOF*, показывающая конусообразное движение пули с большим фактором гироскопической стабильности ($ГС$), равным $2,98$. Если смотреть вдоль направления полета пули, движение ее носика будет происходить по спирали, показанной на графике. Пуля выпущена из ствола под углом атаки $0,2$ градуса и попадает в цель на расстоянии 200 ярдов. Заметьте присутствие компонента с высокой частотой (быстрая прецессия), которая быстро спадает до медленного компонента движения (медленная прецессия), которая стабильна.



Рисунок 10-2 – Распечатка, показывающая угловое движение пули при $ГС=1,91$, выпущенной под начальным углом атаки $0,2$ градуса. Заметьте, что частоты прецессии меньше, чем на предыдущем графике, где $ГС$ был $2,98$, и коническое движение держится дольше до затухания.



Рисунок 10-3 – Распечатка, показывающая конусообразное движение пули с $ГС=1,41$, выпущенной под углом атаки в $0,2$ градуса. Этот $ГС$ типичен для бмм 68 грановой пули.



Рисунок 10-4 – Распечатка, показывающая конусообразное движение для пули, выпущенной под углом атаки в 0,13 градуса с очень низким ГС = 1,13. вы можете видеть, как конусообразное движение трудно затухает на протяжении всех 200 ярдов дистанции по сравнению с тремя предыдущими случаями. Также заметьте, что угол атаки быстро вырастает до угла в 0,25 градуса. Такое движение типично для всех пуль с низким ГС и нормальной оживальной формой носика.

Были проведены вычисления на программе 6DOF для 90 грановых пуль калибра 270 для шагов нарезов в 8, 10, 11.6 и 13 дюймов и для высоты над уровнем моря в 5000 футов с целью демонстрации. Тем не менее, конусообразное движение верно для пули любого калибра с оживальным носиком и плоским донцем при одинаковом значении фактора гироскопической стабильности. На уровне моря значение ГС должно быть меньше приблизительно на 16%. Типичное значение фактора гироскопической стабильности для 6мм 68 грановой пули НР около 1,4 на 14” шаге нарезов на уровне моря (Рисунок 10-3), а для высоты над уровнем моря 5000 футов будет около 1,6. Мы определим фактор гироскопической стабильности для 6 мм 68 грановой пули экспериментально дальше в этой главе, при влиянии ветрового сноса.

Рисунок 10-5 показывает, насколько максимальный угол конуса меняется от гироскопической стабильности. Заметьте, что хотя начальный угол атаки остается постоянным и равным 0,2 градуса, максимальный угол конуса возрастает до около 1 градуса при значении фактора гироскопической устойчивости в 1,0. Радиус штопорообразного движения, обусловленный конусообразным движением, также быстро увеличивается, если ГС уменьшается до 1, вызывая значительное рассеивание. Вы можете получить результат с низким ГС (медленное вращение) на больших высотах при высокой температуре, но комбинация низких высот, высокого атмосферного давления и низкой температуры может сместить точки данных влево более чем на 20%.

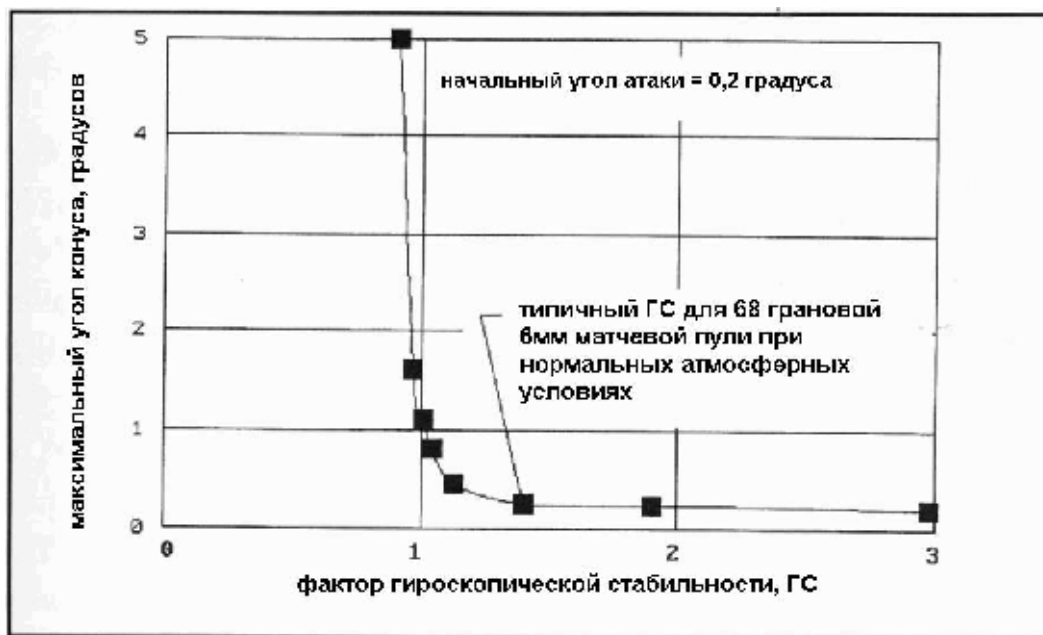


Рисунок 10-5 – Распечатка, показывающая насколько максимальный угол конуса изменяется от величины ГС. Если ГС уменьшается до единицы, максимальный угол конуса и радиус штопорообразного движения очень быстро возрастают. Необычные атмосферные условия (высокое давление, низкая температура) могут уменьшать ГС на 20% и больше. Это может сделать нормально стабилизированную пулю очень нестабильной.

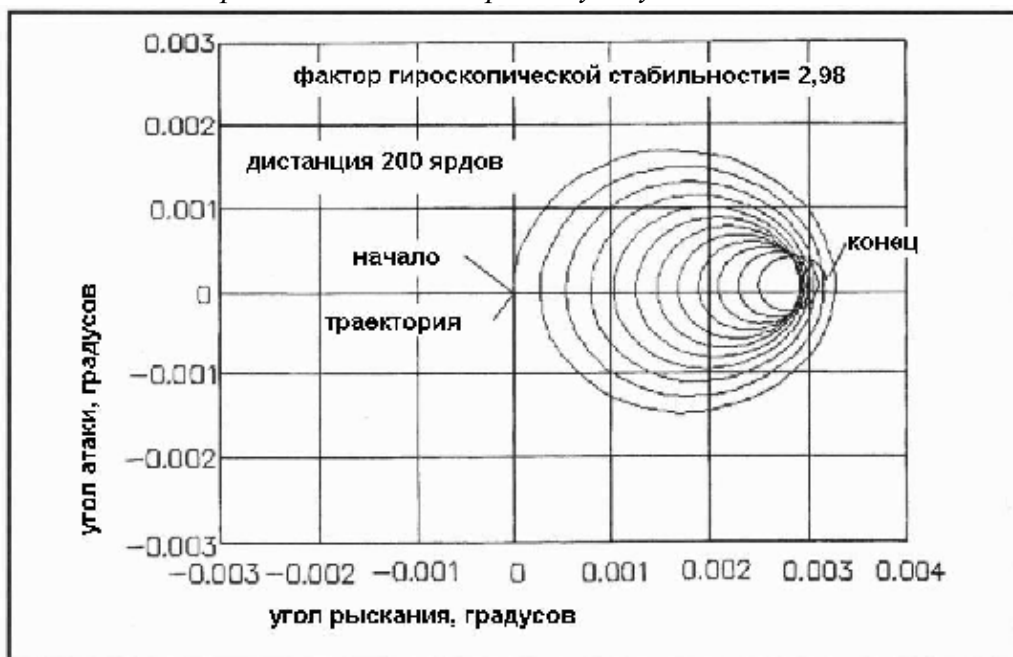


Рисунок 10-6 – Распечатка, демонстрирующая конусообразное движение при ГС=2,98, где пуля выпущена под нулевым углом атаки, но под действием гравитационных сил получает очень небольшой угол атаки. Цель графика – показать, как пуля постепенно направляет свой нос вправо для правосторонних нарезов в результате гироскопического эффекта, известного как рыскание состояния равновесия (деривация). Заметьте, что шкала в 100 раз чувствительней, чем на Рисунках 10-1 до 10-4, и углы эти очень малы.

Это может сделать 6 мм пулю в 15” нарезах (ГС=1,2) гироскопически нестабильной, что приведет к большому рассеиванию.

Для демонстрации другой особенности конусообразного движения, была запущена программа с данными, похожими на показанные на Рисунке 10-1, за исключением того, что

пуля была запущена без возмущения (Рисунок 10-6) для демонстрации эффекта деривации (yaw of repose). Конусообразное движение происходит от действия гравитации на пулю с того момента, как она покидает канал ствола. Заметьте, что шкала в 100 раз чувствительней, чем на Рисунках 10-1 до 10-4, и углы эти очень малы. На Рисунке 10-6 можно видеть, что пуля имеет конусообразное движение с очень малой амплитудой, которое постепенно затухает со смещением носика пули вправо для правосторонних нарезов. Это называется деривацией, и смещение вправо обусловлено гироскопическим эффектом, получающимся в результате направленного вниз изгиба траектории полета. Угол деривации заставляет пулю смещаться вправо на 0,215 дюйма на 200 ярдах. Этот эффект деривации не является проблемой точности, так как постоянен от выстрела к выстрелу. Тем не менее, он будет влиять на вертикальный компонент ветрового сноса, который мы будем обсуждать позже в этой главе.

Существует возможность расчета частот быстрой и медленной прецессии из аналитической теории (Трициклическая Теория), разработанной с высокой степенью совершенства в 1950-1960-х годах автором и другими (Ссылки 22 и 23). Это очень удобный инструмент для использования профессионалами при анализе проблем динамики летящих объектов. Рассмотрим две простые формулы, позволяющие рассчитать две частоты прецессии. Если читатель дружит с математикой, формулы скажут ему, как частоты зависят от изменения разных величин. Частоты быстрой (F1) и медленной (F2) прецессий равны

$$F1 = [(p \cdot I_x)/(2 \cdot I) + \{[(p \cdot I_x)/(2 \cdot I)]^2 - [M\alpha/\Gamma]\}^{1/2}]/(2 \cdot \pi), \text{ Гц}$$

$$F2 = [(p \cdot I_x)/(2 \cdot I) - \{[(p \cdot I_x)/(2 \cdot I)]^2 - [M\alpha/\Gamma]\}^{1/2}]/(2 \cdot \pi), \text{ Гц}$$

Где

p = частота вращения в радианах в секунду, радиан в секунду = $\Gamma \cdot 2\pi$;

I_x = момент инерции вращения, слаг-фт² = фунт-фут²/g;

I = поперечный момент инерции, слаг-фт²;

$M\alpha$ = наклон аэродинамического момента тангажа в зависимости от угла атаки (α).

Моменты инерции могут быть рассчитаны, но гораздо точнее определить их экспериментально. Частота быстрой прецессии (F1) обычно составляет около одной десятой частоты вращения пули, а частота медленной прецессии (F2) обычно около одной шестой частоты быстрой прецессии для пуль средней длины. К примеру, на Рисунке 10-2, где частота вращения пули около 3600 Гц, F1 должно быть около 360 Гц, и F2 около 60 Гц. Реальные частоты на Рисунке 10-2 - F1=450 Гц, а F2=75 Гц. Причина такого различия в том, что отношение I_x/I больше для короткой 90 грановой пули, чем для нормальной 130 грановой пули 270 калибра. В данном случае 90 грановой пули отношение F1 к частоте вращения должно быть больше похоже на одну восьмую. 6мм 68 грановая пуля будет иметь приблизительно одинаковые показатели.

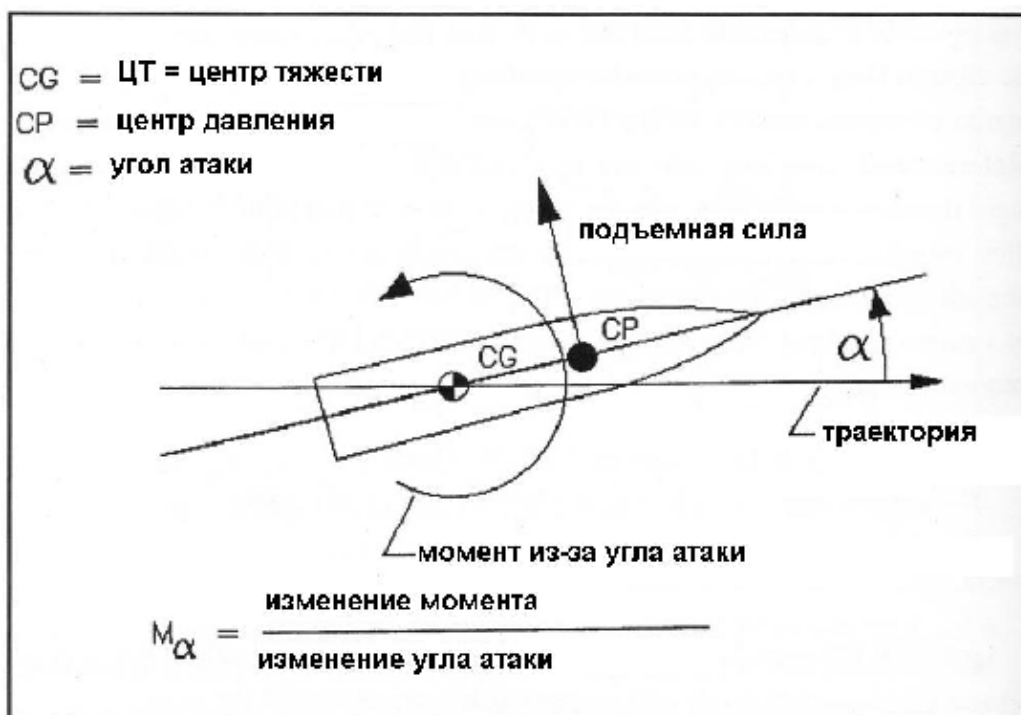


Рисунок 10-7 – Эскиз, демонстрирующий как подъемная сила, действующая впереди центра тяжести производит дестабилизирующий момент, поднимающий нос пули относительно ЦТ.

Заметьте, что M_α всегда положительно для пуль, которые аэродинамически нестабильны, но гироскопически стабилизированы. Отметьте также, что все нормальные формы пуль аэродинамически нестабильны и будут опрокидываться, если их не раскрутить до высоких частот вращения. Рисунок 10-7 демонстрирует, как возникает аэродинамический опрокидывающий момент. Если пуля имеет угол атаки или угол горизонтального наклона (или оба из них) относительно свободного воздушного потока (или траектории), то так как центр давления обычно находится впереди ЦТ, возникает подъемная сила. Это заставляет пулю вращаться носиком кверху, тем самым, увеличивая угол атаки. В общем, это дестабилизирующий момент. Если гироскопическая стабильность достаточно большая, она предотвращает увеличение угла атаки. Момент на аэродинамически стабильном теле, таком как ракета с хвостовым оперением, имеет отрицательное значение M_α , или стабильный момент тангажа, потому что общая подъемная сила действует на тело позади ЦТ. Теперь посмотрим на формулы для $F1$ и $F2$. Если M_α/I больше, чем $[(p \cdot I_x)/(2 \cdot I)]^2$, тогда получается квадратный корень из отрицательного числа, что в математике «не имеет смысла», и означает, что снаряд гироскопически нестабилен. Это позволяет нам определить фактор гироскопической стабильности (ГС) как

$$ГС = [(p \cdot I_x)/(2 \cdot I)]^2 / [M_\alpha/I], ГС \geq 1$$

Где ГС должен быть больше либо равен 1 для гироскопической стабильности. Не надо пытаться рассчитать эту вещь, потому что я покажу вам более простой метод измерения гироскопической стабильности в разделе ветрового сноса.

Причинами, по которым я привел здесь все это, являются, в первую очередь, показать вам правильный метод расчета гироскопической стабильности, и из чего она выводится, и, во-вторых, что более важно, показать, как гироскопическая стабильность зависит от частоты вращения, моментов инерции и аэродинамики.

Для примера, мы можем показать, что ГС не зависит от скорости, за исключением небольшого влияния числа Маха на $M\alpha$, ввиду того, что и квадрат частоты вращения p и $M\alpha$ пропорциональны квадрату скорости. Число Маха это просто скорость V , деленная на скорость звука a .

$$M = V/a$$

Где скорость звука

$$a = 1117 * [(^{\circ}F + 460) / 519]^{1/2}, \text{ футов/сек} = 1130 \text{ фт/сек при } 70^{\circ}F$$

Рисунок 10-8 показывает влияние числа Маха на $M\alpha$ в формуле аэродинамического коэффициента для пули 7,62 НАТО (Ссылка 24). Вы можете видеть, что пуля замедляется на дальней траектории, число Маха уменьшается, коэффициент момента ($M\alpha$) увеличивается. Это означает уменьшение ГС на больших дальностях, и в некоторых случаях этот эффект может быть достаточным, чтобы пуля стала нестабильной.

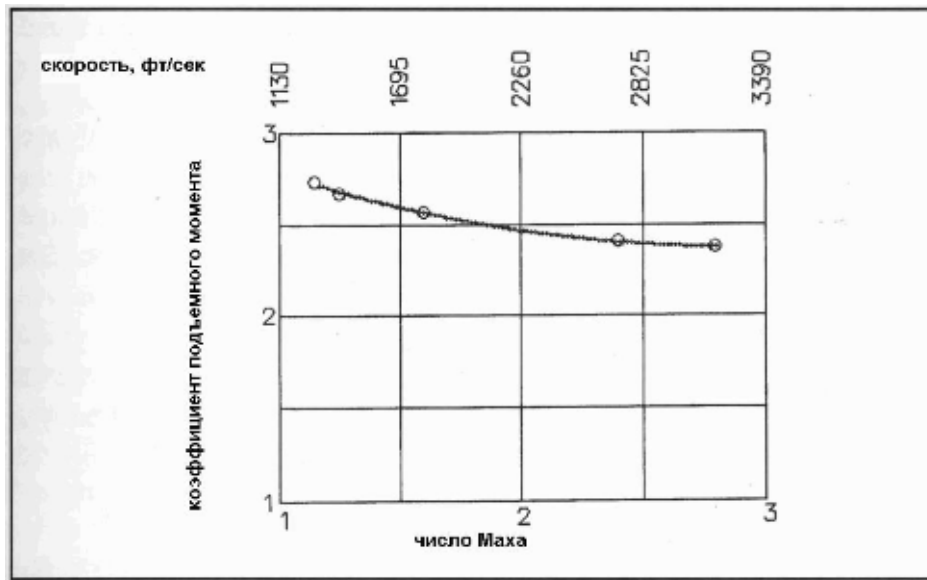


Рисунок 10-8 – График, показывающий возрастание экспериментального опрокидывающего момента с уменьшением скорости и увеличением числа Маха. Это дестабилизирующий эффект.

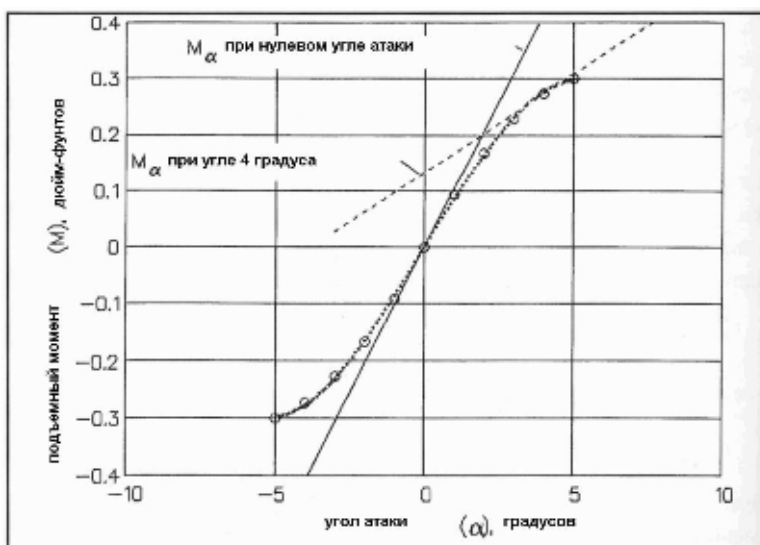


Рисунок 10-9 – Влияние изменения угла атаки на наклон момента тангажа $M\alpha$ при 3000 фт/сек. Пуля более стабильна на больших углах атаки.

Так обычная пуля имеет ГС=1,3 на 2034 фт/сек ($M=1,8$) и ГС в 2,2 на 3164 фт/сек ($M=2,8$). Этот диапазон скоростей соответствует дальности 600 ярдов, если пуля выпущена из ствола со скоростью 3164 фт/сек.

Мы имели дело с $M\alpha$, как с постоянной в зависимости от угла атаки (α), но это справедливо только для малых углов. На рисунке 10-9 показана обычная зависимость момента тангажа (M) как функции от угла атаки (α). Вы можете видеть, что угол наклона кривой

($M\alpha$) уменьшается с увеличением угла атаки. Это означает, что пуля становится более стабильной при увеличении угла атаки. Это означает, что пуля с ГС равным 1 на больших дальностях может быть стабильной при небольших углах конуса (углах атаки). В этом случае нос пули будет двигаться по окружности, соответствующей углу, и будет стабильным. Это известно под названием предельный цикл и это на самом деле случается с пулей калибра 7,62 на больших дальностях. Так что, реальность в этом деле может быть очень запутанной.

Плотность воздуха в значительной степени влияет на $M\alpha$, так как $M\alpha$ пропорционален плотности. Чем выше плотность, тем ниже ГС. Следующая таблица показывает влияние высоты над уровнем моря на плотность при температуре воздуха 70°F.

Таблица 12

Влияние высоты над уровнем моря на плотность воздуха

Высота, фт	Плотность, Фунтов/фут ³	Коэффициент плотности	Фактор плотности σ , (1/коэф. плотности)
Уровень моря	0,0765	1,0000	1
1000	0,0743	0,9711	1,0298
2000	0,0721	0,9428	1,0607
3000	0,0700	0,9152	1,0927
4000	0,0679	0,8881	1,1260
5000	0,0659	0,8617	1,1605
6000	0,0639	0,8359	1,1963
7000	0,0620	0,8107	1,2335
8000	0,0601	0,7860	1,2723
9000	0,0583	0,7620	1,3123
10000	0,0565	0,7385	1,3541

Коэффициент плотности = плотность/(плотность на уровне моря)

Фактор плотности – величина обратная коэффициенту плотности и показывает, на сколько умножается ГС. Естественно, на высоте 10000 футов ГС будет больше в 1,35 раза, или на 35% больше. Это означает, что если вы живете на высоте уровня моря, ваши пули будут более гироскопически стабильны на больших высотах.

Температура воздуха также влияет на плотность воздуха. Плотность обратно пропорциональна коэффициенту абсолютной температуры. Абсолютная температура (° Рэнкина) равна температуре по Фаренгейту плюс 459 градусов. Для примера, плотность при 100 °F (549 °R) на 12% меньше, чем при 30°F (489°R). Это означает, что гироскопическая стабильность будет на 12% меньше при более холодной температуре. Атмосферное давление и влажность также влияют на плотность воздуха. Атмосферное давление может обычно варьироваться на 7% между областями Высокого и Низкого давления, вызывая пропорциональное влияние на плотность при равной температуре. Атмосферная влажность может вызвать изменения плотности на 2,4% между 0% и 100% влажностью. Высокая влажность уменьшает плотность – как раз наоборот от того, как полагает большинство людей. Влажность обычно меньше на пониженных температурах. Итак, если вы стреляете в области повышенного давления при низкой температуре, вы будете иметь понижение ГС на 20% по сравнению с идеальными условиями (низкое атмосферное давления и высокая температура). Если вы используете ствол с медленными нарезами (15 дюймов), где ГС

только 1,2 в идеальных условиях, вы будете иметь эффективный ГС меньшим 1, и пули будут нестабильны.

Также надо заметить, что ГС обратно пропорционален квадрату частоты нарезов и обратно пропорционален диаметру пули. Кроме того, ГС пропорционален Ix^2/I . Вот почему матчевые пули для бенчреста короткие и легкие, что максимизирует это отношение, и позволяет использовать медленную частоту нарезов. Как мы определили в Главе 9, минимизация частоты нарезов также минимизирует ошибку рассеивание вследствие смещения ЦТ.

Как же влияет ГС на точность? Важно осознавать, что пуля движется по штопорообразному пути вокруг траектории, и это движение конусообразно. На Рисунках с 10-1 по 10-3 угол конуса при запуске составляет 0,2 градуса, что вполне может случиться. Для угла атаки в 0,2 градуса радиус спирали штопора будет около 0,009 дюйма при ГС=2,98. Ко времени достижения пулей расстояния 200 ярдов угловое движение замедляется, и радиус спирали штопора составляет лишь 0,003 дюйма. Для меньших ГС радиус спирали штопора будет еще меньше. Причину такого поведения можно увидеть из формулы для радиуса спирали штопорообразного движения.

$$R = q * S * CL\alpha * \alpha * 12 / [(F2)^2 * m]$$

Где

R = радиус спирали штопорообразного движения, дюймов

q = динамическое давление, $\frac{1}{2} * \text{плотность воздуха} * V^2$. Плотность на уровне моря = 0,00238 слаг/фт³ (0,0765 фунтов/фт³)

V = скорость пули, фт/сек

S = площадь поперечного сечения пули, фт²

CL α = коэффициент угла подъема, изменяется от 2,25 для оживала в 8 калибров до 3 для 6-калиберного оживала

α = угол конуса, радиан. Радиан = градусы/57,3

F2 = частота медленной прецессии, рад/сек. Изменяется от 64 Гц при ГС=2,98 до 127 Гц для ГС=1,13

m = вес пули (фунтов), деленный на G (G=32,16фт/сек²)

Эта формула хорошо согласуется с моделированием полета пули программой 6DOF. заметьте, что радиус R уменьшается при увеличении частоты медленной прецессии (F2), а ввиду того, что F2 увеличивается при уменьшении ГС, радиус будет быстро уменьшаться на меньших ГС. Другими словами, чем меньше гироскопическая стабильность, тем меньше радиус штопорообразного движения.

Тем не менее, это еще не все. Отметьте на Рисунке 10-4 (ГС=1,13), как угол конуса прыгает вдвое от начального угла в 0,13 градуса и не спадает. При стремлении ГС к единице, этот эффект возрастает очень быстро и снаряд не затухает вообще. При специальном уменьшении ГС (ГС<1.1) я имел попадания от пуль на цели в круге диаметром два фута. Некоторые стрелки используют 6мм стволы с 15 дюймовыми нарезами в отличии от

обычных 14 дюймовых. Это уменьшает рассеивание от смещения ЦТ на 7% и может уменьшить размер групп на 5-6%, если считать смещение ЦТ основной причиной рассеивания. Но это также уменьшает ГС с 1,4 до 1,2 при нормальных условиях, и результат может быть непостоянным при неблагоприятных атмосферных условиях. При нормальных условиях рассеивание, обусловленное штопорообразным движением слишком мало по сравнению с другими источниками ошибки, чтобы о нем беспокоиться, но может стать ненормальным при слишком маленьких факторах гироскопической стабильности (ГС).

Вспомните, как мы тестировали влияние дульного выхлопа наклон пули в стволе (Глава 7), где наблюдалось гораздо большее влияние (0,2 дюйма в радиусе рассеивания для наклона пули на 0,2 градуса), и влияние штопорообразного движения также включалось. Ошибка дульного выхлопа, приводившая к возникновению скорости поперечного смещения в результате давления дульного выхлопа, мало что делала со штопорообразным движением. Тем не менее, тесты в Главе 7 проводились при ГС равном 1,6, и я уверен, что влияние дульного выхлопа было бы большим при меньших ГС. Так, ГС работает и имеет влияние на рассеивание даже на малых дальностях.

Вот причины, вызывающие начальный угол атаки пули в момент ее вылета из ствола: наклон пули в канале ствола, наклон донца пули, дефект канала ствола на дульном срезе, и, возможно, продукты сгорания пороха, лежащие снизу в канале ствола. Тем не менее, имейте в виду, что влияние дульного выхлопа намного больше влияния штопорообразного движения, возникающего после пролета пулей района переходной баллистики около дульного среза. После того, как пуля покинет район дульного среза, возникают другие факторы, влияющие на пулю и производящие угол атаки и коническое движение. Боковой ветер в 20 миль в час вызывает начальный угол атаки в 0,5 градуса, и служит причиной конусообразного движения. При малых ГС начальный угол атаки будет возрастать в два раза и больше. Если компонент бокового ветра будет постоянным от выстрела к выстрелу, это не повлияет на рассеивание. Тем не менее, если вы стреляете в изменяющихся условиях, и воздерживаетесь от корректировки на ветровой снос, будет наблюдаться рассеивание, дополнительное к обычной ошибке от ветрового сноса. Рассеивание это может быть в любом направлении, не обязательно горизонтальным. Эта ошибка может быть больше, чем обсужденная ранее, но простого метода ее определения не существует. Здесь слишком много переменных величин, но повышение ГС будет только на руку. Одиночная маленькая дождевая капля может заставить пулю возвращаться под большим углом атаки и вызвать серьезный отрыв от группы. Насколько большим будет отрыв, зависит от размера капли, и в каком месте она ударилась о пулю. Вероятность попадания пули в каплю дождя зависит от плотности дождя и длины траектории, но это случается.

Оптимальная ситуация – обеспечить ГС от 1,4 и выше при минимальной частоте вращения. Если попытаться сместить ЦТ в пуле данной формы вперед, это должно уменьшить $M\alpha$ и увеличить ГС. В 1960 годах я сделал пулю 270 калибра в оболочке от 150 грановой пули стабилизируемую на медленных нарезах, сместив ее ЦТ вперед. В донную часть пули был вставлен пластиковый цилиндр, а свинцовый сердечник был обжат поверх него (Рисунок 10-10). Такая конфигурация сместила ЦТ прямо в центр давления, и пуля стала стабильной для 16 дюймовых нарезов. Для 150 грановая пуля 270 калибра обычно требуются 10 дюймовые нарезы. В общем, ошибка от смещения ЦТ была уменьшена почти на 38%. Хотя точность и выросла, но она оказалась не на столько высокой, как я ожидал из-за большого биения оболочек. Кроме того, пуля 270 калибра весила 100 гранов, поэтому баллистический коэффициент снизился. Эта идея могла бы лучше пригодиться для бмм матчевых пулевых оболочек и нарезов, более медленных, чем 14 дюймовые для бенчрест

соревнований. На данный момент 6 мм 68 грановая матчевая пуля на 3200...3300 фт/сек на 14 нарезов ведет себя также, как вы сможете ее изготовить.



Рисунок 10-10 – Фотография пули 270 калибра с легким пластиковым цилиндром, обжатый в задней части пули за свинцовым сердечником.

Это сместило ЦТ вперед на достаточное расстояние, чтобы стабилизировать пулю для 16 дюймовых нарезов. Такая оболочка обычна для 150 грановой пули, хотя вес этой пули 100 гранов с пластиковым вкладышем.

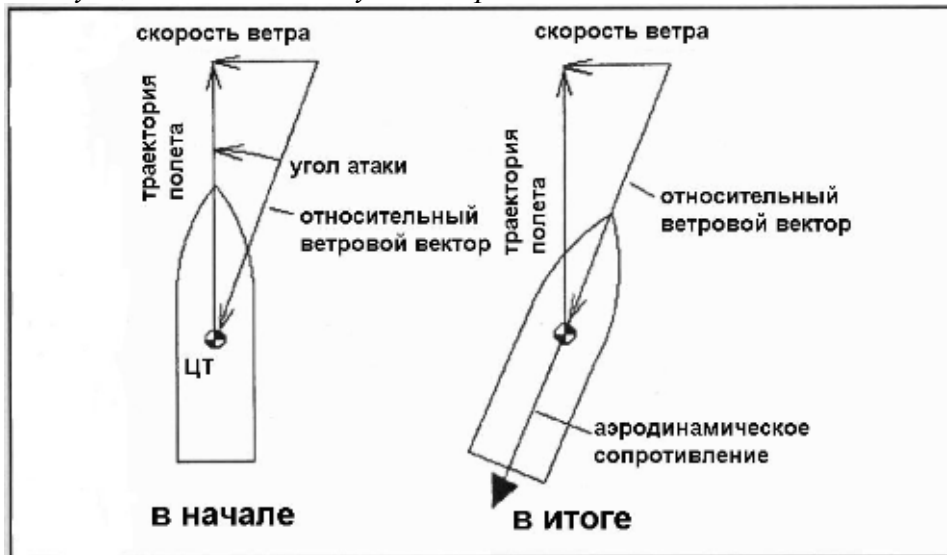


Рисунок 10-11 – Эскиз, показывающий как лобовое аэродинамическое сопротивление, действующее вдоль направления полета пули, создает ветровой снос при воздействии бокового ветра на боковую часть пули.

Ветровой снос

Все знают, что из-за действия ветра пули будут сноситься по ветру по горизонтали, но мало кто понимает, как такой снос происходит. Горизонтальный ветровой снос происходит не потому, что ветер дует на боковую поверхность пули. Выпущенная пуля сталкивается с ветром, а снос обеспечивается силой аэродинамического сопротивления, действующей на пулю, которая наклоняется относительно направления полета (Рисунок 10-11). Этот эскиз показывает, как пуля вылетает из ствола и очень быстро ориентируется по направлению вектора относительного ветра так, что ее угол атаки относительно направления ветра становится равным нулю. При боковом ветре в 20 миль в час центральная линия пули наклонится на угол 0,52 градуса относительно направления полета. Такой маленький и даже больший угол очень трудно заметить среди отклонений точек попадания пуль. Пуле требуется менее одного цикла быстрой прецессии, чтобы выровняться по вектору относительного ветра и уменьшить угол атаки, возникающий вследствие ветра почти до нуля. Если ветра нет, то геометрическая ось пули выравнивается с направлением полета, сила аэродинамического сопротивления также выравнивается с направлением полета, и ветрового сноса не наблюдается. Итак, ветровой снос не является причиной воздействия ветрового потока на боковую часть пули, как многие люди думают.

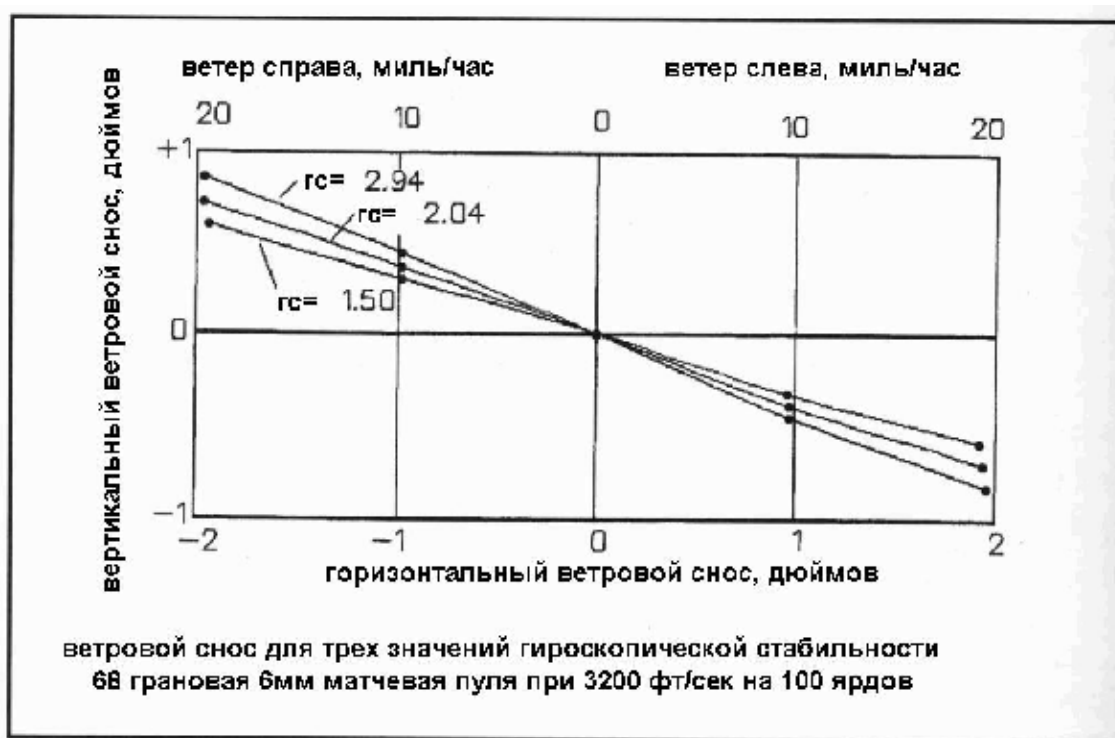


Рисунок 10-12 – Распечатка компьютерной модели полета с ветровым сносом для трех пуль с различными факторами гироскопической стабильности (ГС). Виден угол сноса. Рисунок справедлив для правосторонних нарезов, а для левосторонних нарезов направление вертикального компонента изменится на противоположное.

Недавно в журнале «Точная стрельба» (Precision Shooting) была острая дискуссия по поводу того, как влияет сила Магнуса на вертикальный компонент ветрового сноса. Ввиду того, что мне близки эффекты Магнуса (Ссылка 25), я написал статью, вышедшую в Ноябрьском 1994 года выпуске журнала, где написал, что сила Магнуса действует в обратном направлении и слишком мала, чтобы вызвать данный эффект. Люди также настаивают на том, что вина за вертикальный компонент ветрового сноса лежит на влиянии следов от нарезов, вращающихся в боковом ветре. Кроме того, что это должно приводить к совершенно обратному от наблюдаемого эффекту, следы от нарезов утоплены в пограничном слое, который во много раз толще, чем глубина следов от нарезов. Пограничный слой – это тонкий слой медленно движущегося воздуха, который формируется на поверхности пули в результате вязкости воздуха. Этот пограничный слой стремится смазать влияние маленьких поверхностных неровностей, таких как следы от нарезов. Вместо влияния эффектов Магнуса на вертикальный компонент ветрового сноса, на самом деле этот компонент обусловлен гироскопическими моментами, подобными обсуждавшейся ранее дери-вации. На Рисунке 10-12 показано, как 68 грановая 6мм пуля будет сноситься ветром при трех значениях гироскопической стабильности (ГС), в соответствии с моделированием на компьютерной программе 6DOF. Вы можете видеть, что чем больше ГС, тем больше вертикальная составляющая ветрового сноса. В Таблице 13 показаны рассчитанные величины ветрового сноса на 100 и 200 ярдах. Данные рассчитаны для 68 грановой 6мм матчевой пули с гироскопической стабильностью в 1,5 и шага нарезов в 14 дюймов.

Таблица 13

Рассчитанные величины ветрового сноса

Дистанция	Скорость ветра	Горизонтальный снос (дюймов)	Вертикальный снос (дюймов)
100 ярдов	10 миль в час	0,962	0,308
	20 миль в час	1,921	0,578
200 ярдов	10 миль в час	4,010	0,608
	20 миль в час	7,870	1,095

Вы можете видеть, что компонент горизонтального сноса приблизительно пропорционален скорости ветра и квадрату дальности, в то время как вертикальный компонент приблизительно пропорционален как скорости ветра, так и дальности.

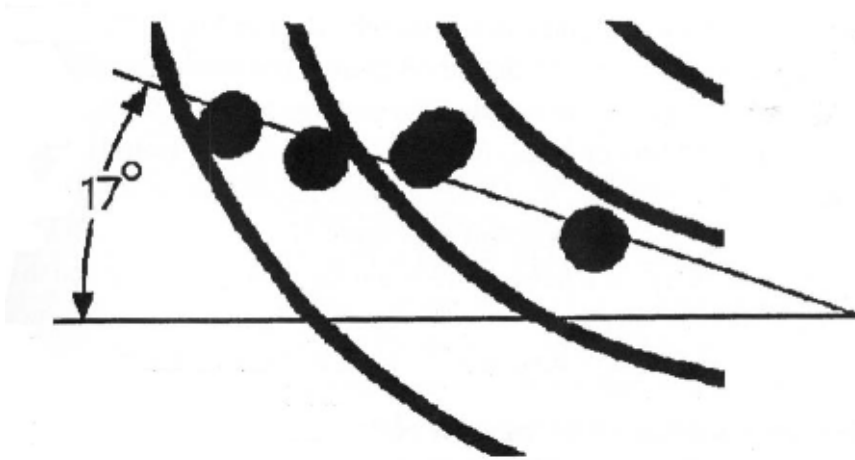


Рисунок 10-13 – Увеличенная распечатка мишени с 5 выстрелами из 6мм рэйлгана на 200 ярдов. Ветер меняющейся интенсивности дул справа. Фактор гироскопической стабильности может быть определен из угла ветрового сноса в 17 градусов и получен из Рисунок 10-14.

в этом случае ГС оказался равным 1,6 для этой 68 грановой пули с 14 дюймовыми нарезами на высоте 5000 футов над уровнем моря. На уровне моря ГС должен быть 1,38 при пересчете на большую плотность воздуха на высоте уровня моря.

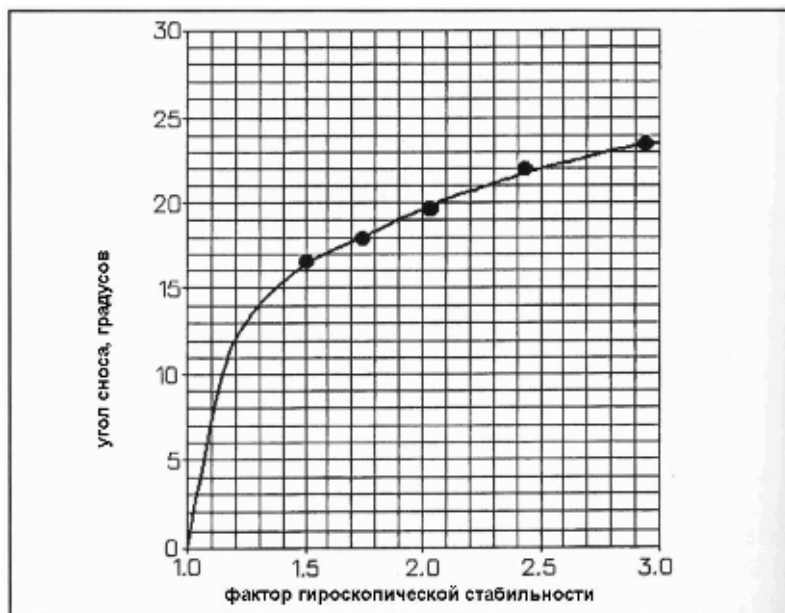


Рисунок 10-14 – График, показывающий как угол сноса меняется в зависимости от фактора гироскопической стабильности (ГС).

На Рисунок 10-13 показана мишень, полученная в результате отстрела из рэйлгана калибра 6BR со скоростью 3200 фт/сек (200 ярдов) 68 грановыми матчевыми пулями Бергер (14 дюймовые нарезы) при ветре изменяющейся интенсивности, дувшем справа, где вы можете видеть вертикальный и горизонтальный компоненты ветрового сноса. Если вы измерите угол между линией, проходящей через отверстия от пуль и горизонталью, то угол будет равным 17 градусам. Если вы посмотрите на Рисунок 10-14, то есть график зависимости угла ветрового сноса от ГС, то увидите, что

данный угол с Рисунка 10-13 (17 градусов) дает нам для этой 68 грановой бмм пули ГС равный 1,60. если вы откорректируете это величину в соответствии с тем, что тест проводился на большой высоте (5000 фт) с использованием Таблицы 12 (разделите на 1,1605), то ГС на уровне моря будет 1,38, что соответствует стабильности. Так, если вас интересует, насколько стабильны ваши пули, вы можете провести этот простой тест и использовать Рисунок 10-14 для определения. Он действителен для различных скоростей. Стреляйте при порывистом ветре и в этом случае вы получите выстрелы при разных скоростях ветра. Направление вертикального компонента ветрового сноса будет противоположным для левосторонних нарезов.

Все остерегаются того факта, что пули будут сноситься поперечным ветром, меняющимся на дальности. Вопрос – насколько они будут сноситься. Чаще всего употребляется метод определения величины сноса поиском в соответствующих таблицах, таких как инструкции по снаряжению фирмы Sierra. Тем не менее, если вы хотите сами рассчитать эту величину, привожу простую формулу, которая дает неплохие результаты.

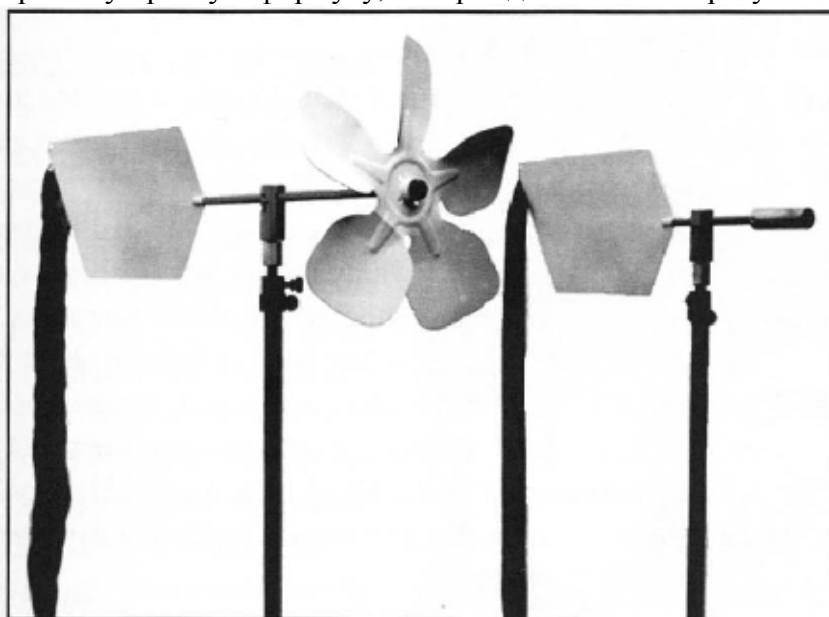


Рисунок 10-15 – Фотография, демонстрирующая два типа указателей ветра (ветряные флаги), обычно используемые бенчрест стрелками. Оба они представляют собой флюгера, показывающие направление ветра, с закрепленными в хвостовых частях ленточками для указания скорости ветра. Индикатор ветра слева имеет пропеллер в качестве другого указателя скорости ветра.

Горизонтальный ветровой снос = $0,00827 * (v/Va) * (R^2/BC)$, на УМ

Где

v = скорость поперечного ветра на дистанции, миль/час

Va = средняя скорость пули на дистанции, фт/сек

R = расстояние, ярды

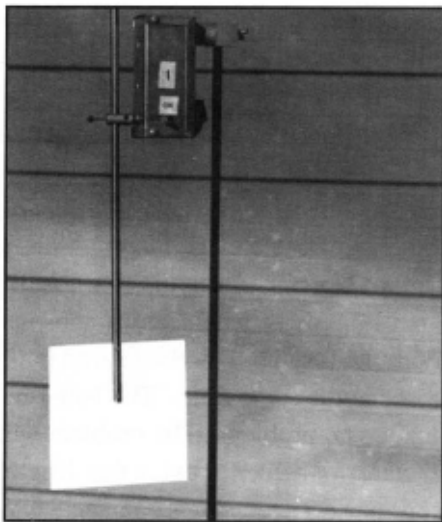
BC = баллистический коэффициент

УМ = высота уровня моря

Я сравнивал эту формулу с результатом моделирования программой 6DOF для 150 грановой пули 270 калибра на 400 ярдов при поперечном ветре в 10 миль/час и формула дала 6,96 дюйма сноса в сравнении с 6,76 дюйма по программе (ошибка равна = 2,8%) на высоте 5000 футов над уровнем моря. Поправку на плотность можете взять из Таблицы 12. Просто разделите результат формулы на фактор плотности. Из этой формулы легко увидеть, что ветровой снос прямо пропорционален скорости ветра и квадрату расстояния, в то время как обратно пропорционален скорости пули и баллистическому коэффициенту. Это означает, естественно, что вы можете максимизировать скорость пули и баллистический коэффициент для минимизации ветрового сноса.

Ветровой снос – важный фактор, как на охоте, так и для целевой стрельбы. Завоевав большинство титулов по Североамериканской крупной дичи, в том числе Большой Шлем по барану, я хорошо понимаю влияние ветрового сноса на точность при охоте. Я рассчитал предварительно эффект для калибра 270 Везерби (острые плечи), моей любимой охотничьей винтовки. Я запомнил, что конкретная используемая мной пуля будет отклоняться на 7 дюймов на 400 ярдов при ветре в 10 миль в час. До 200 ярдов я не забочусь о ветровом сносе (1,75 дюйма). Тем не менее, однажды я застрелил оленя на 450 ярдов при ветре 30 миль/час, когда я быстро умножил в уме 7 дюймов на 3 и прицелился на 2 фута правее. Я попал в оленя с разницей всего в несколько дюймов от места, в которое хотел попасть. В результате единственный раз в жизни я получил трофей, который значится в книге под номером 13. без этой информации и доли удачи, я, возможно, промазал бы. Мораль истории – охотникам надо уделять большее внимание влиянию ветрового сноса.

Стрелки бенчрест и стрелки на дальние дистанции испытывают большие трудности с «поправкой на ветер». Расчеты по формуле для 68 грановой 6мм матчевой пули Бергера при 3200 фт/сек на 200 ярдов дают значение ветрового сноса 3,75 дюйма для ветра 10 миль в час (или около 1 дюйма на 100 ярдов). Теперь, я думаю, вы понимаете, что если вы пытаетесь стрелять маленькие пяти-патронные группы (меньше 0,5 дюймов) в матче на 200 ярдов в ветреную погоду, ветер может оказаться серьезной проблемой. На Рисунке 10-15 показаны два индикатора ветра, обычно называемые ветряными флагами, изготовленные Доном Нильсоном (818-883 5866). Тот, что справа – обычный флюгер с прикрепленной в хвостовой части ленточкой. Тот, что слева – такой же, но с пропеллером, закрепленным в передней части. Обычно между стрелком и целью располагается три или более флюгера. Весь вопрос в том, чтобы наблюдать за направлением ветра по флюгерам и за его скоростью по ленточкам. Проблема в том, чтобы мысленно соотнести данные из шести источников и решить, когда и куда стрелять. Некоторые люди достигают высоких результатов,



делая это инстинктивно, но это требует очень серьезной практики. От всех этих мысленных расчетов у меня болит голова, поэтому я сделал электронный прибор, который делает всю эту мысленную работу за вас.

Рисунок 10-16 – Фотография электронного ветрового индикатора, который обеспечивает выходной электрический сигнал, пропорциональный поперечной составляющей ветра. Поверхность флюгера располагается параллельно траектории, поэтому он чувствителен только к поперечной составляющей ветра на данной дистанции. Используются три таких датчика, соединенные в параллель с индикатором, находящимся на стрелковом станке, который показан на следующей картинке.

Электронный прибор был разработан Уолтером Уоттсом (Walter Watts, Ссылка 26) в конце 1960-х годов, и он выиграл несколько больших бенчрест матчей с его помощью. Но я не думаю, что он когда-либо будет производиться серийно. Я сделал его для того, чтобы попытаться минимизировать ветровые эффекты при проверочных стрельбах до того, как построил Туннельное Стрельбище, и он мне помог. Самоориентирующиеся флюгера чувствительны только к перпендикулярной составляющей ветра ввиду того, что их плоскость развернута параллельно траектории пули. Флюгера на электронных датчиках смонтированы на рукоятках потенциометров от 10 до 20000 Ом, которые формируют два плеча моста сопротивления. Мост питается батареей типа С. Двухпроводной кабель соединяет выходы

всех трех датчиков в параллель с измерительным индикатором, находящимся на стрелковом станке (Рисунок 10-17).



Рисунок 10-17 – Фотография индикатора на стрелковом станке, предназначенного для электронных датчиков ветра. Если ветер дует справа, игла измерителя движется вправо, и наоборот для ветра слева. Стрелять нужно тогда, когда игла находится в одном и том же месте.

Три батареи типа С (4,5В) питают ближний датчик, две батареи (3В) средний и одна (1,5В) самый дальний датчик. Это автоматически создает внесение вкладов в общий сигнал в 3/6, 2/6 и 1/6 для этих трех датчиков. Теория такова, что ветровой снос на первой 1/3 траектории будет в 1,5 раза выше, чем на

второй трети, и в 3 раза выше, чем снос на оставшейся трети траектории. Три датчика располагаются на расстоянии 17, 45 и 77 ярдов от стрелкового станка для мишени, расположенной на 100 ярдов. Эти расстояния соответствуют приблизительно серединам трех интервалов по 33,33 ярда по дальности. В соответствии с программой 6DOF, такой метод коррекции достаточно точен. Индикатор на станке (Рисунок 10-17) – маленькая коробочка с микроамперметром, который имеет диапазон измерения плюс/минус 50 μ A. Если ветер дует справа, игла измерителя движется вправо, и наоборот для ветра слева. Также в коробочке находится усилитель, который позволяет балансировать измеритель и регулировать чувствительность. Чувствительность также можно регулировать увеличением либо уменьшением длины алюминиевых рычагов, на которых смонтированы флюгера, относительно точки подвеса. Метод использования данного прибора заключается в определении того места на шкале, где стрелка находится чаще всего, и пытаться стрелять, когда стрелка находится на этой выбранной величине. Иногда вам может попасться случай, когда ветер неожиданно стихает или начинает дуть сильнее, и вы вынуждены менять точку прицеливания для корректировки на изменение ветра. Тем не менее, вы можете откалибровать влияние изменения условий на этом приборе путем отстрела по пристрелочной мишени. Я предпочитаю использовать стрельбу методом свободной отдачи, когда выстрел производится только нажатием на спусковой крючок, а винтовка установлена на опорах из мешочков с песком. При жестком удержании винтовки мне не удобно наблюдать одновременно и в оптический прицел и за показаниями измерителя. Батареи на приборе работают длительное время (годы) и не вызывают проблем. Проблема с этим приспособлением связана с тем, что вам необходимо тянуть 77 ярдов кабеля (или в два раза больше для матча на 200 ярдов), что является серьезной трудностью, даже если кабель намотан на катушку. Однако можно использовать связь по радиоканалу, чтобы отказаться от проводов, но это не тривиальная задача, и жизнь батарей становится серьезной проблемой.

Люди склонны сильно преувеличивать влияние угонного и встречного ветра на полет пули. Интуитивно вы можете подумать, что встречный ветер будет замедлять пулю и смещать точку попадания вниз. Это происходит, но в намного меньшей степени, чем многие люди могут подумать. Пуля 6мм 68 гранов на 200 ярдов будет смещаться вниз на 0,017 дюйма при встречном ветре в 20 миль в час, и подниматься на те же 0,017 дюйма для угонного ветра в 20 миль в час. Время полета на 200 ярдов варьируется в пределах $\pm 0,4$ мсек. Сейчас считается нормальной в бенчресте группа в 0,3...0,4 дюйма на 200 ярдов в безветренную погоду, поэтому я не думаю, что 0,017 дюйма при вариациях головного или

угонного ветра в 20 миль в час является значительным. Влияние на 100 ярдов составляет менее половины влияния на 200 ярдов ($\pm 0,007$ дюйма). Существует одно исключение из вышесказанного, когда встречный или угонный ветер дует из-за препятствия, находящегося впереди или позади стрелка. На нашем стрельбище я замечал вертикальное рассеивание, возникавшее, как я думаю, от скоса потока угонного ветра вниз с крыш навесов над стрелковыми местами. Это влияние может быть минимизировано изготовлением электронных датчиков, чувствительных к вертикальной составляющей ветра. Мы также убеждены, что встречные и угонные ветры, дующие над валами между стрелковым местом и мишенью, также вызывают вертикальное рассеивание.

Мы показали влияние баллистического коэффициента (БК) на ветровой снос, поэтому сейчас можно обсудить, что же такое баллистический коэффициент.

Баллистический коэффициент

Баллистический коэффициент (БК) – это просто число, показывающее отношение веса к лобовому сопротивлению для данного снаряда. Лобовое сопротивление пропорционально коэффициенту сопротивления (КС) и площади поперечного сечения, которое в свою очередь зависит от квадрата диаметра пули. Баллистический коэффициент равен

$$\text{БК} = 0,0000714 * W / (D^2 * \text{КС}) * \sigma$$

Где

W = вес пули в гранах

D = калибр пули в дюймах

КС = коэффициент сопротивления

σ = фактор плотности воздуха из Таблицы 12

и постоянная принимает во внимание примененные в формуле единицы измерения. коэффициент сопротивления изменяется с числом Маха (от скорости и температуры) и может быть получен как из эксперимента, так и теоретическим расчетом. Пример расчета БК для 150 грановой пули 270 калибра выглядит так

$$\text{БК} = 0,0000714 * 150 / (0,277^2 * 0,30) = 0,465$$

Где пуля имеет плоское донце, тангентное оживало с цилиндром, носик типа soft point. Коэффициент сопротивления взят из продувки в аэродинамической трубе.

Следующее, что мы сделаем, это покажем, как определить коэффициент сопротивления. Простой метод – взять данные по БК от производителя и пересчитать формулу для БК так, чтобы определить КС.

$$\text{КС} = 0,0000714 * W / (D^2 * \text{БК}) * \sigma$$

Для примера, Уолт Бергер заявляет БК равным 0,276 для своей 68 грановой пули hollow point калибра 6 мм при 3000 фт/сек. В общем,

$$\text{КС} = 0,0000714 * 68 / (0,243^2 * 0,276) * 1 = 0,298$$

Это значение КС кажется верным по сравнению с экспериментальными данными, приведенными на Рисунке 10-18, что делает данное значение БК правдоподобным. Эта пуля небольшого размера с плоским донцем и отверстием в носике, имеющая очень маленький диаметр острия носика.

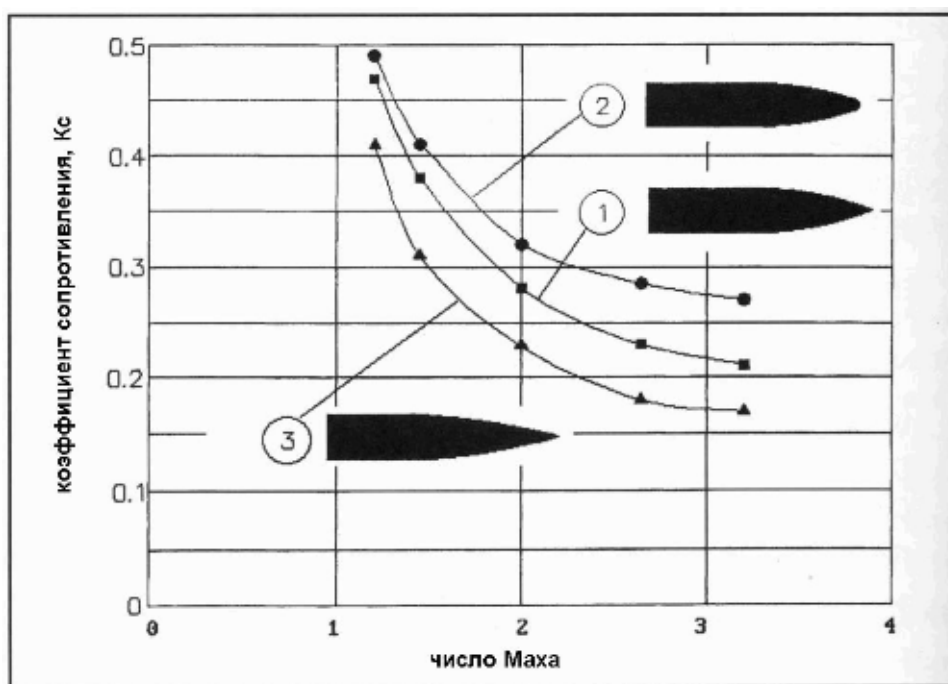


Рисунок 10-18 – Экспериментальные данные, показывающие влияние формы носовой части и числа Маха на аэродинамическое сопротивление при нулевом угле атаки. Формы 1 и 2 имеют носике в виде тангентного оживала длиной 2,5 калибра, но форма 2 имеет затупленный кончик, типичный для пуль soft point. Форма 3 имеет тангентное оживало длиной 3,5 калибра. Длина цилиндрического хвостовика имеет очень маленькое влияние на сопротивление.

Экспериментальные значения коэффициента сопротивления, нарисованные для трех разных видов контуров пуль на Рисунке 10-18, были получены О. Уолкнером в Германии в течение Второй Мировой войны (1939 год). Я решил показать их вам, потому что хотел, чтобы вы знали, что эти данные были доступны уже долгое время. Пуля №1 имеет длину 5 калибров, цилиндрическая с тангентным оживалом длиной 2,5 калибра и острым кончиком. Пуля № 2 имеет похожую форму за исключением того, что ее кончик скруглен подобно тому, как на коммерческих пулях типа soft point. Пуля № 3 имеет более острый нос длиной 3,5 калибра по сравнению с 2,5 калибрами. Вы можете видеть, что чем острее носик и длиннее оживало, тем меньше сопротивление. Сопротивление новых коммерческих пуль с заостренными баллистическими кончиками близки к сопротивлению пули №1. Итак, вы можете видеть, что БК пуль с баллистическим кончиком может быть на целых 25% больше, чем у обычной пули soft point.

Пуля № 3 – типичный образец пули с очень низким коэффициентом сопротивления, которые теперь стали доступны, за исключением того, что они обычно имеют короткий boat tail (обратный конус) в хвостовой части. Обратный конус (boat tail) уменьшает сопротивление на низких числах Маха и становится важным на расстояниях выше 500 ярдов. Он имеет пренебрежимо малое влияние на больших числах Маха и коротких дистанциях (до 300 ярдов или около того). Такие длинные пули с обратными конусами трудно стабилизировать и требуют высоких частот нарезов. Как результат на высоких частотах нарезов и

коротких длинах следов от нарезов, они могут подвергаться проскальзыванию сердечника при мягких материалах сердечника. Если это случается, точность становится очень слабой. Короткие длины следов от нарезов могут также увеличивать тенденцию пули к наклону в канале ствола.

Влияние длины хвостовика пули на сопротивление очень слабо. Основное влияние на высоких скоростях оказывает форма носовой части, как результат высокого давления, действующего на носовую часть. Большинство из оставшегося сопротивления обусловлено низким давлением в попутной струе, действующей на донце пули. Отношение сопротивления на головной части к сопротивлению на донце составляет 2 или 3 к 1. При пониженных скоростях давление на донце становится более важным, чем носовое давление или давление формы, и поэтому обратные конуса становятся более эффективными на низких скоростях или числах Маха. Сопротивление поверхностного трения, возникающее в пограничном слое, имеет значение менее 5%, потому что пограничный слой имеет ламинарную (слоистую) структуру. Было исследовано влияние следов от нарезов на сопротивление, и оно оказалось незначительным. Причиной этого является то, что глубина следов составляет лишь от 2 до 3 мил, и они утопают в пограничном слое. Кроме того, следы от нарезов касательны к скорости свободного потока до тех пор, пока пуля не замедлится. Частота вращения снижается до определенной величины, но совсем не так быстро, как скорость полета.

Существует достаточно данных по аэродинамике снарядов, но, обычно, вам нужно связываться с военными для получения доступа к ним, даже если они не засекречены. К примеру, Ссылка 27, опубликованная Лабораторией Баллистических Исследований, имеет аэродинамические данные по более чем 100 снарядам. Я думаю, среднему стрелку лучше всего измерить БК или взять его из опубликованных производителем данных, чем пытаться получить данные по коэффициенту сопротивления.

Измерение БК на самом деле нетрудный процесс, если у Вас есть хронограф. Все что вам нужно, это измерить скорость возле дула и скорость на доступном вам расстоянии. Нужно сделать несколько выстрелов и для расчетов использовать средние скорости. На Рисунке 10-19 показаны результаты экспериментального измерения скорости на 0, 100, 200 и 270 ярдах, начерченные на полулогарифмической шкале. Основная формула может быть модифицирована для расчета КС из этих данных. Вот она

$$КС = 0.921 * W * \ln(V_i/V_e) / (D^2 * R * \sigma)$$

Где

W = вес пули в гранах

V_i = начальная скорость в фт/сек

V_e = конечная скорость в фт/сек

ln = натуральный логарифм по основанию e

D = калибр в дюймах

R = дистанция в футах

σ = фактор плотности из Таблицы 12

Так, взяв начальную и конечную скорости из рисунка, где R = 300 ярдов, получим

$$КС = 0,9221 * 180 * \ln(3010/2510) / (0,3085^2 * 900 * 1,1605) = 0,303$$

Если вы посмотрите на Рисунок 10-18 для числа Маха равного 2,4, что является средней величиной числа Маха для дальности выше 300 ярдов, вы можете видеть, что этот КС является почти правильным для 180 грановой пули Ремингтон bronze point. Вы также можете получить БК из

$$BK = 0,00007143 * W / (D^2 * Cd) * \sigma$$

Или

$$BK = 0,00007143 * 180 / (0,3085^2 * 0,303) * 1,1605 = 0,517$$

Это реальная величина БК, в сравнении с другими источниками. Функция ln – это натуральный log из числа в круглых скобках, и он может быть вычислен на большинстве карманных калькуляторов. Данные на Рисунке 10-19 начерчены на натуральной логарифмической шкале, чтобы показать, что примененная в расчетах логарифмическая функция является, в самом деле, правильной, потому что график является прямой линией. Этот метод дает нам простой путь измерения КС и БК для любого желаемого расстояния. Запомните, что полученный КС – величина безразмерная и зависит только от числа Маха. БК зависит от числа Маха и плотности воздуха. Многие люди думают, что БК серьезно зависит от угла атаки, но в нормальных условиях этого нет. На Рисунке 10-20 показано то, что называется полара сопротивления для типичной оживально-цилиндрической пули с острым кончиком. Здесь показано, как коэффициент сопротивления изменяется с углом атаки. Вы можете видеть, что коэффициент сопротивления увеличивается только чуть-чуть (меньше

чем на 1%) для угла атаки в 1 градус. Выше в Главе 7 мы определили, что угол атаки выходе из дула был меньше, чем 0,5 градуса для короткой пули 270 калибра.

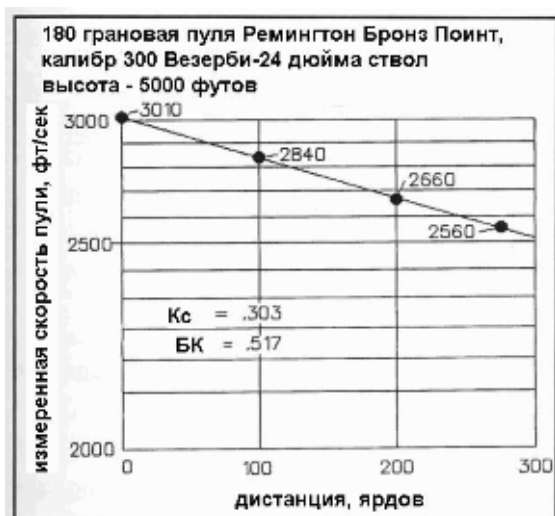


Рисунок 10-19 – Экспериментальный метод определения коэффициента сопротивления и баллистического коэффициента. Скорости 180 грановой пули Ремингтон Bronze Point были измерены на расстоянии 0, 100, 200 и 270 ярдов и начерчены на полулогарифмическом графике для показа логарифмической зависимости скорости от расстояния. Коэффициент сопротивления может быть рассчитан по простой формуле, приведенной в тексте.

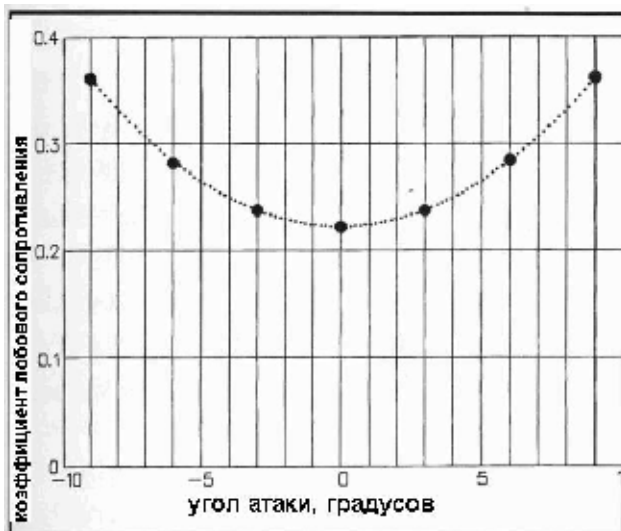


Рисунок 10-20 – График, показывающий как аэродинамическое сопротивление оживально-цилиндрической пули изменяется с углом атаки. Аэродинамическое сопротивление очень мало чувствительно к небольшим изменениям угла атаки. Из тестов, приведенных в Главе 7, мы знаем, что угол атаки на выходе из дула гораздо меньше одного градуса. Угол атаки в один градус увеличивает коэффициент сопротивления и уменьшает баллистический коэффициент меньше, чем на один процент.

Геометрия большинства пуль просто не может допустить больших углов запуска на дульном срезе. Если угол конуса больше, чем 1 градус, пуля нестабильна и БК будет самым маленьким из тех, с которыми стоит иметь дело.

Я думаю, что вообще можно многое сказать, исходя из баллистического коэффициента. Он важен на больших дальностях и там вы должны использовать более тяжелые пули для данного калибра с большими скоростями, имеющие острый кончик и обратный конус. Высокий БК будет минимизировать ветровой снос и вертикальное рассеивание из-за разницы падения траекторий. Тем не менее, он имеет маленькое влияние на расстояниях 100 и 200 ярдов, где проводится большинство бенчрест матчей. В обоих случаях асимметрия ЦТ пули более важна.

Гравитационное снижение траектории

Одна из проблем точности, которая обычно не принимается во внимание, это влияние изменений дульной скорости на гравитационное снижение траектории, которое является причиной вертикального рассеивания. Это влияние может быть рассчитано по простой формуле

$$\delta GD = 385 \cdot 92 * R^2 * \delta V / (Va^3), \text{ дюймов}$$

где

δGD = разница в гравитационном понижении траектории из-за разности в дульной скорости

R = расстояние в футах,

δV = разница в скорости, фт/сек,

Va^3 = средняя скорость на данном расстоянии в кубе

Средняя скорость на данном расстоянии может быть обычно взята из инструкций по перезарядке патронов. Предположительно мы имеем максимальный разброс в 30 фт/сек в 5-ти патронной группе при средней скорости 3000 фт/сек. Тогда вертикальное рассеивание, возникающее из-за вариации гравитационных снижений траектории на 100 ярдов будет 0,039 дюйма. На 200 ярдов вертикальное рассеивание будет почти в четыре раза больше, чем на 100 ярдов или около 0,16 дюймов. Если вы пытаетесь стрелять 0,2 дюймовые группы на 100 ярдов, ошибка такого размера будет значительна. Другой метод определения этой ошибки, если вы знаете полное снижение траектории для данной дистанции, таков

$$\delta GD = 2 * GD * \delta V / Va$$

Полное снижение траектории (GD) обычно можно найти в некоторых инструкциях по перезарядке. К примеру, инструкция фирмы Sierra для 70 грановой НР пули калибра 6 мм, выстреливаемой со скоростью 3100 фт/сек, дает полное снижение траектории на 100 ярдов в 1,90 дюйма. В этом случае ошибка рассеивания для максимальной разности дульных скоростей в 30 фт/сек составит

$$GDe = 2 * 1,90 * 30 / 3000 = 0,038 \text{ дюйма}$$

Что хорошо сопоставляется с другой формулой. А 180 грановая пуля с обратным конусом, выстрелянная со скоростью 3200 фт/сек, будет иметь ошибку снижения траектории в целых 5 дюймов на 1000 ярдов для δV в 30 фт/сек. Причина этому в том, что падение траектории на 1000 ярдов боле чем в 100 раз превосходит снижение траектории на 100 ярдов. Снижение траектории грубо пропорционально квадрату расстояния.

Очевидно, что единственным методом управления этой ошибкой является сведение к минимуму максимальных изменений скорости. Лучшее, что я смог сделать, было среднее значение разбежек в скорости от 15 до 20 фт/сек, чего на самом деле не достаточно. Как мы показали в Главе 2, полное заполнение гильзы порохом помогает, но вы можете получить избыточные давления. Развертка затравочных отверстий капсюльного гнезда также помогает. Некоторые марки капсюлей могут работать лучше с обычными гильзами и порохами. Я думаю, чтобы быть конкурентоспособным в матчевой стрельбе, необходимо иметь хронограф.

К счастью, существует метод компенсации ошибки вариаций в скорости. Мы определили его в разделе Особые Проблемы Бенчрест Винтовок в конце Главы 4, но он может быть не очевиден для читателя. Если вы обратитесь к Рисункам 4-39 и 4-41, то можете заметить, что точки попаданий по вертикали располагаются на синусоиде при изменении дульной скорости. Это происходит из-за вибрации ствола, и будет различно для разных винтовок, так как частота колебаний будет разной. Если вы стреляете при средней скорости, близкой к пику, на спадающей части синусоиды, то точки попадания будут чуть-чуть ниже для скоростей больших средней, и немного выше для скоростей, меньших средней. Это будет компенсировать разницу в скоростях. Такие точки соответствуют скоростям в 3080 и 3330фт/сек по Рисунку 4-41. Данная винтовка – тяжелый варминтер, сделанная оружейником Джимом Борденом, имеет затворную группу Столла со стволом длиной 21,5 дюйма от переднего среза ресивера до дульного среза ствола. Проблема в том, что оптимальная нижняя точка скорости (3080 фт/сек) требует слишком уменьшенных зарядов, что может быть причиной увеличенных вариаций скорости, а оптимальная верхняя точка скорости (3330 фт/сек) будет причиной увеличенного расширения гильзы и может вызвать отслаивание сердечника пули как следствие повышенного давления в патроннике. Если ствол сделать короче, частота будет выше и наша синусоида сместится влево. В этом случае положительный пик будет соответствовать более оптимальному заряду и скорости (3200 фт/сек). Район скорости между положительным и отрицательным пиками является худшим местом для выстрела, потому что вибрация ствола будет усугублять эффект вариации скорости на снижение траектории.

Измерение скорости

Я заинтересовался измерением скорости пули в 1949 году и построил свой первый хронограф в 1950 году. Хронограф подсчитывал количество импульсов, генерированных во временном интервале, прошедшем между тем, как пуля запускала стартовые ворота и выходные ворота. Импульсы генерировались управляемым кристаллом осциллятором, работавшем с очень точной частотой, а импульсы отсчитывались серией десятичных счетчиков. Эта идея возникла около 1940-х годов, а может и раньше. Я думаю, что первым человеком, воплотившим эту идею, был Поттер, и первый хронограф был назван его именем. Мой первый хронограф (Рисунок 10-21) был хронографом Поттера, использующим технологию вакуумных ламп и контактные экраны. Единственная проблема – этот прибор использовал питание 120 В переменного тока. Ввиду того, что его надо было где-то вклю-

чать в розетку, его применение было ограничено. Тем не менее, он все еще работает на протяжении 48 лет, и иногда я его использую для других целей. В 1962 году стали доступны транзисторы, и я описал задачу моему другу, инженеру по электронике (Гарольд Беннет), и мы сделали транзисторную версию оригинального счетчика Поттера (Рисунок 10-22). Он питался от батарей и также использовал контактные экраны в качестве ворот.

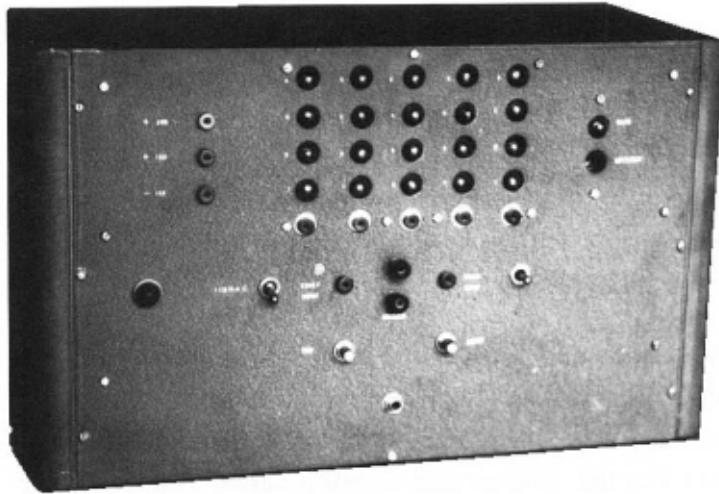


Рисунок 10-21 – Ранний хронограф, построенный автором в 1950 году. Он использовал ламповую технологию и был аналогичен оригинальному хронографу Поттера. Он требовал питания от сети переменного тока, 120 В.

Рисунок 10-22 – Транзисторный хронограф с батарейным питанием, построенный автором в 1962 году. Показанный контактный экран состоит из алюминиевой фольги, наклеенной с двух сторон к куску картона. Когда пуля проходит через экран, она замыкает электрическую цепь между двумя слоями фольги, включая хронограф.

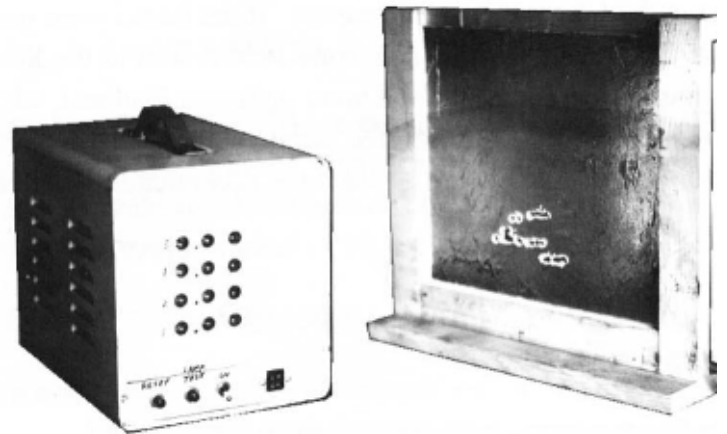


Рисунок 10-23 – Фотография новейшего современного хронографа (Oehler 35P) с тремя оптическими воротами. Этот хронограф использует для вычислений технологию микросхем и имеет встроенный принтер для записи всех данных. Он измеряет скорость с точностью 2-3 фт/сек при 3000 фт/сек. Оптические ворота куда более совершенны, чем другие типы триггеров.

Один из таких контактных экранов показан на Рисунке 10-22. Оба эти хронографа имеют скорость отсчета в 100 кГц, что ограничивает разрешение до 0,5% (смотри Рисунок 2-18). Этого вполне достаточно для большинства целей, но не очень хорошо для диагностических работ. Современные хронографы имеют разрешение лучше чем 0,1% с 6-футовым расстоянием между экранами. Контактный экран состоит из алюминиевой фольги,

наклеенной с двух сторон к куску картона. Когда пуля пробивает экран, она замыкает электрическую цепь, запуская хронограф. Это очень точные ворота, но имеют тот недостаток, что не позволяют проводить одновременное тестирование на точность, так как они не прозрачны. Тем не менее, я сделал многое при помощи этих инструментов в период с 1950 –х до 1970-х годов.

Современные хронографы, такие как Oehler 35P (Рисунок 10-23) работают на том же принципе, за исключением более высокой частоты отсчета (4 мегагерца) и имеют электронику на твердотельных микросхемах для меньшего энергопотребления. Они также имеют встроенные принтеры и используют оптические ворота, требующие солнечного света или электрической подсветки для запуска счетчика. В дополнение к этому, они показывают максимальную и минимальную скорость, среднюю скорость, максимальный диапазон отклонений скорости и среднее квадратическое отклонение. Раньше мы должны были рассчитывать все эти параметры, но в наши дни все происходит быстрее и проще. Тем не менее, среднее квадратическое отклонение избыточно, и, как я уже говорил, бессмысленно при малых количествах отсчетов (т.е. меньше чем 30 отсчетов). Среднее квадратическое отклонение обычно находится в диапазоне 40 – 45% от максимального отклонения для 5 патронной группы. Самыми многозначительными величинами являются средняя скорость и максимальное отклонение скоростей. Oehler 35P имеет три оптических экрана и измеряет скорости между первым и вторым экранами либо между первым и третьим экранами. Если разница между этими двумя скоростями значительна, прибор предупредит вас о неверных данных, напечатав звездочку после значения скорости. Хронограф Oehler - лучший из когда-либо мною используемых, и я думаю, что он вполне соответствует нашим целям.

Единственная проблема, которую я имел с этим хронографом – то, что он чувствителен к электромагнитному излучению от радара, расположенного в аэропорту на расстоянии около мили от нашего стрельбища. Мы обнаружили, что можем решить эту проблему припарковав автомобиль между радаром и хронографом. Несомненно, это очень необычная ситуация, чтобы принимать ее в расчет. Другой проблемой хронографов с оптическими воротами является мерцание. Мерцание возникает, когда свет отражается от земли или от другого тела на нижнюю поверхность пули, что может вызвать ошибочное срабатывание оптических ворот. Я красил трубу (направляющую), на которой смонтированы ворота, в черной матовой краской и кладу кусок темной ткани на голую землю для уменьшения отражения. Проблемы мерцания трудно распознать, но я их определенно наблюдал, когда работал на голой песчаной почве. Oehler также продает электролампочки, которые монтируются на верх рассеивателей на воротах, для работы в условиях темноты. Я использовал их в туннельном стрельбище, где темно, и они работали прекрасно. Тем не менее, они требуют питания от сети переменного тока напряжением 120 В. Я предпочитаю промежуток между экранами в шесть футов, что дает точность измерения в 2-3 фута без того, чтобы его длина стала неуправляемой.

Военные экспериментировали с различными методами запуска ворот, включая магнитный, емкостной и оптический (называемый небесным экраном). Они все были отклонены в пользу радарного где-то в 1970-х годах, потому что испытывали неразрешимые проблемы с дульным выхлопом. Оранжевые полупрозрачные светофильтры, смонтированные над фотодиодом (Рисунок 10-23), которые были внедрены Oehler, были большим преимуществом для оптических ворот.

Вы могли встречать два термина в измерении скорости – дульная скорость и инструментальная скорость. Инструментальная скорость – это скорость снаряда, измеренная на определенном расстоянии от дула, в то время как дульная скорость – это скорость возле

дульного среза после прохождения пулей района дульного выхлопа (10-20 калибров). Дульная скорость – это инструментальная скорость, откорректированная на потерю скорости между дульным срезом и центром ворот хронографа. Если вы очень пунктуальны на этот счет, вы можете оценить потерю скорости между дулом и хронографом из

$$\sigma V = 1,461 * V * D^2 * R * KC / W$$

где

- σV = изменение скорости, фт/сек
- V = измеренная скорость, фт/сек
- D = калибр в дюймах
- R = расстояние от дульного среза до центра между воротами, фт
- KC = коэффициент сопротивления
- W = вес пули в гранах.

Например, для $KC = 0,3$, $V = 3200$ фт/сек, $D = 0,243$ дюйма, $W = 68$ гранов и $R = 8$ футов, σV будет вычислено равным 9,7 фт/сек потери скорости. Добавьте эту величину к скорости по хронографу и вы получите дульную скорость.

Ввиду того, что я уже рассказал об измерении скорости даже больше, чем кто-либо хотел узнать, приступим к рассмотрению влияния наклона винтовки на кучность.

Наклон винтовки

Наклон винтовки означает поворот винтовки вокруг оси канала ствола. Если угол наклона винтовки изменяется, это может серьезно повлиять на точность – привести к сильному рассеиванию по горизонтали. Я думаю, что вы сможете увидеть эту проблему, если вы решите выстрелить из винтовки, прицел которой пристрелян выше для компенсации гравитационного снижения траектории. Если вы перевернете винтовку вверх ногами, то получите не только гравитационное снижение траектории, но и размер компенсации прицела, к которому добавится гравитационная поправка. Иными словами, пуля попадет ниже на величину, эквивалентную двойному снижению траектории. Чтобы проверить эту концепцию, я провел эксперимент.



Рисунок 10-24 – Компьютерная распечатка мишени, показывающая четыре группы, выстрелянные из винтовки в вертикальной позиции, наклоненной на 90 градусов по часовой стрелке, вверх ногами, наклоненной на 90 градусов против часовой стрелки.

Из винтовки ка-

либра 22LR я стрелял с углом наклона 0°, 90° вправо, 90° влево и вверх ногами на расстояние 50 ярдов. Четырехпатронные группы отстреливались для каждого угла наклона, а полученные результаты распечатаны на Рисунке 10-24. Были измерены дульная скорость и скорость у мишени, так что гравитационное снижение траектории было точно подсчитано. Вы можете видеть, что через четыре группы можно провести окружность с радиусом 3,8 дюйма. Я был удивлен, потому что рассчитанное снижение траектории составило только 2,7 дюйма! Откуда взялись дополнительные 1,1 дюйма? Оказалось, что дополнительные 1,1 дюйма дает изгиб ствола под действием силы тяжести, и этот изгиб нужно компенсировать оптическим прицелом. Ствол в тестовой винтовке был тонким цилиндрическим и очень гибким. Изгиб цилиндрического ствола был точно рассчитан, но я не хочу обращать внимание на детали, потому что большинство стволов намного жестче. В конце концов я почувствовал, что это реальное объяснение предположения.

Ошибка может быть рассчитана из двух простых формул

Горизонтальная ошибка = гравитационное снижение траектории * синус(угол наклона)

Вертикальная ошибка = гравитационное снижение траектории * (1 – косинус(угол наклона))

Для малых углов (меньше 10°) эта формула может быть упрощена

Горизонтальная ошибка = ГС * Ф / 57,3

Где

ГС = гравитационное снижение траектории, дюймов

Ф = угол наклона винтовки

И ошибка получится в дюймах. Вертикальная ошибка слишком мала, чтобы заботиться о ней на малых углах.

В качестве примера ГС 68 грановой пули с плоским донцем калибра 6мм на 200 ярдов составит 7,93 дюйма при дульной скорости 3200 фт/сек. Горизонтальная ошибка для угла наклона винтовки 0,1 градус будет около 0,014 дюйма или около 0,14 дюйма для наклона в 1 градус. Это говорит о том, что вам надлежит принимать во внимание наклон винтовки на бенчрест стрельбе, если вы не в состоянии удерживать свою винтовку в пределах одного градуса наклона. На 1000 ярдов это влияние становится значительным. Гравитационное снижение траектории на калибре 300 Везерби с 200 грановой пулей, выстрелянной со скоростью 3000 фт/сек будет около 296 дюймов на 1000 ярдов. Угол наклона в 1 градус даст 5,2 дюйма горизонтальной ошибки. Так как люди выигрывают такие 1000 ярдовые матчи с размером групп 6 дюймов, вы очень серьезно должны заботиться о наклоне своей винтовки.

Охота – вот другой вид стрельбы, где наклон винтовки приводит к серьезным эффектам, особенно из-за того, что вам не удастся найти четких вертикальных ориентиров в горной местности. Допустим, вы пытаетесь добыть крупного трофейного зверя на дистанции 300 ярдов из 270 калибра со 130 грановой пулей, разогнанной до 2900 фт/сек, и вы наклонили винтовку на 10 градусов. Вы промахнетесь по горизонтали на 3,7 дюйма. На 500 ярдов вы получите более чем трехкратное превышение этого значения, или около фута. Угол наклона в десять градусов достаточно просто может получиться на довольно не ровной местности – поверьте моему опыту. Хотя и не в такой степени, как ветровой снос, но влияние наклона винтовки достаточно велико на больших расстояниях.



Рисунок 10-25 – Противонаклонное уровневое устройство, смонтированное на трубе 36х целевого прицела Vausch and Lomb прямо перед окуляром. Оно эффективно в минимизации наклона винтовки.

Рисунок 10-25 демонстрирует пузырьковое уровневое приспособление, смонтированное на прицеле, которое очень чувствительно к углу наклона. С этим приспособлением просто удерживать угол наклона в пределах 0,1 градуса, его изготавливает DHB Products (телефон 1-(703)836-2648). Это, скорее всего, единственный известный мне метод минимизации этой ошибки на больших расстояниях. На коротких дистанциях вы можете пристрелять винтовку так, чтобы пуля попадала ниже точки прицеливания на расстояние, равное падению траектории. Это около 1,9 дюйма на 100 ярдов и около 8 дюймов на 200 ярдов для 68 грановой бмм матчевой пули при скорости 3200 фт/сек. Если вы последуете этой процедуре, то эффективно устранили влияние наклона винтовки на точность.

Асимметрия формы пули

Деформация носика пули – одна из проблем внешней баллистики, которую безуспешно пытались исследовать в прошлом. Причиной этому было то, что эффект этот настолько мал, что его невозможно распознать в экспериментальных тестах. Тем не менее, мы можем оценить эту ошибку моделированием на программе 6DOF.

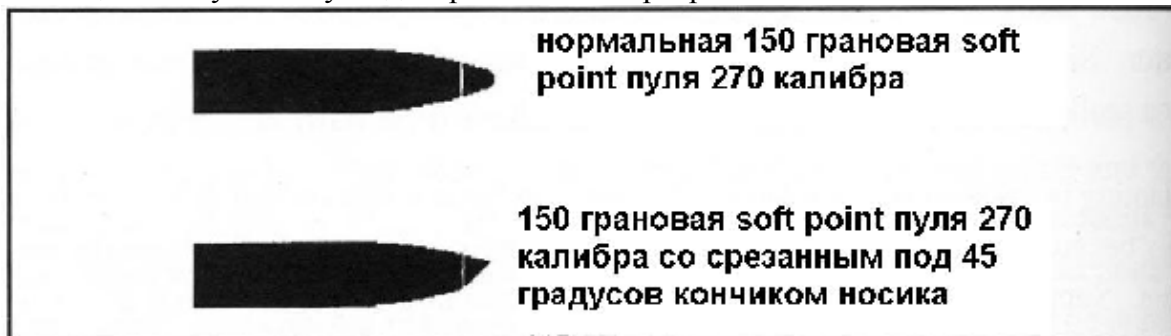


Рисунок 10-26 – Рисунок 150 грановой пули 270 калибра с изуродованным носиком, полученным его срезанием под углом 45 градусов. Такой тип деформации не так уж и необычен для крупнокалиберных магnumов с магазинным питанием, использующих пули с выступающим свинцовым кончиком.

На Рисунке 10-26 показано изображение 150 грановой пули 270 калибра с выступающим свинцовым мягким носиком, которая была деформирована срезанием носика под углом 45 градусов. Результаты моделирования траектории показали, что столь значительное повреждение носика будет вызывать радиус рассеивания в 0,135 дюйма на 100 ярдов. Это не так и ужасно для охотничьей винтовки, которая обычно не стреляет группы лучше одного дюйма на 100 ярдов. Хотя я и наблюдал несколько раз деформацию такого типа в поле, столь большая деформация не является обычной. Итак, вопреки предположениям многих охотников, ошибка от такого повреждения будет незначительна.

Большинство бенчрест стрелков используют матчевые пули с отверстием маленького диаметра в носике (hollow point), не имеющие выступающего свинцового носика. Пули такого типа очень трудно деформировать в такой степени, как на образце. Некоторые матчевые пули hollow point, если взять их целую коробку, могут иметь легкий угол на плос-

кости носика, который может достигать, ни много, ни мало, 5 градусов. Когда я ввел эту ошибку в 5 градусов, оказалось, что радиус рассеивания 6мм матчевой пули будет в 30 – 40 раз меньше, чем на SP пуле калибра 270. это грубо дает радиус рассеивания в 3-5 мил на 100 ярдов для 68 грановой матчевой пули калибра 6мм. Чем меньше диаметр носика hollow point, тем меньше ошибка. Эта ошибка, в общем, не чувствительна к дальности, на больших дальностях она совсем незначительна.

Деформация пули – это третья мода колебаний снаряда и называется нутацией. Эта мода нутации поворачивается со скоростью вращения пули. Существует Трициклическая теория (от слов три цикла), которая изучает нутацию плюс две моды прецессии. Нутация не показана на Рисунках с 10-1 до 10-4, потому что тогда рисунки будут сбивать с толку. Я думаю, вы понимаете трудность экспериментального определения ошибки, связанной с деформацией пули, потому что она очень мала по сравнению с обычным размером групп. Мы уже исследовали влияние наклоненного донца пули в главе, посвященной дульному выхлопу (Глава 7). Мелкие неоднородности иногда встречаются на углах донца пули. Я не знаю метода исследования таких маленьких неоднородностей.

В гору или под гору

В то время, как ошибка, связанная со стрельбой в гору или под гору, не важна для целевых стрелков, она очень важна для охотников. Эта ошибка может легко наблюдаться. Если вы пристреляли винтовку на определенное расстояние – скажем 300 ярдов, то точка попадания будет совпадать с точкой прицеливания, так как прицел отрегулирован для компенсации падения траектории. На 300 ярдов у мощной винтовки падение траектории составит около 22 дюймов. Теперь, если вы будете стрелять строго вверх или вниз, то сила тяжести будет работать вдоль направления траектории, а не поперек. Это означает, что пуля будет попадать выше относительно точки прицеливания на величину падения траектории (22 дюйма) независимо от того, в гору или под гору вы стреляете. Ошибка может быть рассчитана из формулы

Ошибка стрельбы в гору или под гору = ГС * Sin (угол стрельбы)

Где ГС = гравитационное снижение траектории в дюймах для данного расстояния.

Перейдем к таблице для конкретных углов

Угол стрельбы (градусов)	Синус угла стрельбы	Ошибка для ГС=22 дюйма
0	0	0
10	0,174	3,8
20	0,342	7,5
30	0,500	11,0
40	0,642	14,1
50	0,766	16,9
60	0,866	19,1
70	0,940	20,7
80	0,985	21,7
90	1,000	22,0

Я думаю, что вы убедились, что если вы стреляете или вверх или вниз по склону горы, которая имеет типичный наклон в 40 градусов, довольно просто попасть выше среднего раз-

мера зверя. У вас могут возникнуть проблемы и на меньших дистанциях. Если винтовка пристреляна на 300 ярдов, то высота траектории на середине дистанции составит около 4,5 дюймов над линией прицеливания, что надо прибавить к ГС на 150 ярдов, то есть получим 4 плюс 5 дюймов (9 дюймов) на угле в 70 градусов. Однажды я промазал оленя (1950 год), стоящего на уступе утеса на расстоянии 150 ярдов выше меня. Я стрелял почти вертикально, и пуля прошла прямо над его лопаткой. Как большинство неопытных людей, я думал, что должен целиться выше при стрельбе в гору и ниже при стрельбе под гору. Не правильно – вы должны целиться ниже в обоих случаях.

Непостоянство веса пуль

Некоторые бенчрест стрелки взвешивают свои пули и разделяют их на категории по весу. Вопрос в том, нужна или нет вся эта работа. Я не вижу другого метода проверки проблемы, как рассчитать влияние изменения веса пули на как внешнюю, так и внутреннюю баллистику. Большинство производимых пуль независимо от того, штучные они или серийные, будут иметь вариации веса около $\pm 0,1$ гран при базовом весе пули 68 гранов (Рисунок 10-27). Максимальные отклонения в весе будут в пределах 0,3...0,4 грана. Более тяжелые пули будут иметь большие вариации, но процент ошибки будет примерно тем же.

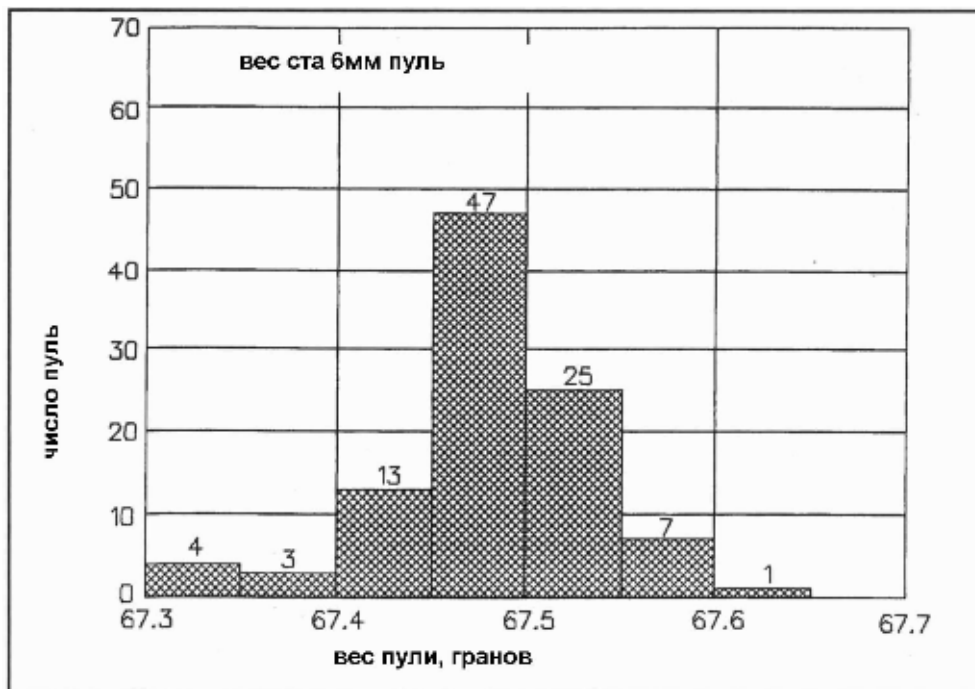


Рисунок 10-27 – Столбчатая диаграмма, показывающая веса пуль в коробке 100 шт. 68 грановых матчевых пуль. Максимальное отклонение в весе – 0,35 грана.

Итак, я провел внутренние баллистические расчеты для получения дульной скорости 68 гра-

новой пули и 68,2 грановой пули, чтобы определить разницу в дульной скорости. оказалось, что более тяжелая пуля будет медленней на 2,2 фт/сек. Потом я рассчитал точку попадания на 100 ярдов используя программу 6DOF для разных весов пуль, имеющих разные скорости. Две пули «попали» в одно и то же место с разницей в 1 мил. Другими словами, разница в весе пуль в 0,2 грана не практически не приводит к разнице в точках попадания пуль. Причиной тому наличие компенсирующих факторов. Для примера, более тяжелая пуля не будет иметь на столько меньшую скорость, как многие полагают, потому что за ней будет развиваться более высокое давление, чем за легкой пулей. Это не простая пропорциональная или линейная проблема. Если бы вы умножили дульную скорость 68 грановой пули на 0,2/68, то получили бы 8,8 фт/сек, в случае пропорциональной зависимости, по сравнению с реальными 2,2 фт/сек. Что-то подобное случается и во внешней баллистике. Хотя более тяжелая пуля вылетает на меньшей скорости, она не замедляется

так быстро как легкая пуля, поэтому время полета для обоих остается приблизительно одинаковым. Как результат, точки попаданий будут почти одни и те же.

Все это убедило меня в том, что сортировка пуль по весу – потерянное время, кроме одной вещи. И вещь эта – возможность найти несбалансированную пулю. Некоторое время назад я разрезал пулю и увидел полость в свинцовом сердечнике. Это было одно из миллиона открытий, которые практически не возможно совершить. Эта маленькая полость, несомненно, получилась от чешуйки инородного материала, которая попала на отрезную фрезу и была вдавлена в материал. Возможно, это был кусочек шлака, который имел меньшую плотность, чем чистый свинец, и достаточные размеры, чтобы вызвать существенное смещение ЦТ. Эта пуля, возможно, была легче других и, возможно, могла быть замечена при взвешивании. К сожалению, я не взвешивал эту пулю до распиловки, поэтому не могу сказать точно, на сколько ее вес был меньше. Тем не менее, воздушный пузырь существенного размера не может появиться в свинцовом сердечнике, потому что огромные давления, возникающие при прессовке пуль, будут сжимать его до микроскопического размера. Тем не менее, жидкости практически не сжимаемы, поэтому капля масла может вызвать появление пузырька в сердечнике. Важно знать, что свинцовые сердечники прессуются на матрицах постоянного объема, и избыточный свинец выдавливается через дренажные отверстия. То есть свинцовые сердечники имеют настолько одинаковый объем, насколько это возможно. Тем не менее, свинцовая проволока может не иметь постоянства плотности, что объясняет небольшие вариации в весе пуль. Большая часть отклонений в весе пуль (т.е. максимального отклонения в 0,35 грана), показанные на Рисунке 10-27, не могут произойти из-за вариаций веса оболочек, и должны происходить из-за вариаций в весе сердечников. Сотня бмм пулевых оболочек J-4 была взвешена с использованием аналитической балансировки, и максимальное отклонение по их весу составило всего 0,05 грана. Если я взвешиваю свои пули, то только чтобы отбраковать самые легкие, потому что они могут иметь сердечники, содержащие инородные тела, и могут быть несбалансированными.

Внешнебаллистические мифы

Вот несколько идей, циркулирующих в бенчрест сообществе, которые просто не верны. Некоторые из этих идей, которые я называю мифами, были проверены.

- 1) «Увеличение частоты вращения уменьшает ветровой снос». Было показано, что вертикальный компонент ветрового сноса зависит от частоты вращения, в то время, как горизонтальный компонент не зависит.
- 2) «Хороший ствол «успокаивает» пулю почти сразу после вылета из ствола и, таким образом, она меньше подвергается влиянию ветра или других плохих условий». Частота, с которой затухает конусообразное движение пули после вылет из ствола, зависит только от шага нарезки, характеристик инерции пули и формы пули (ГС). А то, что называется «хороший ствол», что бы это ни было, ничего не может сделать с поведением пули в плохих условиях.
- 3) «Пуля входит и выходит из стабилизированного полета, и если она проводит больше времени в стабильном полете, она меньше подвергается воздействию внешних условий, а хороший ствол обеспечивает более высокую степень стабилизированного полета». Типичная бенчрест пуля стартует со скоростью в 3200 фт/сек (2,76 Маха) и замедляется с частотой около 300 фт/сек каждые 100 ярдов. На 200 ярдах пуля летит со скоростью 2600 фт/сек (2,24 Маха). Это означает, что пуля летит на сверхзвуке первые 200 ярдов полета, и нет причин, по которым она будет становиться нестабильной, если она была стабилизирована на дульном срезе. Более того, если пуля становится достаточно нестабильна для того, чтобы подвергаться различному влиянию ветра, она ско-

рее всего вообще не попадет в мишень. Тем не менее, на дальностях выше 600 ярдов пуля замедляется достаточно, чтобы перейти звуковой барьер и стать нестабилизированной. Так как угол атаки увеличивается, это будет медленно замедлять болтанку, и пуля может снова стабилизироваться на дозвуковых скоростях. «Хороший» ствол не имеет существенного влияния на характеристики полета пули по сравнению со средним.

- 4) «Изготовленные резанием нарезки делают более глубокие и острые следы на пуле, чем изготовленные протяжкой нарезки, и тем самым увеличивают вертикальную составляющую ветрового сноса». Несколько суждений не верны в данном мифе. Во-первых, вертикальная составляющая ветрового сноса обусловлена гироскопическими эффектами и никак не зависит от следов нарезков на пуле. Во-вторых, вы можете вы можете делать нарезки любой глубины при их производстве резанием. Я это знаю, потому что делал это. В-третьих, пограничный слой, скорость потока в котором очень маленькая, достаточно толстый (более 3 мил), поэтому следы от нарезков утопают в этом слое. В-четвертых, тесты в аэродинамической трубе показали, что следы от нарезков влияют на аэродинамические силы лишь на несколько процентов.
- 5) «У меня заряды, которые стреляют очень маленькие группы на 200 ярдов, но плохо стреляют на 100 ярдов». Единственной причиной, по которой это могло случиться, является то, что пуля имела очень большое возмущение на дульном срезе. Хотя это и могло случиться на магнумовых винтовках, у которых очень сильное дульное давление, это очень неправдоподобно для бенчрест винтовок калибров 6BR или 6PPC. скорее всего, в данном случае имела место ошибка в статистике или изменение погодных условий.

Выводы

Из данной главы можно сделать несколько важных заключений. Если пуля покидает ствол под углом, она мгновенно начинает конусообразное движение по траектории, напоминающей штопор. Амплитуда этого углового конусообразного движения зависит от начального угла и от фактора гироскопической стабильности (ГС). Для пули нормальной формы частота, с которой затухает конусообразное движение, зависит только от ГС. радиус получившегося штопорообразного движения и обусловленное этим рассеивание в основном определяются углом конуса и частотой медленной прецессии. Было отмечено, что рассеивание, вызванное штопорообразным движением, обычно намного меньше, чем рассеивание от эффекта дульного выхлопа на наклоненную пулю (Глава 7). Это в высшей степени справедливо для хорошо изготовленных бенчрест винтовок и боеприпасов. Тем не менее, при очень низких ГС рассеивание от конусообразного движения может становиться очень большим. Было показано, как ГС может быть экспериментально определен при помощи простого теста, исходя из вертикальной и горизонтальной составляющих ветрового сноса. Мы также определили, что ГС для нормальных условий может быть снижен почти на 20% комбинацией пониженной высоты над уровнем моря, высокого местного атмосферного давления и низкой температуры.

Вертикальный компонент ветрового сноса обусловлен гироскопической прецессией, а не силой Магнуса, как считают многие люди. Были обсуждены методы измерения ветра, гироскопической стабильности и баллистического коэффициента. Было показано значительное влияние формы носика пули на баллистический коэффициент. Было показано, что влияние вариации веса пули и асимметрии их формы на рассеивание являются небольшими. Мы определили, что влияние вариаций дульной скорости и угла наклона винтовки являются весьма значимыми для точности бенчрест стрельбы.

Глава 11

Другие проблемы

Эта глава содержит комментарии по проблемам, которые не возможно было обсудить в других главах. Кроме того, здесь будут обсуждаться проблемы, по которым нет достаточного количества экспериментальных или аналитических подтверждений, чтобы считать их фактическими. Другими словами, некоторые мнения, приведенные в этой главе, могут быть изменены в случае появления фактических данных.

Загрязнение канала ствола и состояние его поверхности

О загрязнении ствола продуктами горения пороха и медными оболочками пуль написано много. Большинство средств для чистки ствола содержат аммиак либо олеат аммония для растворения медного загрязнения. Примеры чистящих средств на водном растворе аммиака – Sweet's 7.62 и Parson's Household Ammonia. Задолго до того, как появился Sweet's, я использовал Parson's Household Ammonia, опуская ствол дулом в банку из-под кофе, наполненную на 2 дюйма этим средством. Затем я поочередно пропускал патч (кусочек мягкой ткани или т.п.) и ершик на шомполе через канал ствола. Я заканчивал свою работу, промывая ствол теплой водой с последующей сушкой. Этот метод очень неудобен для использования на стрельбище, поэтому обычно я проделывал это дома. Sweet's намного удобней в использовании и работает быстрее, чем бытовой аммиак. Он также может быть использован с патчем или ершиком, как любое другое средство для чистки ствола. Некоторые изготовители стволов и оружейники явно наблюдали травление канала ствола от аммиачных чистящих средств. Так как я никогда не сталкивался с такой проблемой, я был озадачен ей. Вначале я думал, что это могло произойти от продуктов очистительных средств, взаимодействующих с продуктами возгорания пороха при высоких температурах (6000°F), в результате чего образуются кратковременные реактивные молекулярные соединения. Вначале я думал, что эти образования кислотные. Тем не менее, после измерения pH среды в стволе после выстрела, когда оказалось, что она щелочная (pH=от 9 до 10), я пришел к выводу, что она не могла быть кислой. Тем не менее, этот тест не исключил возможности возникновения кратковременных реактивных молекулярных образований при высоких температурах. Отметим, что pH меньше 7 показывает кислотный баланс, а pH выше 7 показывает щелочной баланс, нейтральный баланс возникает при pH равном 7. Итак, если на высоких температурах образуются кратковременные реактивные соединения, я решил, что решение этой проблемы требует более комплексных экспериментов, чем я могу сделать. Я думаю, что проблемы вытравливания канала ствола можно избежать, если пройти ствол патчем, смоченным водой, после использования средства на водном растворе аммиака, а затем с чистящим средством типа Shooters Choice или Hoppe's. Я просто чищу ствол Sweet's каждые 100 выстрелов или около того, заканчивая патчем, пропитанным Shooters Choice. Мне этого достаточно.

Shooters Choice и Flitz оба содержат олеат аммония, то есть соль аммония олеиновой кислоты. Они устраняют омеднение, но работают медленней, чем очистители на аммиаке. Один из моих любимых очистителей – это две объемные части Shooters Choice, смешанные с одной объемной частью Kroil. Kroil – это противокоррозионная пропитка, которую изготавливает Kano Products, и я думаю, что эта идея была подсказана Биллом Гебхардом, владельцем Bald Eagle Precision Machine Company. Жидкий Flitz удаляет омеднение довольно быстро. Это сильное полирующее металл средство, которое, похоже, полирует поверхность канала ствола. После употребления Flitz похоже, что омеднение формируется медленней. Вы можете использовать ершик с этим средством, а затем почистить ствол при

помощи Shooters Choice или каким-то другим средством для удаления появляющегося вязкой черной грязи.

Хромомолибденовые ствольные стали могут реагировать на чистящие химикаты не так, как нержавеющие ствольные стали. Также ствольные стали могут отличаться между производственными процессами. Это затрудняет выбор методов чистки.

Так каждый человек имеет свои собственные идеи насчет того, как чистить стволы, я не буду рассказывать вам, как это делать. В отличие от этого, я расскажу вам, как это советуют делать некоторые производители стволов и оружейники.

- 1) Чистите каждые 10 или 20 выстрелов.
- 2) Используйте направляющие с вкладышами на задней части, которые центруют шомпол и предотвращают его сгибание и подтирание на нарезах. Лучшие ствольные направляющие имеют О-образные колечки, предотвращающие вытекание чистящих растворов назад в ствольную коробку.
- 3) Используйте необолоченные шомпола, так как они намного жестче и меньше подвержены изгибу и трению по нарезах. Используйте зазубренный коней шомпола при чистке патчем, чтобы патч выпадал из дульной части. Следите, чтобы шомпол в стволе всегда двигался по прямой.
- 4) Начните с 3 патчей, смоченных в смеси Shooters Choice-Kroil.
- 5) Сделайте около 10 полных проходов бронзовым ершиком со смесью Shooters Choice-Kroil.
- 6) Повторите п.4.
- 7) Прогоните два сухих патча через ствол и очистите патронник куском хлопчатобумажной ткани, обернутой вокруг ствольного ершика.

Первый загрязняющий выстрел обычно имеет скорость на 50-75 фт/сек меньше обычной и может не войти в группу.

Очищающая Машина Outer'a может быть единственным методом придания стволу микроскопической чистоты, но она работает очень медленно. Проблема в том, что загрязнения ствола лежат на различных уровнях – продукты горения и омеднение. В результате электронный процесс работы машины Outer заканчивается с удалением меди, а слой углеродосодержащих продуктов горения остается. Вы должны удалить углерод ершиком и после продолжить электронный процесс очистки. Тем не менее, если вы сделаете это, то получите очень чистый ствол, хотя потратите для этого несколько часов.

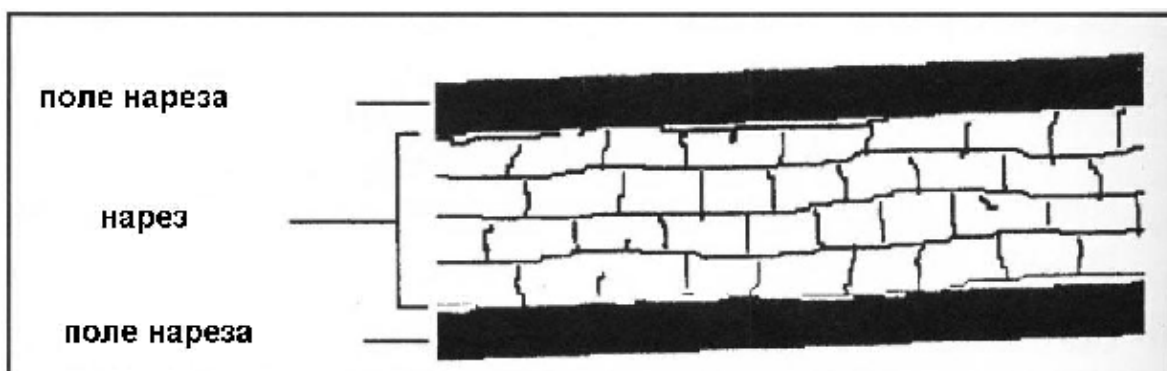


Рисунок 11-1 – Художественное представление внутренней поверхности ствола, показывающее эффект теплового разгара ствола. Такой тип нарушения поверхности можно найти в стволах, из которых выстрелили очень много раз.

Существует нарушение качества поверхности канала ствола, с которой невозможно справиться его чисткой. Если вы распилите ствол, из которого выстрелили много раз, его поверхность будет выглядеть, как крокодиловая кожа или кора дерева (Ссылка 28). Я видел это на стволах, но я не смог сделать хорошей фотографии. Фотография в Ссылке 28 очень удачна. Рисунок 11-1 показывает картинку разгара ствола, как его наблюдал автор. Такой вид неоднородности поверхности канала ствола получается в результате тепловых компрессионных нагрузок. При выстреле температура на поверхности канала ствола возрастает на несколько сотен градусов и металл пытается расшириться. Так как поверхность канала ствола ограничена остальным стволом, она не может расшириться, и поэтому возникают большие компрессионные нагрузки. Эти нагрузки могут быть достаточно большими, чтобы вызвать деформацию стали и обусловленное этим мельчайшее растрескивание поверхности. Это растрескивание (разгар) происходит на более-менее одинаковых интервалах на поверхности, производя фактуру, похожую на кору дерева. Какое влияние этот эффект производит на точность и как скоро он появляется, я не знаю. Но я не думаю, что это хорошее влияние.

Около тридцати лет назад я пробовал делать нарезы в стволах, потому что хотел экспериментировать с очень медленными нарезами и прогрессивными (с изменяемым шагом) нарезами, которые не были доступны для коммерческих целей. Нарезка в этих стволах была очень не точная, потому что я был очень не опытен. Неожиданным было то, что некоторые из этих стволов стреляли очень хорошо. Я использовал строгание для образования нарезов, когда через канал ствола протягивается режущая головка с одиночным резцом. Резец поворачивается после каждого прохода для обеспечения шести нарезов, а потом резец слегка выдвигается для следующего цикла протяжек, чтобы врезаться на большую глубину. Этот метод автоматизирован в производстве так, что строгальная машина автоматически поворачивает головку и регулирует глубину резания. Большинство штучных стволов раньше изготавливались строганием (у меня сохранился один), и они очень гладкие. Позже практически все стали использовать процесс протяжки углеродистого дорна. Дорн, имеющий желаемую форму полей и нарезов, проталкивается или протягивается через канал ствола, диаметр которого находится между диаметрами по полям и по нарезами. Интересно отметить, что канал ствола покрывается тонким слоем меди до того, как дорн протягивается или проталкивается через отверстие. Скорее всего, вы не сможете сделать это без меди, выступающей в качестве смазки. Это сейчас используют все штучные изготовители стволов, применяющие дорнование, насколько я знаю. В наши дни некоторые крупные серийные изготовители стволов используют процессковки. Стальная заготовка с отверстием оковывается по нарезной оправке. Оправка потом выталкивается из ствола, образуя трубу с нарезами внутри. Эти три метода обсуждались в Мартовском 1993 года выпуске журнала "Guns and Ammo". Фактором, приведшим к изменению методов изготовления, была стоимость. Тем не менее, дешевле не значит лучше. Вопрос, при каком методе получаются лучшие стволы? Во-первых, я не имел никакого опыта с кованными стволами, и мне не попадались никакие сравнительные данные по качествам этих стволов по сравнению с другими методами изготовления нарезов. Кованные стволы могут не иметь следов от развертывания, которые остаются при строгании и дорновании. Тем не менее, я не знаю характеристик прямолинейности и температурного увода для кованных стволов. Строгание оставляет более острые кромки, чем дорнование. Хорошо это или плохо – я не знаю, но я сомневаюсь, что будет заметно какое-то отличие. При обоих методах строгания и дорнования могут возникать вариации в диаметре нареза. Вы можете почувствовать более плотные места, когда будете притирать канал ствола. Дорнование может иметь преимущество над строганием. Процесс обжимки уплотняет поверхность металла, что должно уменьшать износ. Некоторые люди полагают, что ствол с легким конусом лучше, но я не вижу метода проверить это. В любом случае, я думаю, что все аргу-

менты за то, какой метод лучше, академичны, потому что пока вы не изготовите свой собственный, вы будете ограничены в том, что вы можете приобрести.

Все эксперты утверждают, что притертый ствол лучше. Я хочу сказать, что новый ствол, который не был притерт, стрелял лучше, чем после того, как из него сделали несколько сотен выстрелов. Возможно, что происходило следующее: пуля поднимала достаточно углеродистой и капсюльной пыли, которая абразивна, чтобы притирать ствол. Если вы делаете притирку абразивом до стрельбы, вы, возможно, избежите лишнего разгара пульного входа, появляющегося при притирке стрельбой. Вы также можете управлять процессом притирки так, чтобы диаметр канала ствола сходил на конус до меньшего диаметра на дульном срезе. Тем не менее, притирку ствола лучше доверить опытному изготовителю стволов.

Недавно (1995) на рынке появился новый метод снятия напряжений в стволе. Он состоит в медленном охлаждении ствола до температуры жидкого азота, и затем в очень медленном нагреве до температуры чуть выше комнатной. Это упрочнение предназначено для улучшения снятия напряжений и приводит к большей твердости стали. Первые отзывы отмечали уменьшение загрязнения ствола. Тем не менее, очень рано говорить о том, что улучшения реальны.

Трудно сказать, как загрязнения ствола влияют на пулю, но очевидно одно - то, что на магнумах с повышенным давлением откладывается несколько десятых мила меди после сотни произведенных выстрелов. Этого достаточно, чтобы увеличить давление до опасных уровней, когда используются близкие к максимальным заряды. Поэтому вы должны следить за стволами этих пушек, проверяя загрязнение медными оболочками. Тем не менее, эксперты до сих пор спорят о лучшем методе поддержания ствола чистым.

Напряжение дульца гильзы

Влияние напряжения дульца гильзы на посаженную пулю обсуждался в нескольких журналах. Ни одна из прочитанных мною статей не содержала каких-либо реальных данных, поэтому я решил попытаться сделать некоторые измерения. Была изготовлена нагрузочная шайба, которая измеряла силу, требуемую для посадки пули в гильзу на посадочном прессе. Нагрузочная шайба представляла собой алюминиевый цилиндр с двумя тензодатчиками на нем для измерения силы. Сила представлялась в показаниях миллиамперметра, и максимальное значение требуемой для запрессовки пули силы записывалось. Максимальная сила колебалась в пределах от 30 до 70 фунтов. Тест проводился на гильзах 6 мм Ремингтон с 68 грановыми матчевыми пулями. Было проверено шестьдесят патронов, которые были разделены на группы со слабой (< 50) и высокой (> 50) фунтов силой посадки пули. Патроны были затем отстреляны 5 патронными группами через хронограф Oehler 35P на Туннельном Стрельбище из винтовки Тяжелый Варминтер. Я не заметил вообще никакой разницы между патронами со слабым и сильным усилием посадки пули ни в средней скорости, ни в максимальных ее отклонениях, ни в размере групп. Я пришел к выводу, проведя этот ограниченный тест, что сила посадки пули не влияет на точность. Тем не менее, тест проводился на одном патроне и одной винтовке, что делает его очень ограниченным и не позволяет делать общие выводы. Может оказаться, что очень легкое усилие посадки пули (< 10 фунтов) может привести к неравномерной посадке пули в нарезы. Это может привести к большому рассеиванию. Тем не менее, некоторые стрелки бенчрест используют очень легкое напряжение дульца гильзы и хорошо стреляют на соревнованиях.

Пули без сноса

Около сорока лет назад я был глубоко вовлечен в запуск ракет для исследовательских целей. Первая запущенная нами ракета отклонилась **против** ветра, как только покинула пусковую установку, и попала в стороне, откуда дул ветер, от расчетной точки попадания.

Видите ли, осевая нагрузка ракетного двигателя намного больше аэродинамического сопротивления, которое обеспечивает ветровой снос, и корректирует ее. Мы обратились к компьютерной программе, которая позволила нам откорректировать угол запуска для компенсации влияния ветра. Так почему бы не поместить маленький ракетный двигатель в донце пули, который бы обеспечил достаточную осевую нагрузку для противостояния аэродинамическому сопротивлению?

Опыт полетов на истребителях во время Второй Мировой Войны, которые имели 6 или 8 пулеметов (50 калибра) подсказали эту идею. Как-то я заметил, что в то время, как бронебойные, зажигательные и оболочечные пули все попадают в одно и то же место, трассеры попадают выше других. Так как зажигательные пули в любом случае были видны лучше, чем трассеры, я приказал своей команде заменить все трассеры зажигательными пулями. Это было намного эффективней, потому что трассеры расстреливались попусту. Я знаю, почему трассеры так отличались от остальных. Оказалось, что зажигательные пули имеют только 7% снижения аэродинамического сопротивления, в то время, как трассеры 40% снижения (Ссылки 27 и 29). Эта большая компенсация лобового сопротивления обусловлена повышенным давлением на донце, возникающим от горения пиротехнической смеси, оставляющей видимый дымовой след. Вооруженный этой информацией, я решил посмотреть, возможно ли устранить влияние ветрового сноса помещением в донце пули маленького ракетного двигателя, который будет смещать аэродинамическое сопротивление.

Вначале, при подобной идее, надо проанализировать проблему теоретически и посмотреть, может ли она вообще работать. Расчеты на компьютерной программе 6DOF подсказали, что ветровой снос будет устранен, если сила сопротивления будет равной нулю. следующим шагом было изучение возможности помещения в заднюю часть пули достаточного количества ракетного топлива. Аэродинамическое сопротивление для 6 мм пули составляет около 1 фунта. Мы знаем, что уменьшение сопротивления давлением на донце пули, обусловленное горячими газами в попутном воздушном потоке должно составлять 40%. Итак, ракетная осевая нагрузка может быть только 0,6 фунтов.

Лучшее ракетное топливо имеет специфический импульс около 300 фунт-сек на фунт топлива. Нам надо около 0,6 фунта осевой нагрузки для 0,2 секунд (200 ярдов), и это означает, что нам надо 2,8 грана топлива. Для этих условий нам необходимо цилиндрическое зерно диаметром около 0,210 дюйма и 0,26 дюйма длиной. В Главе 10 я пытался запрессовать пластиковый цилиндр в донце пули для повышения ее стабильности, и он работал прекрасно. Помня это, я пытался запрессовать макет ракетного двигателя в оболочку 270 калибра под свинцовый сердечник. До запрессовки ракетного топлива и сердечника в донце оболочки было просверлено маленькое отверстие. Большие калибры и более длинные пули могут работать на больших дистанциях, возможно до 500 ярдов.

Этот прототип пули испытывался на тензометрическом приборе для измерения осевой нагрузки. И здесь начались проблемы. Было трудно воспламенить закрытое резинкой ракетное топливо без применения электрического пиропатрона на черном порохе. Когда удавалось его воспламенить, из-за довольно маленького отверстия сопла, заряд обычно начинал гореть неправильно. Это неверное горение известно в среде ракетных инженеров, как

«прострелы», и звучит оно как стреляющий пулемет. Я решил отстрелять несколько из них из винтовки (удаленно, естественно) с соплом больше оптимального, чтобы посмотреть, будут ли они воспламеняться в стволе. Они скорее всего не воспламенялись, потому что я не смог определить какого-либо отличия в скорости между инертными и боевыми ракетными пулями на мишени.

Столкнувшись с трудностями воспламенения, я решил отложить этот проект до лучших времен, потому что здесь необходимо провести намного больше исследовательской работы, чем я предполагал. Тем не менее, я все еще полагаю, что это практическая идея, хотя и не планирую проводить ее в ближайшем будущем. **Я хочу предупредить читателя о принятии повышенных мер безопасности, если вы решите опробовать это.** В некоторых стендовых тестах оболочки взрывались, но я был защищен плексигласовой коробкой, в которой проводился эксперимент, плюс защитные очки, маска на лицо и толстая одежда. Если у вас нет достаточного опыта работы со взрывчатыми веществами, не пытайтесь делать это.

Пули с молибденовым покрытием

Недавно в популярной литературе много писалось о покрытии пуль дисульфидом молибдена и карнубским воском. Пули сначала покрываются дисульфидом молибдена (далее молибденом), а затем карнубским воском поверх молибдена. Покрытие завершается кувырканием пуль во вращающейся центрифуге, наполненной стальной дробью. Идея такова, что дисульфид молибдена и карнубский воск оба являются смазывающими веществами и должны уменьшать трение в стволе и улучшать характеристики. Я решил проверить пять утверждений, относящихся к этому процессу.

Первое утверждение говорило, что существует возможность достижения более высоких дульных скоростей при равном пиковом давлении в стволе, происходящем из-за уменьшения трения о ствол. Также утверждалось, что при одинаковых пороховых зарядах покрытые пули будут иметь чуть меньшую (3-4%) дульную скорость из-за уменьшения трения в стволе. Я протестировал покрытые и непокрытые бмм 68 грановые пули на дульную скорость и давление в патроннике. Средняя дульная скорость для непокрытой пули была 3175 по сравнению с 3083 фт/сек для покрытой пули. Разница в скорости составила 92 фт/сек или 2,9%, что соответствует утверждению. Давление в патроннике показано на Рисунке 11-2 для непокрытой (верхнее фото) и покрытой (нижнее фото) пуль. Вертикальная шкала имеет деление в 10000 psi на сантиметр. Давление в патроннике было около 54000 psi для непокрытой пули и около 47000 psi для покрытой. Это влияние на дульное давление и скорость не изменялись при чередовании покрытых и непокрытых пуль во время теста. Это говорит о том, что влияния отложения покрытия не наблюдалось, и оно полностью выдувалось из ствола. Падение дульного давления и скорости **не** обусловлено уменьшением трения в стволе, как предполагает Норма и другие. Оно обусловлено тем, что горячие пороховые газы (5640°F) испаряют покрытие, что приводит к охлаждению пороховых газов (около 400°F). Причиной такого моего утверждения является то, что если вы обратитесь к сложной компьютерной программе по расчету внутренней баллистики и сильно уменьшите трение, то давление упадет незначительно, и скорость возрастет немного. Физически невозможно получить измеренный эффект на скорости и давлении при уменьшении трения в стволе. Трение в стволе лишь немного влияет на скорость. С другой стороны, испарение смазывающих веществ забирает много энергии и падение температуры на 400°F очень даже возможно. Дисульфид молибдена начинает размягчаться при 842°F, и плавится при 4802°F. Для проверки этой идеи я решил провести эксперимент,

просто положив 0,07 грана дисульфида молибдена и 0,07 грана карнубского воска сверху гильзы на порох. Я определил отличие в весе покрытой и непокрытой пули в 0,15 грана. Измеренное дульное давление уменьшилось на 4500 psi и средняя скорость уменьшилась на 50 фт/сек. Этот результат похож на данные по скорости-давлению, полученные при тестировании покрытых и непокрытых пуль, правда в данном случае он оказался чуть ниже. Вероятно, я не угадал пропорцию между молибденом и воском, чтобы получить результат, идентичный тестам с покрытыми и непокрытыми пулями. В любом случае, этот тест убедил меня, что дисульфид молибдена охлаждает пороховые газы и этим снижает давление. В любом случае, уменьшение давления в патроннике ничего не делает с трением пули. Последним шагом было увеличение заряда в калибре 6BR с 27 до 28 гранов пороха N133, попытаться разогнать покрытые пули до такого же давления и измерить скорость. Кривая давления была в основном идентична давлению для непокрытой пули, показанному на верхнем фото Рисунка 11-2, и скорость была на 13 фт/сек выше. Норма заявляет о повышении скорости до 10 м/с (32,3 фт/сек) при том же пиковом давлении, что возможно. В любом случае, я не нашел повышения скорости очень впечатляющим.

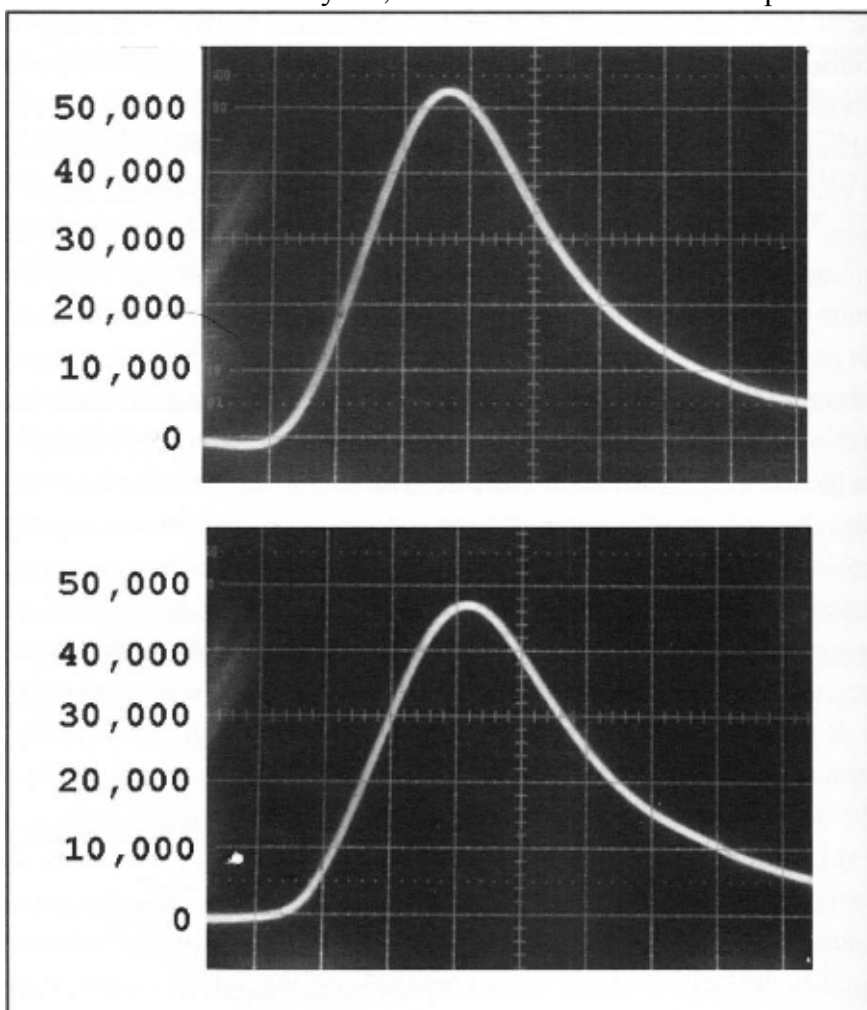


Рисунок 11-2 – Трассы осциллографа, показывающие измерения давления в патроннике с покрытием из дисульфида молибдена и карнубского воска и без покрытия. На верхнем фото пиковое давление составило около 54000 psi (дульная скорость 3175 фт/сек) для непокрытой пули, на нижнем фото пиковое давление 47000 psi (дульная скорость 3083 фт/сек) для покрытой пули. Использовались порох N133 и 68 грановые бмм матчевые пули.

Также было заявлено, что покрытые пули попадают в мишень выше на больших дальностях (600 ярдов), благодаря увеличению баллистического

коэффициента и более пологой траектории. Я измерил потерю скорости через 100 ярдов для покрытой и непокрытой пули. Непокрытая пуля потеряла 325 фт/сек, и покрытая потеряла 323 фт/сек на дальности 100 ярдов. Разница в 2 фт/сек находится в пределах точности измерений, поэтому я пришел к выводу, что нет различия в баллистическом коэффициенте. Более того, нет причин надеяться на серьезное увеличение БК, потому что покрытие сходит почти сразу же после вылета пули из ствола, если не в самом стволе. Пуля горячая (600°F) и пограничный слой горячий (750°F), поэтому восковое покрытие будет стираться почти полностью в полете, если оно останется после прохода через ствол. Также нет оснований полагать, что смазывающее покрытие может уменьшать поверхно-

стный аэродинамический коэффициент сопротивления. Если оно и уменьшает аэродинамическое сопротивление, то лишь в небольшой степени, потому что поверхностное сопротивление – лишь небольшая часть полного лобового аэродинамического сопротивления, действующего на пулю. Идея о том, что смазывающее покрытие каким-то образом уменьшает углы конусообразного движения и атаки, в достаточной степени для уменьшения аэродинамического сопротивления и увеличения баллистического коэффициента, не имеет оснований. Это было показано в Главах 7 и 10 (Рисунок 10-20). Я думаю, что заявления о попадании пули в мишень выше по удаленной цели происходят из существенного увеличения дульной скорости и давления в патроннике или из-за стрельбы на различных точках высокочастотной вибрации ствола (Глава 4).

Существуют утверждения о повышении точности до 20%. Я не увидел этого в случае моего рэйгана, который стреляет в среднем 0,175 дюймовые группы на 100 ярдов. На том же оптимальном заряде в 27 гранов пороха H322 и той же партии покрытых пуль я получил средний размер групп в 0,179 по сравнению с 0,175 дюйма для непокрытых пуль (смотри Рисунок 4-40). Естественно, дульная скорость была на 92 фт/сек меньше, чем для непокрытых пуль на том же заряде. Когда я попробовал увеличить заряд до 28 гранов, чтобы достичь той же дульной скорости, как на непокрытых пулях, размер групп вырос до 0,3 дюймов. Хотя я и не видел улучшения кучности, это, все же одна винтовка в одних условиях. Результат может быть другим для другой винтовки или патронов. Я не пытался оптимизировать ситуацию. Для меня обозначилась одна вещь, что если вы не получите равномерного покрытия этого состава на пуле, вы можете получить ухудшение смещения ЦТ. Дисульфид молибдена имеет плотность, которая составляет около 40% плотности свинца. Итак, неравномерное покрытие может привести к различию. Я думаю, что получил покрытие максимально хорошее, из того, что мог получить.

Заявлялось, что покрытые молибденом пули уменьшают характеристики загрязнения ствола. Я думаю, что это похоже на правду, хотя я не отстрелял достаточного количества покрытых пуль, чтобы обсуждать количественное проявление этого эффекта. Тем не менее, у меня сложилось впечатление, что вам не надо будет чистить ствол так часто.

Норма заявляет, что живучесть ствола возрастает при применении покрытых пуль. Я думаю, что это логично и может быть правдой. Так как и давление и температура в стволе уменьшаются для одного и того же заряда, это должно уменьшать эрозию ствола. Тем не менее, я не захотел отстреливать десятки тысяч выстрелов из нескольких стволов, чтобы определить это. Так что, вам судить об этом утверждении.

В общем, я не нашел и признаков существенного улучшения показателей скорости-давления, точности или баллистического коэффициента. Покрытые пули, похоже, требуют меньшей чистки ствола. Влияние на живучесть ствола не проверялось. После этого ограниченного тестирования, я не нашел необходимым использовать покрытые пули для своих целей. Тем не менее, вы можете захотеть испытать их, чтобы получить другие результаты.

Техника стрельбы

Хотя я и не считаю себя великим стрелком из винтовки, я сделал несколько наблюдений за более чем 60 летний период стрельбы из всех видов винтовок, которые могут быть интересными.

Я убедился в том, что основная проблема для хорошего выстрела при охоте на крупного зверя – это возбуждение («оленья лихорадка»). В какой-то момент я переболел охотой на крупного трофейного зверя и переборол в себе азарт возбуждения. Я думаю, что просто стал более опытным, и охота на грызунов также помогла (варминт). Также помогает вылазка в горы или стрельба по силуэтам на неизвестные дальности. После удачного выстрела измерьте расстояние до цели. Очень просто ошибиться с оценкой расстояния, особенно в горах, и такая практика помогает. Если вы без труда попадаете по «силуэтному оленю», вы, скорее всего, попадете по настоящему оленю. Другая проблема, с которой сталкиваются люди, это одышка и учащенное сердцебиение. Иногда полезно останавливаться в ваших походах, чтобы частота дыхания и пульса снижалась. Вам необходимо часто останавливаться и осматриваться кругом в любом случае. Я передвигаюсь медленно и останавливаюсь каждые 50...100 футов на время до минуты. В этом случае вы никогда не запыхаетесь. Это очень важно для людей, которые живут на маленькой высоте и пытаются охотиться на большой высоте (скажем, 9000 футов). Другая важная вещь – это всегда стараться стрелять из позиции сидя. Большинство стрелков практикуются в стрельбе со станка на стрельбищах. Попробуйте практиковаться в стрельбе с голой земли из положения сидя. Я не пытаюсь стрелять на расстоянии ближе 200 ярдов. В таком случае животное не беспокоится и у меня появляется достаточно времени, чтобы занять позицию сидя и расслабиться. Попробуйте – вам понравится! В любом случае, не пристреливайте свою винтовку стрельбой с жестких мешочков с песком. Если вы сделаете это, то очень вероятно, что получите другую точку попадания, чем при стрельбе с рук или из положения сидя. Используйте что-то типа смотанного спального мешка в качестве опоры под цевье. никогда не используйте ремни, продетые через локоть в армейской манере, так как это также смещает точку попадания.

Соревновательная бенчрест стрельба – это нечто совсем другое, и я не имею большого опыта в ней. Существует два основных способа стрельбы – с жестким удержанием и метод свободной отдачи. Хотя существуют вариации в техниках жесткого удержания, обычно вы обхватываете пистолетную рукоятку и прижимаете приклад к плечу в этом методе. Вы можете убедиться, что маленькие изменения в жесткости удержания могут стать причиной серьезного разброса по вертикали. В общем, если вы используете эту технику в матчевой стрельбе, вы должны быть очень осторожны с единообразным удержанием во время зачетной стрельбы. При методе свободной отдачи вы наводите винтовку регулировкой передней опоры и только нажимаете на спуск для производства выстрела. Кроме того, вы избегаете проблемы однообразного удержания и также можете одновременно наблюдать все указатели ветра. Недостаток метода свободной отдачи в том, что он намного медленнее метода жесткого удержания. Единственное решение – это опробовать оба метода и выбрать подходящий для вас.

Еще одна возможная проблема – использование жестких мешков с песком в бенчрест стрельбе. Я хорошо знаю, что винтовки с большой отдачей стреляют не очень хорошо при обычной бенчрест установке. В чем это проявляется, я не могу точно сказать, но я подозрительно отношусь к этим жестким мешочкам с песком даже в случае бмм бенчрест винтовки. К сожалению, правила бенчрест предписывают использовать эти мешочки с песком.

Статистическая ошибка

Я часто читаю журнальные статьи, где кто-нибудь делает экстравагантные заключения и представляет в качестве доказательства целых две 3-патронные группы. Этих данных недостаточно, чтобы что-то доказать. Несколько 3-патронных групп дадут от половины до

двух третей рассеивания серии 5-патронных групп. Кроме того, необходимо как минимум пять 5-патронных групп, чтобы начать наблюдать какие-то закономерности в данных. Все приведенные средние размеры групп в этой книге базируются минимум на восьми 5-патронных группах. Тем не менее, обычно нет необходимости стрелять больше десяти 5-патронных групп для получения употребительных данных.

Заключительное слово

Я старался максимально представить факты по точности винтовки. Тем не менее, остались проблемы, которые еще предстоит решить, но я надеюсь, что мы узнали намного больше о точности винтовки, чем знали до начала моей работы. Я все еще работаю над решением неразрешенных проблем, и, возможно, опубликую второй том этой книги. Компьютерные программы, использованные в этой книге не доступны основному читателю, потому что имеют недружественный интерфейс и у меня не было времени, чтобы тщательно описать их. Кроме того, я не делаю винтовки для людей. Я надеюсь, что Ремингтон не будет оскорблен некоторым моим анализом винтовки Ремингтон 721. На самом деле Ремингтон 721 – моя любимая винтовка-спортер и я имею их несколько штук. Я просто хотел улучшить их. В любом случае, я надеюсь, что это было интересное чтение. Удачной стрельбы!

Предупреждение

В последний раз предупреждаю читателя, что некоторые проведенные эксперименты, представленные в книге, могут быть опасны и не должны повторяться людьми, у которых нет хорошего опыта в технике проведения экспериментов и взрывотехнике.

Приложение А

Конструкция акселерометра

Ранее в данной работе было определено, что хотя ствол спортера колеблется на нескольких модах, наиболее важной является третья мода с частотой около 1,25 кГц. Более высокие моды просто не так сильно влияют на рассеивание, так как, несмотря на то, что относительно высокие ускорения присутствуют на этих модах, обусловленные ими смещения очень малы. Таким образом, стояла задача сконструировать акселерометр, который в основном был бы особенно чувствительным к этой третьей моде. В основном используется несколько типов акселерометров. В этих исследованиях были опробованы три типа акселерометров.

- 1) пьезоэлектрический кристалл – Большинство коммерческих акселерометров используют принцип пьезоэлектрического кристалла. Они чувствительны, имеют хороший электрический отклик, хорошо работают в широком частотном диапазоне. Тем не менее, они чувствительны к ударам во всех направлениях, и имеют тенденцию к вибрированию на своей собственной частоте, которая может составлять 30 кГц и выше. Я сделал несколько подобных с использованием кристаллических микрофонов Radio Shack, и они хорошо работали на очень низких ускорениях при стендовых испытаниях, когда возбуждения ударных нагрузок не было, или они были очень маленькими. Тем не менее, при тестировании на дульной части ствола винтовки, когда через ствол проходит большое количество ударных волн, данные были искажены большим количеством высокочастотных колебаний. Фактически, оказалось, что инструмент входил в насыщение (зашкаливал) на высоких частотах. Когда выходные данные были пропущены через низкочастотный электронный фильтр, начала появляться составляющая с более низкой частотой, которая нас и интересовала. Тем не менее, если выходной сигнал акселерометра частично входил в насыщение, данные по низким частотам вполне могли быть искаженными. Попытки демпфировать акселерометр путем уменьшения движения чувствительного кристалла, были полностью бесполезны. Возможно, кто-нибудь сможет работать с коммерческим акселерометром данного типа лучше, но я думаю, что и у него возникнут подобные проблемы. Мой опыт с пьезоэлектрическим типом подсказал мне отказаться от него и опробовать акселерометр балочного типа.
- 2) балка с тензодатчиками – Консольная балка с тензодатчиками широко использовалась в прошлом. К ее преимуществам относится легкое демпфирование и высокая предсказуемость. Недостатками являются низкий выходной электрический сигнал и низкая частота собственных колебаний. Как следствие низкого электрического выходного сигнала, данному типу присуще низкое отношение сигнал-шум. Низкая частота собственных колебаний не является проблемой в данном приложении. Тем не менее, низкая чувствительность тензометрического моста требует больших уровней усиления (то есть 2000), и здесь на первый план выходят проблемы шума. Так как чувствительность тензометрического моста напрямую зависит от частоты собственных колебаний, конструктор должен выбирать между двумя конфликтующими требованиями, если собственная частота колебаний будет больше, чем несколько сотен Герц. Данное приложение требует собственной или резонансной частоты около 2 кГц, что автоматически означает пониженную чувствительность. Даже если приложить особые усилия для решения проблемы шума, такие как встроенный чип усилителя на корпусе акселерометра около балки, я определил, что ускорения низкого уровня (<10 G) будут искажаться. В общем, было принято другое решение акселерометра балочного типа.

- 3) Балка покрытая пьезопленкой – Пьезопленка – это тонкая поливинилиденная фтористая пластиковая пленка, в которой вырабатывается высокое электрическое напряжение при ее растяжении или сжатии. Была использована самая толстая пленка толщиной 4,2 мила (100 микрометров). Пленка называется Кунар и изготавливается она Pennwalt Corporation (телефон 215-337-6710). С обеих сторон пленка покрыта металлическим покрытием, которое обеспечивает электрическое соединение. Если электрический контакт делать при помощи наполненного серебром эпоксидного клея, то механический контакт получается удовлетворительным и процесс упрощается. Хотя этот метод и не так чувствителен, как пьезоэлектрический кристалл, он намного чувствительней тензометрического метода. В этом приложении применение операционного усилителя с усилением 50 приводило к выходному сигналу порядка нескольких вольт при ускорении 25 g. Усилитель помещался в маленькую полость (0,35x0,75x2 дюйма) на корпусе акселерометра. Отношение сигнал-шум было очень велико даже на небольших уровнях ускорения, потому что уровень шума составлял лишь несколько милливольт. Выход пьезопленки должен подсоединяться к входу усилителя через полевой транзистор, чтобы обеспечить правильное согласование обратной связи. Пьезопленка имеет одну нежелательную характеристику, а именно электромеханическую связь (то есть определенное выходное напряжение для данной деформации), изменяемую с частотой. Электрическая связь изменяется в два раза на частотах между 50 Гц и 150 Гц. Данный диапазон частот избегается в данном приложении. Выше 150 Гц связь постоянна.

Конструкция акселерометра

Акселерометр осознанно конструировался, чтобы исключить колебания на частотах выше 2 кГц. Чтобы осуществить эту фильтрацию, балка была сконструирована таким образом, чтобы иметь первую неподавленную моду резонансной частоты в 3 кГц без наклеенной пленки. Размеры балки, изготовленной из стальной прокладки, составляли 0,015 дюйма толщиной, 0,2 дюйма шириной и 0,4 дюйма длиной. Когда пленка была приклеена к балке с двух сторон, достигалось критическое демпфирование в 0,55, и резонансная частота падала до значения ниже 2 кГц. Фотография собранного акселерометра на дульном срезе ствола винтовки была показана ранее на Рисунке 4-21. Разрез балки акселерометра показан на Рисунке А-1.

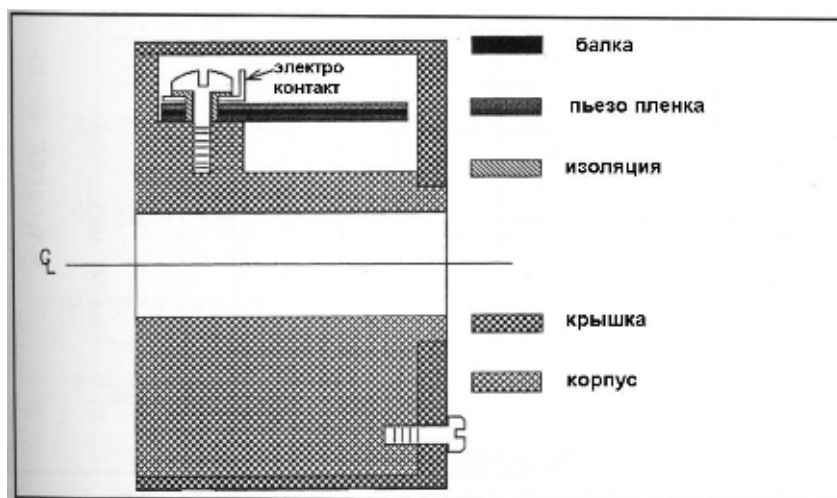


Рисунок А-1 – Разрез дульного акселерометра.

Пленка приклеена к свободному концу балки при помощи эпоксидного клея. Присоединение к электрической цепи обеспечивалось контактом, показанным на рисунке, плюс соеди-

нение с корпусом. Полость в верхней части акселерометра, которая содержит балку, имела ширину 0,35 дюйма и наполнялась силиконовой смазкой через резьбовое отверстие в крышке, которое не показано. Крышка герметизировалась Локтайтом. Силиконовая смазка имела вязкость 25000 сантистокс и была произведена Dow Corning. Смазка имела консистенцию, подобную меду, и помещалась в акселерометр через тонкую трубочку. Весь воздух из прибора удалялся, что обеспечивалось его усадкой в течение нескольких часов. Смазка обеспечивала демпфирующий фактор в пределах между 0,5 и 0,6. Любая используемая демпфирующая жидкость должна иметь высокое электрическое сопротивление для предотвращения утечки заряда с пьезопленки. Акселерометр предназначен только для проведения динамических измерений, потому что заряд с пленки будет спадать при статических условиях.

Рассчитанные отношения амплитуд и фазовые характеристики акселерометра приведены на Рисунке А-2. Заметьте, что отношение амплитуды является плоским в пределах 10% до 2 кГц, где оно начинает спадать, так что более высокие частоты гасятся. В то время, как амплитудная характеристика близка к желаемой, сдвиг фаз в 40 градусов происходит на частотах наибольшего интереса (1,25 кГц), что не является желательным свойством. К счастью, это можно скорректировать конструированием полосового фильтра, который имел бы равный сдвиг по фазе на 1,25 кГц. Кроме того, полосовой фильтр будет в большей степени подавлять высокочастотную составляющую, что является основной задачей полосового фильтра.

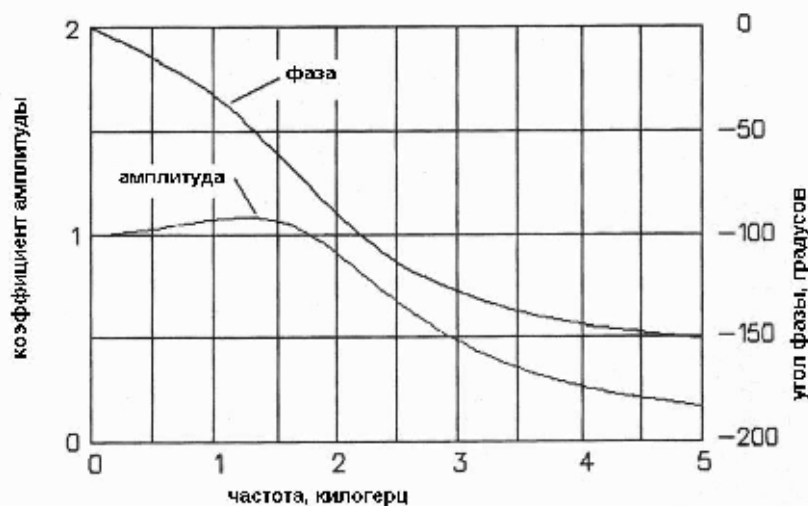


Рисунок А-2 — График, показывающий характеристики частотного отклика акселерометра.

Полосовой фильтр

Я использовал полосовой фильтр, а не низкочастотный, из-за его способности опережать фазу на частотах, ниже центральной частоты. Фильтр был сконструирован таким образом, чтобы иметь опережение фазы на частоте 1,25 кГц настолько точно, насколько это возможно, это означает, что его центральная частота была где-то выше, чем частота первой моды. Амплитудное отношение и фазовая характеристика использовавшегося фильтра показаны на Рисунке А-3. Он имел центральную частоту в 1,4 кГц и коэффициент усиления два. Фильтр был сконструирован, чтобы иметь добротность, равную двум и ширину полосы пропускания 700 Гц. Опережение фазы составило 35 градусов для первой моды (1,25 кГц), что было близко к компенсации 40 градусной задержки фазы, производимой балкой акселерометра. Эти рассчитанные характеристики отклика были подтверждены экспериментальными стендовыми испытаниями. Фильтр был разработан с использованием формул Берлина из Ссылки 30. электрическая схема для полосового фильтра показана на Рисунке А-4. Еще, характеристики отклика, показанные на Рисунке А-3, соответствуют ус-

ловиям устойчивого состояния, а вход фильтра не является устойчивым в данном приложении. Единственным решением было использование дифференциального уравнения, описывающего поведение фильтра и учесть в этой формуле искусственные, но отображающие реальность, данные с входа компьютерной программы по вибрации ствола. В этом случае коэффициент калибровки может быть получен, как отношение входного к выходному напряжению для типичной первой моды колебаний ствола.

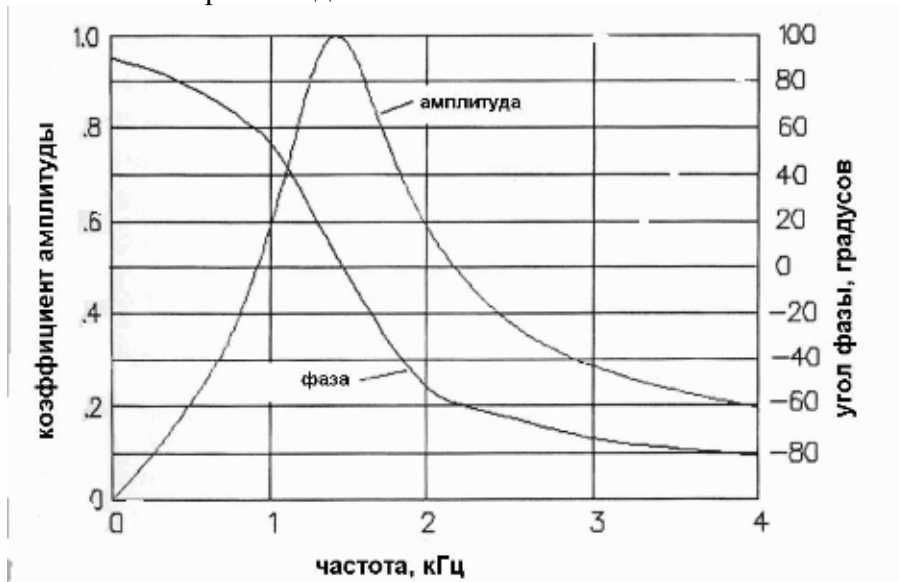


Рисунок А-3 – График, показывающий частотные характеристики полосового фильтра, использованного для отфильтровки нежелательных сигналов.

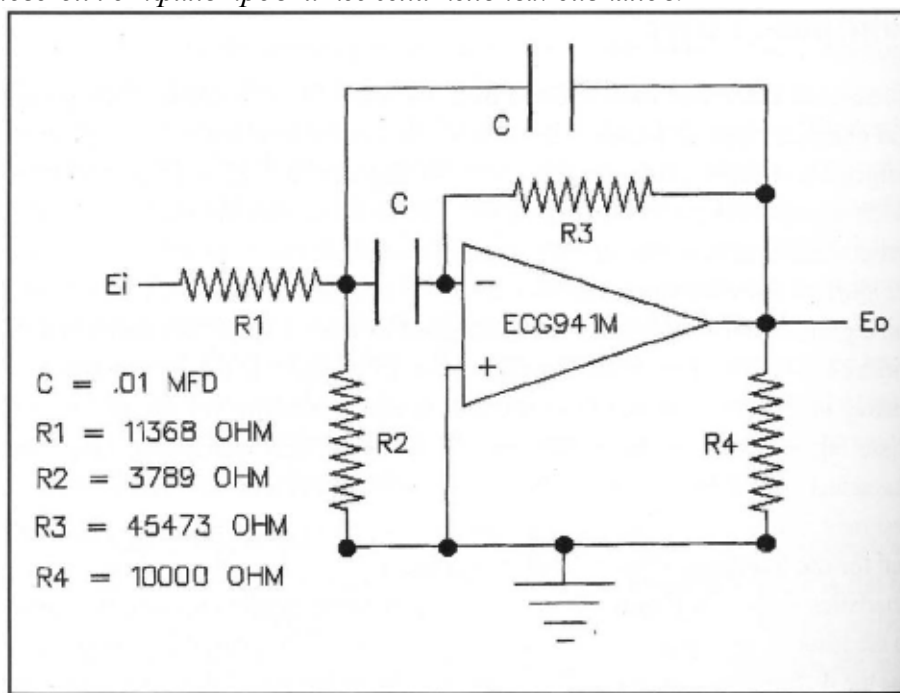


Рисунок А-4 – Электрическая схема полосового фильтра.

Калибровочный коэффициент оказался равным 0,52 по сравнению со значением устойчивого состояния в 0,82, при частоте 1,25 кГц. Фильтр не имеет необходимого времени для достижения уравновешенного устойчивого состояния. Так как дифференциальные уравнения второго порядка, используемые для расчета переходного отклика, трудно отыскать в литературе, они приведены ниже для пользы профессиональных исследователей.

$$(d^2/dt^2)E_o = -2/(R3 * C) * (d/dt)E_o - (R1 + R2)/(R1 * R2 * R3 * C^2) * E_o - 1/(R1 * C) * E_i$$

где E_o – выходное напряжение, E_i – входное напряжение, а звездочка (*) – показывает умножение.

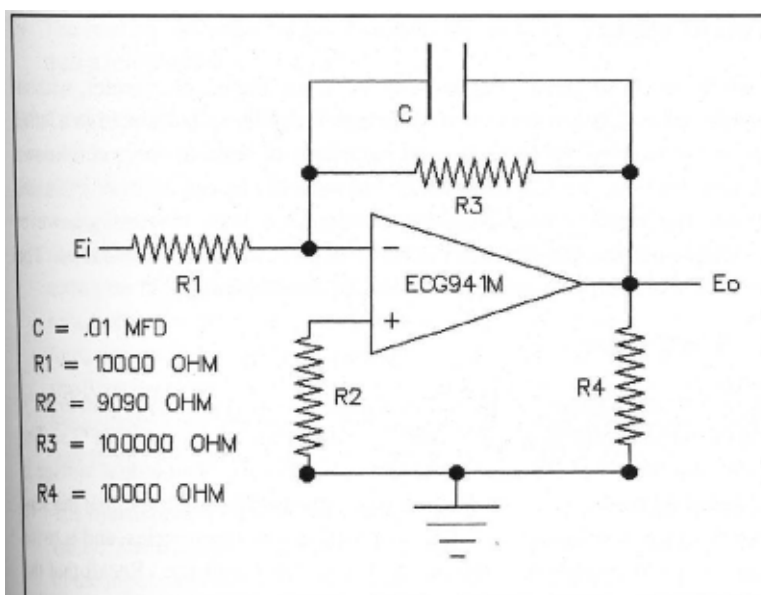


Рисунок А-5 – Электрическая схема интегратора, использовавшегося для получения вертикальной дульной скорости и вертикального отклонения.

Электрическая схема, использующая интегратор, обеспечивающая получение вертикальной дульной скорости и отклонения из выходного ускорения полосового фильтра, показана на Рисунке А-5. Выход полосового фильтра присоединяется к входу первого интегратора, выход которого пропорционален скорости, и выход интегратора скорости присоединяется к входу второго интегратора, выход которого пропорционален отклонению дульного среза. Коэффициент усиления цепи равен 10000, что дает значение калибровки в 0,427 дюйм/сек/Вольт для скорости и 0,043 мил/Вольт для отклонения. Отметьте, что для всех резисторов используются регулируемые винтом потенциометры, что обеспечивает прекрасную регулировку. Все три переменные - ускорение, скорость и отклонение могут быть сравнены с вычисленными переменными, полученными из программы вибрации ствола. В дополнение, интеграция дает низкочастотный фильтрующий эффект, который делает экспериментальные скорость и отклонение более простыми для сравнения и анализа. Кроме того, поперечная скорость и отклонение – это два параметра, которые обуславливают рассеивание пуль.

Калибровка

Калибровка приспособления начинается с вибрации акселерометра без полосового фильтра на конце стержня диаметром $\frac{3}{4}$ дюйма, закрепленного на токарном станке. Поперечная подача станка использовалась для отклонения конца стержня на известную величину, а подача суппорта использовалась для освобождения стержня, чтобы он свободно колебался. Длина стержня могла изменяться для изменения частоты, тем не менее, обычно частота находилась в диапазоне от 30 до 50 Гц. Ускорение конца стержня может быть рассчитано по формуле

$$A = d \cdot (f / (2 \cdot \pi))^2 / G$$

Где f – частота в Гц, G – ускорение свободного падения (32,16 фт/сек²), d – поперечное отклонение в фт., и A – поперечное ускорение в G. Используемое отклонение было достаточ-

ным для обеспечения 20...30 G. Выходное напряжение записывалось на осциллокопе для последующего анализа. Результаты показали, что чувствительность акселерометра составила 0,087 Вольт/G на низких частотах и в два раза больше, или 0,174 Вольт/G на частотах выше 100 Гц. Вспомните, что производитель заявляет, что пьезопленка в два раза чувствительней на высоких частотах. Конечно, было бы лучше калибровать акселерометр на высоких частотах (скажем, 1 кГц), но это требует профессионального оборудования, которого не имелось в наличии, и было неосуществимым делом его изготовление на любительской основе. Данные по ускорению вибрирующего стержня также использовались для проверки работы программы вибрации ствола, и соответствие было замечательным. Акселерометрические данные по конкретному стволу (удерживаемом в токарном станке) были использованы для получения коэффициента вязкостного затухания, который используется в программе вибрации ствола. Он находился при определении числа колебаний до затухания амплитуды на половину. Коэффициент затухания составил 0,03, что типично для механических колебательных систем.

Полная точность измерения ускорения была, возможно, не хуже 10%. Вот несколько причин для такой относительно небольшой точности.

- 1) Калибровка проводилась на намного более низкой частоте, чем интересующая, ввиду ограничений в оборудовании. В итоге, калибровка зависит от частотных данных, предоставленных производителем.
- 2) Точность отсчетов по осциллографу, возможно, не лучше нескольких процентов.
- 3) Межосевая чувствительность очень сильно влияет на точность калибровки, хотя и в большой мере уменьшается при обеспечении акселерометру возможности скольжения в осевом направлении в течении времени измерения. Так как сила трения в осевом направлении составляет около 1,5 фунта и акселерометр весит около 0,16 фунта, осевое ускорение, действующее на акселерометр, должно быть в пределах 10 G. Межосевая чувствительность была измерена и составила что-то между 5% и 7%. Таким образом, ошибка должна была быть около 0,5 или 0,7 G, что составляет относительно небольшой процент от пикового ускорения (30 G), наблюдаемого в эксперименте. Так как не существует метода непосредственного определения этой ошибки, уверенности в обязательном присутствии этой ошибки в данном опыте тоже нет.
- 4) Переходной отклик полосового фильтра – другой источник неуверенности. Переходной отклик фильтра зависит от характеристик входа, а в то время, как данный вход был смоделирован, существует некоторая неопределенность. Единственным альтернативным методом, который может быть использован, является дифференцирование экспериментального выходного сигнала фильтра (инверсная трансформация), используя дифференциальное уравнение фильтра, пытаться получить реальный переходной отклик фильтра. Это трудное дело, и оно не было выполнено.
- 5) Температурные и разные прочие эффекты не учитывались.

Несмотря на то, что фактическая точность измерения не была настолько высокой, как хотелось бы автору, этой точности, скорее всего, достаточно для целей, которые ставились. Фактически, 20% точности должно хватать для определения того, насколько ствол вибрирует и доказательства работоспособности проведенных на винтовке усовершенствований и их эффективности в уменьшении вибрации. Я считаю, что акселерометрические измерения были успешны с этой точки зрения.

Приложение В

Компьютерная программа вибрации ствола

Это приложение написано на более высоком техническом уровне, чем остальная часть книги, и требует инженерной подготовки для всестороннего понимания. Несмотря на это необходимое замечание, средний читатель может захотеть посмотреть это приложение для лучшего осмысления процессов вибрации ствола и для увеличения понимания всей комплексности и глубины проведенной работы.

Были разработаны несколько моделей для компьютерной программы, моделирующей вибрацию ствола. Модель сдвоенных множественных тел оказалась наиболее практичной для использования на маленьких персональных компьютерах. Ствол разбивается на 25 элементов или тел, которые схематично показаны на Рисунке 4-27. конусность ствола намного более плавная, чем показано на компьютерном графике, ввиду ограничения числа пикселей электронно-лучевой трубки. Каждый элемент представлен в виде цилиндра постоянного диаметра. Было определено, что на длину волны высшей моды колебаний требуется как минимум 25 элементов. В этом случае третья мода, одна из интересующих нас, имеет приблизительно одну длину волны на длине ствола (см. Рисунок 4-28). Попытки запуска этой программы для большего количества элементов, чтобы получить моды (гармоники колебаний) выше третьей, оказались безуспешными и были прерваны из-за того, что время вычисления становилось избыточным. Компьютер автора – Gateway 2000 с тактовой частотой 66 МГц. Время вычисления для стандартного случая составляло около 6 минут. Время вычисления приблизительно пропорционально числу элементов в кубе, так шаг по времени уменьшается с увеличением числа элементов. В общем, для расчета существенно большего числа элементов требуется более мощный компьютер. Программа моделирует вибрацию ствола в поперечном направлении, которое перпендикулярно оси канала ствола, то есть является программой с одной степенью свободы. Расчеты, в основном, были проведены для вертикальной плоскости. Решение одной степени свободы должно быть достаточным для данного применения, когда отклонения малы и повороты элементов тоже очень малы. В применениях, где присутствуют большие отклонения, может оказаться необходимым включать эффект вращения. В приложениях для толстых балок может быть необходимым учитывать эффекты деформации сдвига, тем не менее, ствол – длинная тонкая балка, и эффекты сдвига не включались. Дифференциальные уравнения, описывающие движение каждого элемента, следующие

$$A[i,j]*M[j]*d^2Y[j]/dt^2 + Y[i] + C[i,j]*dY[i]/dt = A[i,j]*F[j]$$

Где $A[i,j]$ – коэффициент влияния для i -го элемента с движущей силой $F[j]$ на j -ом элементе, $M[j]$ – масса j -го элемента, $Y[i]$ – отклонение i -го элемента, $C[i,j]$ – коэффициент затухания, $dY[i]/dt$ – скорость i -го элемента, а $d^2Y[j]/dt^2$ – ускорение, действующее на i -ый элемент при силе, приложенной на j -ый элемент. Уравнение может быть преобразовано к ускорению, тогда получим

$$d^2Y[i]/dt^2 = (-Y[i] - \Sigma(\text{инерционная}) + A[i,j]*F[j]) / (A[i,i]*M[i]) - C[i]*dY[i]/dt$$

где

$$\Sigma(\text{инерционная}) = \Sigma \{ A[i,j]*M[j]*(d^2Y[i,j]/dt^2) \} - A[i,i]*M[i]*(d^2Y[i]/dt^2)$$

Сумма инерционных элементов – это сумма эффективных сил, действующих на i -ый элемент, как результат инерциальных сил, действующих на все элементы. Для подтверждения этого мы напишем формулу для первого элемента, где одиночная движущая сила расположена в элементе 1.

$$\begin{aligned} d^2Y[1]/dt^2 = & \{-Y[1] + F[1]/M[1] - A[1,2]*M[2]*(d^2Y[2]/dt^2) \\ & - A[1,3]*M[3]*(d^2Y[3]/dt^2) - A[1,4]*M[4]*(d^2Y[4]/dt^2) \\ & - A[1,5]*M[5]*(d^2Y[5]/dt^2) - A[1,6]*M[6]*(d^2Y[6]/dt^2) \\ & - A[1,7]*M[7]*(d^2Y[7]/dt^2) - A[1,8]*M[8]*(d^2Y[8]/dt^2) \\ & - A[1,9]*M[9]*(d^2Y[9]/dt^2) - A[1,10]*M[10]*(d^2Y[10]/dt^2) \\ & - A[1,11]*M[11]*(d^2Y[11]/dt^2) - A[1,12]*M[12]*(d^2Y[12]/dt^2) \\ & - A[1,13]*M[13]*(d^2Y[13]/dt^2) - A[1,14]*M[14]*(d^2Y[14]/dt^2) \\ & - A[1,15]*M[15]*(d^2Y[15]/dt^2) - A[1,16]*M[16]*(d^2Y[16]/dt^2) \\ & - A[1,17]*M[17]*(d^2Y[17]/dt^2) - A[1,18]*M[18]*(d^2Y[18]/dt^2) \\ & - A[1,19]*M[19]*(d^2Y[19]/dt^2) - A[1,20]*M[20]*(d^2Y[21]/dt^2) \\ & - A[1,21]*M[21]*(d^2Y[21]/dt^2) - A[1,22]*M[22]*(d^2Y[22]/dt^2) \\ & - A[1,23]*M[23]*(d^2Y[23]/dt^2) - A[1,24]*M[24]*(d^2Y[24]/dt^2) \\ & - A[1,25]*M[25]*(d^2Y[25]/dt^2)\}/(A[1,1]*M[1] - C[1]*(dY[1]/dt)/M[1] \end{aligned}$$

Итак, нам необходимо решить 25 таких уравнений для нахождения ускорения каждого из 25 элементов. Это делается на компьютере помещением данной формулы в цикл и суммирования элементов по j для каждого i .

$$\Sigma(\text{инерционная}) = \sum_{j=\text{от } 1 \text{ до } 25 \text{ для всех } i} \{A[i,j]*M[j]*(d^2Y[j]/dt^2)\} - A[i,i]*M[i]*(d^2Y[i]/dt^2),$$

Потом надо вычесть $A[i,i]*M[i]*(d^2Y[i]/dt^2)$ из суммы ускоряющих сил и подставить результат в

$$d^2Y[i]/dt^2 = \{-Y[i] - \Sigma(\text{инерционная}) + A[i,j]*F[j]\}/(A[i,i]*M[i]) - C(i,j)*dY/dt/M[i]$$

Это уравнение решается для каждого элемента i . Надо заметить, что я определил, что решение существенно стабилизируется умножением суммы ускорений на число, чуть меньшее единицы (то есть от 0,99 до 0,995). Причина этого неизвестна, но вероятно она зависит от 32 битного ограничения длины слова на маленьком компьютере. Для интегрирования ускорений с целью получения скорости использовался интегратор Рунге-Кутты четвертого порядка, а потом скорость интегрировалась для нахождения смещения. Новые величины ускорения, скорости и смещения подставлялись обратно в уравнение и уравнения решались снова для нахождения новых значений переменных (переменные состояния). Этот процесс повторялся до тех пор, пока ускорения не заканчивали существенно изменяться, то есть решения сходились. С этого момента решение продолжалось для следующего шага по времени. Число повторов было ограничено 50, но после некоторого опыта эта цифра была увеличена. Временной интервал для каждого шага был выбран в микросекунду. Это соответствует частоте самого жесткого элемента (элемент 1), находящегося на зафиксированном конце ствола. Матричные схемы решения не использовались, потому что используемое решение было удовлетворительным. После Ослабления (УПО) условие было использовано для ускорения схождения. Фактор УПО, равный 1,2 оказался оптимальным. Используемый постоянный критерий схождения находился обычно в пределах 0,06 G, хотя и зависел от индивидуальных проблем. Лучшим критерием схождения мог бы быть переменный критерий, зависящий от жесткости индивидуального элемента. Пограничными условиями был простой ноль для всех переменных состояния.

В общем случае можно применить силы ко всем элементам, хотя в данном особом случае отдача и другие моменты ресивера прилагаются к элементу 1. При решении ко всем элементам прилагается постоянное ускорение свободного падения в $1g$, и решение продолжается до тех пор, пока ствол не закончит движение. Отклонение каждого элемента, обусловленное силой тяжести, записывается в файле начальных условий, чтобы начать работу программы для обычного решения вибрации. Гравитационное отклонение мало влияет на рассеивание. Оно может оказывать влияние на точку попадания для различных углов подъема винтовки. Если винтовка поднята относительно горизонтали, гравитационное отклонение уменьшается, заставляя пулю попадать выше на цели. Были изучены другие особые условия, такие как центробежная сила, обусловленная полетом пули по искривленной траектории при гравитационном отклонении, влияние центробежной силы, возникающей при движении вращающейся разбалансированной пули, упрочнение ствола под воздействием давления, и другие. Ни одно из них не имеет значительного влияния, поэтому они не показаны в формулах для избежания лишнего усложнения.

Коэффициенты влияния (т.е. $A[i,j]$) описывают составляющие взаимного влияния элементов. Это статические отклонения, обусловленные на i -ом элементе приложением единичной (1 фунт) силы к j -му элементу, и на самом деле являются обычной взаимной жесткостью пружины. Они получаются простым решением уравнений статического отклонения, или

Для $i > j$

$$\begin{aligned} dY[i,j] &= dx * dx^2 / (6 * EI[i] * (3 * (j-1) + 2)) \\ dY[i,j]/dx &= dY[i-1,j]/dx + dx^2 / (2 * EI[i] * (2 * (j-1) + 1)) \\ Y[i,j] &= Y[i-1,j] + dx * dY[i-1,j]/dx + dY[i,j] \\ A[i,j] &= Y[i,j]/12 \end{aligned}$$

Для $i \geq j$

$$\begin{aligned} DY[i,j]/dx &= dY[i-1,j] \\ Y[i,j] &= Y[i-1,j] + dx * dY[i,j]/dx \\ A[i,j] &= Y[i,j]/12 \end{aligned}$$

Где x – расстояние вдоль ствола от закрепленного конца, E – модуль Юнга (30 миллионов psi), I – момент инерции в поперечном сечении, dx – длина элемента (1 дюйм), Y – вертикальное отклонение, и A – необходимый коэффициент влияния. Так как Y измеряется в дюймах, а I и E в обычных величинах, Y необходимо поделить на 12 для получения A в фут/фунтах. Читатель должен понимать, что силы, включая силу инерции, действующие на какой-нибудь элемент, оказывают влияние на все другие элементы. Это то, что объединяет элементы вместе.

Жесткость первого элемента, то есть переднего кольца ресивера, определялась экспериментально с использованием тензодатчиков на кольце ресивера. Было определено, что жесткость (то есть $E * I$) составила около 70% от рассчитанной величины. Это не удивительно, так как кольцо имеет сложную структуру, делая расчет затрудненным. Кроме того, ни одна балка не имеет полного защемления конца, и эта не является исключением. При расчетах коэффициентов влияния, масса предполагалась равномерно распределенной по длине элемента.

В дополнение к основной части программы, моменты, обусловленные затвором и силой отдачи, рассчитывались из таблиц давлений в патроннике, полученных из эксперимен-

тальных измерений. Момент отдачи был получен из модели масс двух тел, соединенных пружиной, где первое тело состояло из ствола, затворной группы и прицела, которые соединялись пружиной со вторым телом, состоящим из ложи. Жесткость пружины ложи была определена в районе 100000 фунт/дюймов при помощи аналитических методов. В результате проверки значение в 96 фунт/дюймов давало наилучшие результаты. Жесткость пружины представляет сжатие деревянной ложи до того момента, как упор отдачи прилагает силу отдачи к деревянной ложе. Это приводит к задержке начала приложения момента к ресиверу. Эти приложенные моменты затем вводятся как силы, действующие на конец элемента 1 с плечом момента в 1 дюйм. Ответный момент может быть определен из отклонения первого элемента с использованием уравнения балки. Ответный момент – это, конечно же, момент, измеряемый тензодатчиками, и он будет меньше приложенного момента. Продольное положение пули также вводилось в форме таблицы из данных Главы 2. Для изображения ствола и его отклонения также требуется написание графической части программы. Так как графическая часть чувствительна к конкретному применяемому компьютеру, она не приводилась.

Компьютерная программа была успешно проверена сравнением с дульным ускорением, полученным из стендовых испытаний вибрации как на $\frac{3}{4}$ дюймовом стержне постоянного диаметра, так и на настоящем стволе. Эти тесты описаны в Приложении А.

С целью изучения влияния разных входных данных на вибрацию ствола, за два года было проведено несколько сотен выполнений данной программы. Она оказалась незаменимой при изучении причин вибрации ствола и нахождения величины движения ствола и обусловленного этим рассеивания. Программа вибрации ствола не была документирована, и она не настолько удобна для пользователя, как хотелось бы. В общем, в настоящее время она не доступна для широкой публики.

Приложение С

Конструкция приспособлений для балансировки пуль

Динамическое балансировочное приспособление предпочтительней, чем статическое, потому что позволяет не только определять поперечное смещение ЦТ, но и может быть использовано для измерения наклона главной оси пули относительно геометрической оси. Главная ось – это ось, вокруг которой снаряд будет вращаться в свободном полете. Динамическое приспособление обычно более надежно и чувствительно, чем статическое балансировочное приспособление. Тем не менее, статическое балансировочное приспособление проще в изготовлении и требует меньше оборудования для функционирования.

Статическое балансировочное приспособление

Конструкция

Статическое балансировочное приспособление показано на Рисунке 9-4 (Глава 9) и представляет собой ничто иное, как крутильный маятник. Поперечный разрез приспособления показан на Рисунке С-1. наружные размеры приспособления составляют 2,625 дюйма в длину, 0,75 дюйма в высоту и 0,5 дюйма в ширину. Стальная проволока (диаметром 0,01) выступает на 2 фута из каждого конца носителя и натягивается. Проволока изготовлена из стальной гитарной струны. Носитель изготовлен из алюминия, а его боковые поверхности хорошо отполированы для отражения светового пучка. Осевое отверстие сначала просверлено через алюминиевый блок, а потом отполировано для обеспечения пули плотной скользящей посадки в отверстии. Концевые отверстия увеличены для обеспечения фиксации проволоки в этих точках. Концевые заглушки изготовлены таким образом, чтобы иметь плотную посадку в отверстиях.

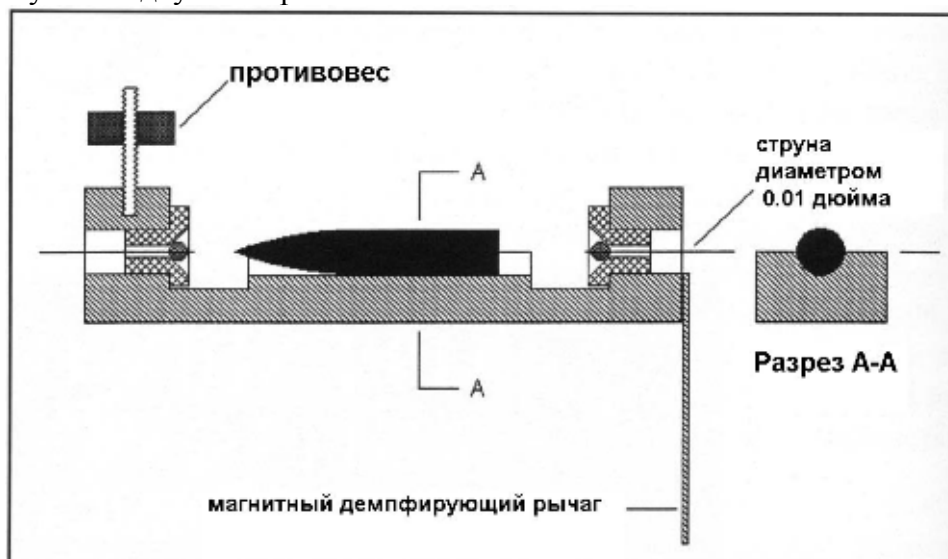


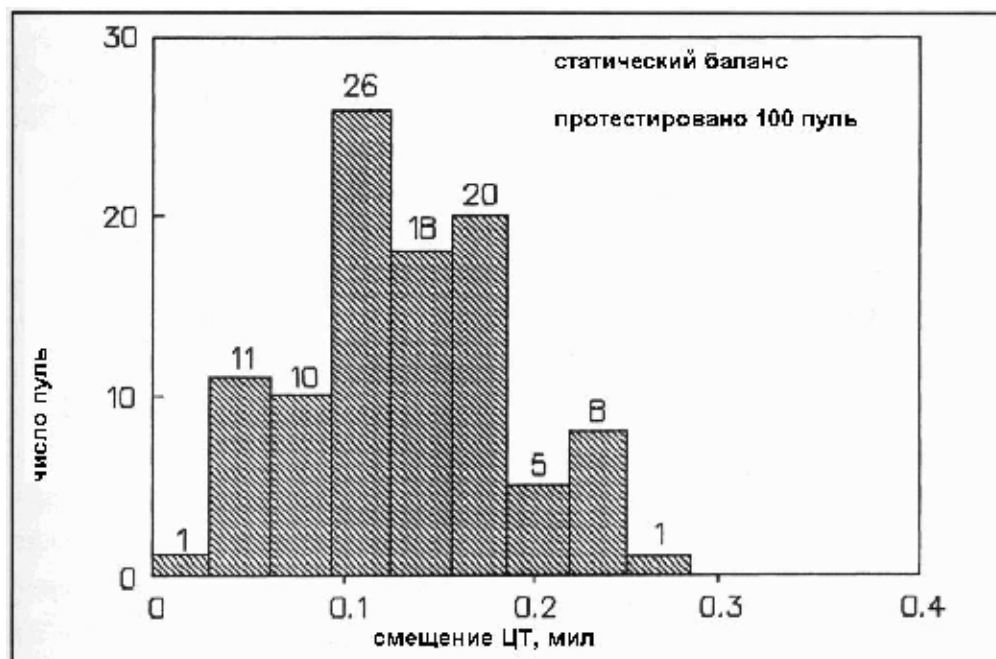
Рисунок С-1 – Рисунок статического балансировочного приспособления.

Верхняя часть носителя потом сфрезеровывается, а кромки притупляются. Капельки серебряного припоя на концах проволоки формируются удерживанием проволоки в вертикальном положении и наплавлением маленькой капли припоя на конец проволоки. Сила тяжести обеспечивает капле прекрасную стекающую форму. Алюминиевая демпфирующая лопасть толщиной 0,032 дюйма приклеена эпоксидным клеем к носителю. Лопасть движется между двумя маленькими магнитами, расположенными по обе стороны лопасти возле ее конца. Латунный противовес регулируется таким образом, чтобы ЦТ приспособ-

ления находился вблизи центральной линии пули. Носитель вращается сначала вправо, затем влево, до тех пор, пока несбалансированная пуля не начнет вращаться в приспособлении. Это вращение определяется высвечиванием светового пятна на высокоотражающую поверхность носителя, которое после отражения дает световое пятно на экране, расположенном в перпендикулярном направлении на расстоянии около 20 футов. Отклонения пятна вверх и вниз измеряются для определения размера смещения ЦТ. Световое пятно может быть сформировано при свечении маленького источника света высокой интенсивности через окуляр оптического прицела.

Функционирование

Я закреплял это приспособление на токарном станке, потому что это стабильный, удобный метод его удержания. Поддерживающие проволочки должны быть хорошо натянуты, не допуская провисания приспособления. Чем выше центр тяжести носителя, тем выше чувствительность приспособления. Тем не менее, если вы поднимите ЦТ приспособления слишком высоко, оно может стать нестабильным и начать тормозить пулю. Чтобы проверить баланс пули, ее нужно вращать на угол 45° время от времени, и записывать положение светового пятна. Максимальные отклонения пятна вверх и вниз записываются, и могут быть переведены в смещение ЦТ в дюймах умножением результата на калибровочную константу. Калибровочная константа определяется по пуле, у которой просверлено радиальное отверстие на половину диаметра в точке продольного размещения ЦТ. Смещение ЦТ на калибровочной пуле просто вычисляется и оказывается достаточно большим (0,001 дюйм), чтобы перекрыть любую возможную асимметрию ЦТ, бывшую до сверления. Более точный метод – это изготовить латунный цилиндр, который бы имел тот же вес, что и тестируемая пуля, и просверлить отверстие для его разбалансировки. В этом методе мы избегаем возможности отбора плохо сбалансированной пули в качестве калибровочной. Я отбирал хорошо сбалансированные пули, проверенные при помощи динамического балансирующего приспособления, описанного ниже. Калибровочная чувствительность данного приспособления для оптической длины 18 футов составила 0,02 мила на дюйм полного отклонения пятна. Полное отклонение пятна – это отклонение между самым верхним и самым нижним положениями светового пятна. На Рисунке С-2 показаны результаты балансировки тех же 100 пуль, что балансировались на динамическом приспособлении, описанном ниже. Вы можете видеть, что хотя результаты схожи с полученными на динамическом приспособлении, статистические данные на такие плавающие.



ском приспособлении, статистические данные на такие плавающие.

Рисунок С-2 –
Измеренное смещение центра тяжести для 100 пуль, полученные при помощи статического балансирующего приспособления.

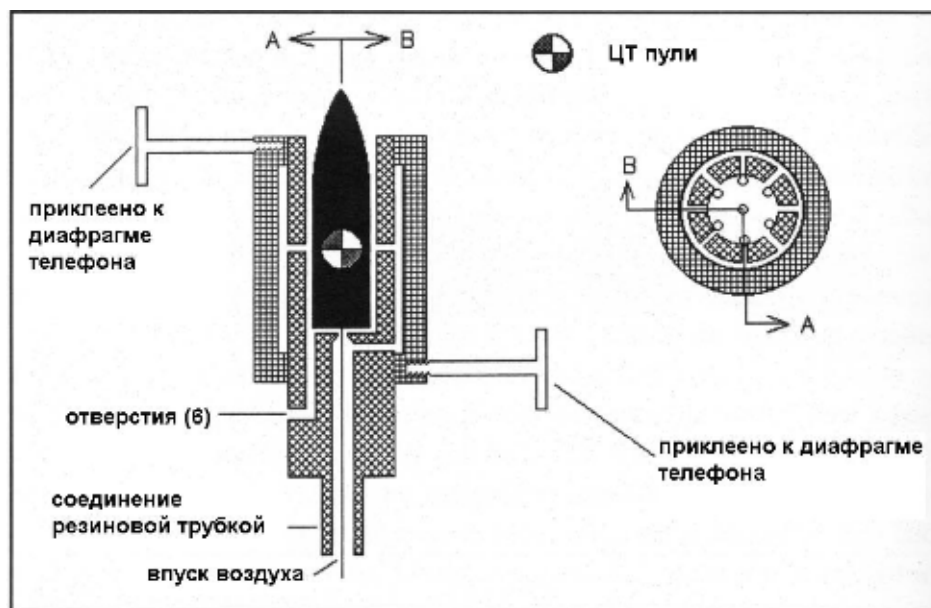


Рисунок С-3 – Рисунок динамического балансировочного приспособления, показывающий пути прохождения воздуха, которые обеспечивают пуле возможность быть подвешенной и вращаться в воздушной подушке

Динамическое балансировочное приспособление

Конструкция

Конструкция динамического балансировочного приспособления основана на принципе воздушного подшипника, который заставляет пулю вращаться с высокими скоростями (≈ 150 Гц). Фотография балансировочного приспособления показана на Рисунке 9-6 (Глава 9), а эскиз сечения показан на Рисунке С-3. Масштаб в эскизе не выдержан. Приспособление изготовлено из полистирена (плексигласа) – прозрачного пластика, обеспечивающего возможность просверливания всех воздушных каналов. Машинная обработка осуществляется на низких оборотах с водяным охлаждением для предотвращения расплавления пластика. Образуются два воздушных подшипника. Первый подшипник поддерживает донце пули, а второй обеспечивает поперечную поддержку по боковым сторонам пули и производит вращательное движение. Воздух подается в нижнюю часть приспособления через маленькое отверстие и протекает в поперечном направлении до его выхода через шесть расположенных на равном расстоянии отверстий около боковых сторон полости. Эта воздушная подушка, появляющаяся между дном полости и донцем пули, поднимает пулю и не допускает контакта дна пули и приспособления. Воздух под высоким давлением из круговой камеры вырывается через восемь расположенных на равном расстоянии радиальных отверстий (0,016 дюйма диаметром) и выходит через шесть отверстий в дне (0,052 дюйма диаметром) и через верх полости. Воздух в круговую камеру подается через два диаметрально расположенных отверстия (0,052 дюйма диаметром) в воздуховодный канал (0,125 дюйма диаметром). Одно из таких впускных отверстий показано на Разрезе В. Другой впуск в круговую камеру не попал в Разрез А. Восемь радиальных отверстий просверлены параллельно диаметру, но со смещением в поперечном направлении на 20 мил для обеспечения вращательного движения. Это смещение не отображено на эскизе. Цилиндрическая полость для пули имеет небольшую конусность, которая измеряется 0,279 дюймами снизу и 0,282 дюймами в верхней части для пули диаметром 0,277. Этот конус серьезно увеличивает вертикальную стабильность пули. Конус изготавливается вручную тонкой наждачной бумагой с последующей полировкой при помощи деревянного притира и полирующего компаунда. Я заметил, что отличным полирующим компаундом может быть зубная паста. Приспособление должно быть сконструировано таким образом, чтобы ЦТ пули находился посередине в вертикальном направлении между двумя точками крепе-

ния, которые присоединяются к диафрагмам телефонных микрофонов. Крепления приклеиваются к диафрагмам эпоксидным клеем. Два пластиковых цилиндра склеиваются клеем для пластика. Внешний диаметр наружного цилиндра составляет 0,65 дюйма, а высота наружного цилиндра – около 0,60 дюйма. Необходимо предупредить читателя, что для успешной работы динамическое балансировочное приспособление требует механической обработки на хорошем оборудовании. Микрофоны применяются старого магнитного типа, не требующие электропитания.

Функционирование

Для измерения асимметрии главной оси требуется двухлучевой осциллоскоп, в то время как для измерения смещения ЦТ достаточно однолучевого осциллоскопа. Осциллоскоп требуется для определения частоты вращения, потому что выходное напряжение пропорционально квадрату частоты вращения. Обычно, частота достаточно хорошо сбалансированных пуль в высокой степени воспроизводима, и все, что необходимо сделать, это лишь убедиться в этом. Плохо сбалансированные пули, такие как использованная для калибровки, могут вращаться не так быстро, как обычные пули, и напряжение будет возрастать как квадрат изменения частоты вращения. Калибровочная пуля (или пули) изготавливается после нахождения хорошо сбалансированной пули просверливанием в ней маленького отверстия в радиальном направлении до центра пули в месте продольного расположения ее ЦТ. Кромки отверстия должны быть тщательно скруглены. Диаметр отверстия в 0,065 дюйма обеспечивает смещение ЦТ в 1 мил, что в соответствии с данными для 90 грановых пуль Сьерра 270 калибра (Рисунок С-4) намного больше, чем можно наблюдать на реальных пулях. На практике осциллоскоп использовался для проверки частоты вращения, а цифровой мультиметр, установленный на переменное напряжение, использовался для измерения напряжения. Калибровка прибора составила 0,508 В (среднеквадратическое значение) на мил смещения ЦТ, что является приемлемой величиной.

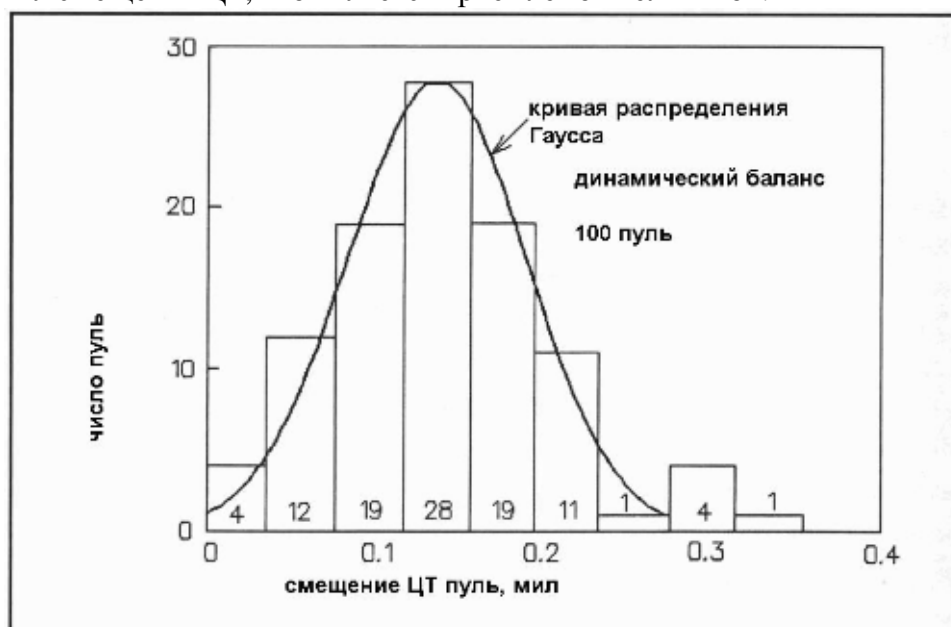


Рисунок С-4 – Смещения ЦТ для 100 пуль, полученные при помощи динамического балансировочного приспособления, в сравнении со стандартным распределением Гаусса.

Оператор должен иметь терпение, чтобы дать пуле раскрутиться до устойчивой частоты вращения (143 Гц). Это может занять до двух минут, то есть это медленный процесс. На практике частота вращения вначале немного возрастает, потом начинает колебаться, и в конце концов устанавливается на устойчивом уровне. Если частота вращения не стабилизируется, возможно, что впускное давление немного велико. В этом случае пуля выдвигает

ется и выпадает из камеры. С опытом обычно можно сказать о достижении пуль равновесия по прослушиванию высокочастотного жужжания, издаваемого приспособлением. Я использовал струбцину с плоскими губками на резиновой впускной трубке для регулировки воздушного потока, идущего от компрессора, отрегулированного на 40 psi. Маленький компрессор удобен для обеспечения достаточно высокого давления воздуха. Кроме того, пули и камера должны быть чистыми, потому что зазор между сторонами пуль и камерой небольшой. В общем случае выходное напряжение двух микрофонов не будет равно, потому что их чувствительность может отличаться. Просто отрегулируйте одну из трасс, чтобы оба сигнала были равными. Выходное напряжение двух микрофонов будет иметь точную разность фаз в 180° . Если суммировать эти два напряжения, разностное напряжение будет пропорционально асимметрии главной оси. Это, естественно, означает, что осциллоскоп должен иметь как минимум один суммирующий усилитель, если стоит задача измерения наклона главной оси. Проработав с этим прибором длительное время, я ни разу не замечал серьезной асимметрии главной оси. Я думаю, что это присуще используемым методам изготовления пуль. Главная ось, проходящая через ЦТ пули, лишь смещается в поперечном направлении без поворота относительно геометрической оси, или оси симметрии пули. Возможно, это происходит из-за неравной толщины сердечника от стороны к стороне. В общем, читателю нет необходимости погружаться в измерение наклона главной оси.

Резонанс между частотой вращения пули и частотой поперечных колебаний приспособления – вот та вещь, от которой надо защититься, так как резонансные эффекты могут вызывать ошибку. Тем не менее, демпфирование микрофонов очень большое, что подавляет резонансные эффекты. Собственная частота колебаний приспособления может быть определена при постукивании по приспособлению и наблюдении за выходным сигналом осциллоскопа. Я определил, что в моем случае частоты находились очень близко, поэтому я обернул полоску свинца $\frac{1}{2}$ дюйма шириной и $\frac{1}{16}$ дюйма толщиной вокруг цилиндра между двумя креплениями. Это существенно понизило собственную частоту приспособления, достаточно для избежания резонанса после достижения устойчивой частоты вращения.

Приложение D

Компьютерная программа для Шести Степеней Свободы (6DOF)

Первая компьютерная программа для шести степеней свободы (6DOF) была разработана NASA около 1960 года. Эта ранняя программа 6DOF требовала большого времени вычисления и применялась на больших компьютерах. В наши дни она может эффективно работать на персональных компьютерах с тактовой частотой 20 МГц и более. Компьютерная программа 6DOF точно вычисляет траекторию полета снаряда по точно известным аэродинамическим коэффициентам и массовым характеристикам. Тем не менее, она должна управляться опытным специалистом по динамике, чтобы получить верные результаты. Программа 6DOF позволяет снаряду вращаться и двигаться поступательно относительно трех взаимно перпендикулярных плоскостей. Это все возможные компоненты движения, поэтому движение строго описывается уравнениями. Большинство опубликованных данных по винтовочным пулям получены из очень простой компьютерной программы, основанной на модели точки масс, в которой полностью игнорируется вращение пули. Это автоматически устраняет влияние асимметрии пули, вращение и переходное движение, и в итоге программы на модели точки масс являются бесполезными для точных исследований. Модель точки масс достаточна для определения высоты середины траектории и скорости на различных расстояниях, что необходимо стрелку. Модель точки масс также намного быстрее и проще в использовании, как результат ее простоты. Так как мы пытаемся определить влияние нескольких вещей на точность во внешней баллистике (см. Главу 10), нам необходима программа 6DOF.

Уравнения движения

Программа 6DOF работает путем решения шести уравнений движения, описывающих поведение пули относительно шести степеней свободы. Эта конкретная программа может быть упрощена, если допустить, что углы траектории малы. Углы траектории действительно малы на коротких дистанциях (то есть 300 ярдов или меньше). Кроме того, допускается, что аэродинамические коэффициенты постоянны с числом Маха, что тоже правда для типовых сверхзвуковых винтовочных пуль на нормальных дистанциях. Оба эти упрощения ускоряют расчет.

Вот три уравнения, которые описывают вращательное движение вокруг осей вращения (x), тангажа (y), и рыскания (z):

$$\begin{aligned} dp/dt &= Mx/I_{xx} \\ dq/dt &= (-p*r*I_{xx} + My)/I_{yy} \\ dr/dt &= (p*q*I_{yy} + Mz)/I_{zz} \end{aligned}$$

где p, q и r – угловые скорости вращения, тангажа и рыскания, Mx, My и Mz – аэродинамические моменты вращения, тангажа и рыскания, и I_{xx}, I_{yy} и I_{zz} – моменты инерции пули относительно осей вращения (x), тангажа (y), и рыскания (z). Величины в левой части уравнения – угловые ускорения относительно осей вращения (x), тангажа (y), и рыскания (z). Если интегрировать эти ускорения, то получим угловые скорости пули (p, q, r), а если проинтегрируем дважды, то получим три угла положения пули.

Три уравнения поступательного движения вдоль осей вращения (x), тангажа (y), и рыскания (z) следующие:

$$\begin{aligned} du/dt &= r*v - q*w - g*\sin\Theta + F_x/m \\ dv/dt &= r*\tan\Theta - r*u + F_y/m \\ dw/dt &= q*u - r*\tan\Theta*v + g*\cos\Theta - F_z/m \end{aligned}$$

где du/dt , dv/dt , dw/dt – ускорения поступательного движения, F_x , F_y , F_z – силы, приложенные вдоль осей x, y, z . А m – масса пули. Если пуля выпущена близко к горизонтальному направлению, так что угол тангажа Θ маленький и дальность небольшая (300 ярдов), эти уравнения упрощаются:

$$\begin{aligned} du/dt &= r*v - q*w - g*\Theta + F_x/m \\ dv/dt &= r*\Theta - r*u + F_y/m \\ dw/dt &= q*u - r*\Theta*v + g*\cos\Theta - F_z/m \end{aligned}$$

Эти три ускорения могут быть проинтегрированы для получения скоростей вдоль трех осей. Эти скорости можно использовать в следующих уравнениях для определения траектории полета пули относительно привязанной к земле системы координат.

$$\begin{aligned} dX_e/dt &= u*\cos\Theta*\cos\Gamma - v*\sin\Gamma + w*\sin\Theta*\cos\Gamma \\ dY_e/dt &= u*\cos\Theta*\sin\Gamma + v*\cos\Gamma + w*\sin\Theta*\sin\Gamma \\ dZ_e/dt &= -u*\sin\Theta + w*\cos\Theta \end{aligned}$$

Эти уравнения поступательного движения могут быть упрощены для малых углов:

$$\begin{aligned} dX_e/dt &= u - v*\Gamma + w*\Theta \\ dY_e/dt &= u*\Gamma + v + w*\Theta*\Gamma \\ dZ_e/dt &= -u*\Theta + w \end{aligned}$$

Эти упрощения желательно делать только при использовании старых персональных компьютеров (ПК), таких как Z80 и 80186 без сопроцессора. Три угла Эйлера по вращению, тангажу и рысканию (\varnothing, Θ и Γ) получаются после интегрирования следующих уравнений угловых скоростей

$$\begin{aligned} d\varnothing/dt &= -r*\tan\Theta \\ d\Theta/dt &= q \\ d\Gamma/dt &= r*\sec\Theta \end{aligned}$$

Эти уравнения угловых скоростей могут быть упрощены

$$\begin{aligned} d\varnothing/dt &= -r*\Theta \\ d\Theta/dt &= q \\ d\Gamma/dt &= r \end{aligned}$$

Для интегрирования всех уравнений использовался интегратор Рунге-Кутты четвертого порядка. Аэродинамические углы атаки и гол рыскания необходимы для определения аэродинамических моментов и сил во всех шести формулах. Они равны

$$\begin{aligned} \alpha &= \arctan(w/u) \\ \beta &= \arctan(v/u) \end{aligned}$$

Аэродинамические силы и моменты могут быть, как рассчитаны, так и взяты из экспериментальных данных. В основном я использовал экспериментально определенные данные

по аэродинамике и инерции при расчетах внешней баллистики для этой книги. Минимум два коэффициента по силам и четыре коэффициента затухания необходимо использовать в случае вращательно-симметричного снаряда. Я думаю, что объяснил насколько возможно популярно для среднего читателя, как были сделаны эти сложные расчеты. Компьютерная программа 6DOF может в мельчайших деталях рассказать вам, как будет лететь пуля, если вы имеете правильные аэродинамические и инерционные данные, а также верные условия запуска. Это было подтверждено много раз полетными и экспериментами.

Приложение Е

Создание туннельного стрельбища

После многолетней борьбы с ветровыми эффектами, я определил, что отделить влияние ветра от других проблем точности довольно сложно, и поэтому я решил построить туннельное стрельбище для устранения влияния ветра. С одобрения Альбукеркского Винтовочного и Пистолетного Клуба, мы построили его на Клубном стрельбище. Клуб приобрел достаточное для создания 100 ярдового стрельбища количество бывших в употреблении бетонных труб с внутренним диаметром 4 фута за пять сотен долларов. Мой сын и зять уложили железнодорожные шпалы, выставив их по уровню при помощи оптического прицела на треноге с точностью в пределах $\frac{1}{2}$ дюйма. Шпалы располагались на расстоянии около 6 футов от концов каждой секции трубы. Большинство секций трубы были длиной 34 фута и весом в 12 тонн каждая. Я арендовал два 30-тонных крана и грузовик с безбортовой платформой за 1700\$ - один кран для погрузки труб на складе вторсырья, а второй для выгрузки на месте. Было изготовлено перекрестие из пиломатериалов 1x2, которое устанавливалось на дальнем конце трубы и использовалось как ориентир для выставления труб. Это работало очень хорошо. Окончательное выравнивание потребовало одно-дюймовых подкладок всего под две шпалы для обеспечения центровки труб в пределах одного дюйма по их длине. Между шпалами и трубой были забиты клиновые заглушки для предотвращения какого-либо движения труб. Заглушки были закреплены на местах большими гвоздями. На Рисунке Е-1 показано стрельбище до его закрытия 500 кубическими ярдами земли, что необходимо для поддержания температурного равновесия. На входном конце трубы была отлита бетонная плита размером 11x15 футов, и на ней поставлена постройка. Передняя часть постройки была изготовлена из бетонных блоков и работала как подпорная стена для земляного покрытия. Вид готового стрельбища показан на Рисунке Е-2, а интерьер постройки показан на Рисунке Е-3. Снаружи конструкция 2x4 (каркас) был покрыт $\frac{3}{8}$ дюймовой фанерой. Крыша постройки была покрыта гофрированным полупрозрачным стеклопластиком. В летнее время к стропилам прибивались тонкие пенопластовые листы размером 4x8 футов для обеспечения затенения. Стрелковый стол толщиной 3,5 дюйма был изготовлен из армированного бетона отливкой на месте и установлен на основании из бетонных блоков. Тем не менее, мы определили, что основание из бетонных блоков довольно нестабильно, и позже заменили его цилиндрическим литым основанием диаметром 1 фут.



Рисунок Е-1 – Туннельное стрельбище показано до его покрытия землей.

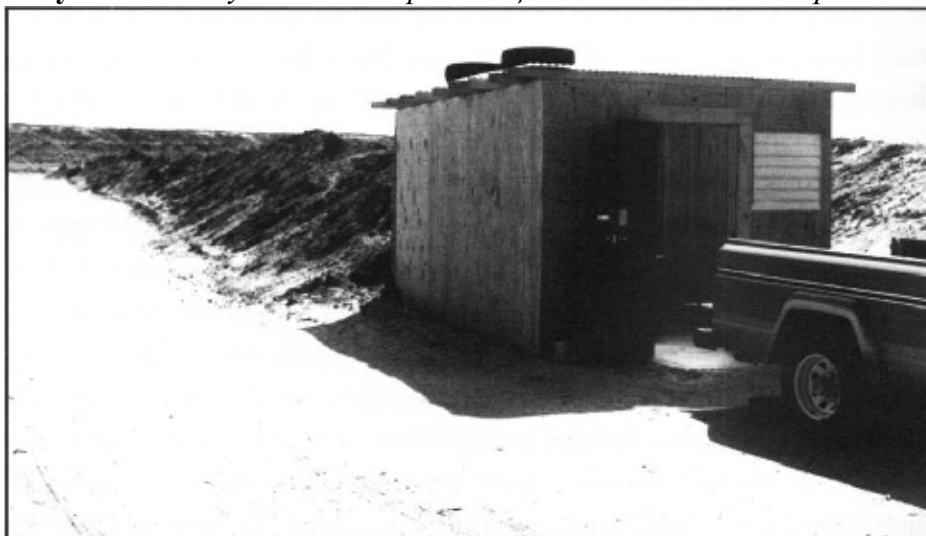


Рисунок Е-2 – За-
конченное стрель-
бище. Зарешеченное
впускное отверстие
для вентилятора
справа от двери.

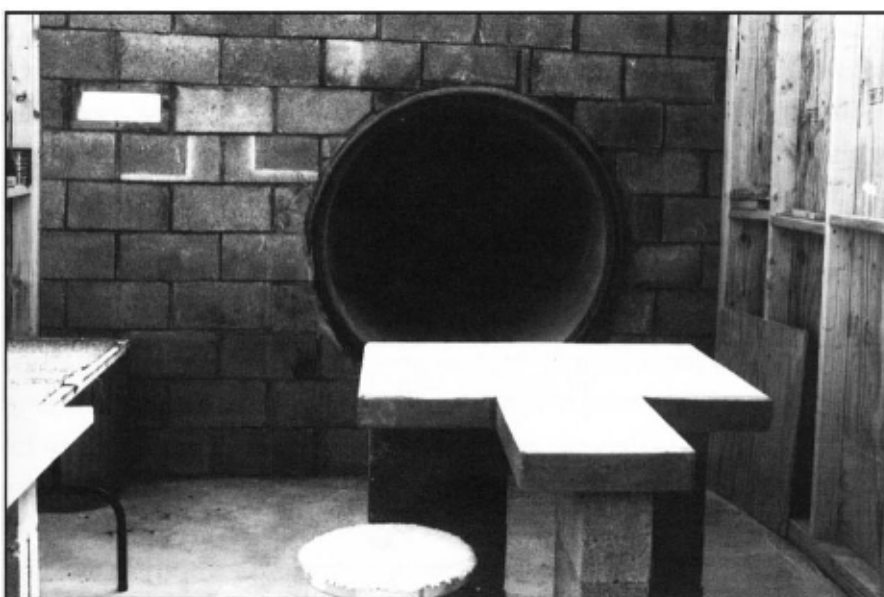


Рисунок Е-3 – Фото-
графия интерьера по-
стройки, показываю-
щая бетонный стол и
вход 100 ярдового тун-
неля.

Основание отливалось в коммерческую картонную опалубку и оказалось очень прочным. Постройка была подключена к электросети и освещению. Была установлена подсветка мишени. Это

дало возможность получать знания о дульном выхлопе в ночных условиях. Слева показан зарядный столик, а возле стола – регулируемый стул. На дальнем конце туннеля сделаны ворота, предохраняющие трубу от засорения, когда она не используется, и фиксируемые в открытом состоянии для предотвращения нахождения людей между мишенью и выходом туннеля. Вся территория на дальнем конце, за исключением места для открытия ворот, окружено валом. Мишень устанавливается на расстоянии семи футов от выхода туннеля, что обеспечивает место для установки хронографа. Стол расположен так, что дульный срез винтовки находится на расстоянии около шести футов от входа в туннель. Рамки хронографа Oehler 35P с подсветкой располагаются внутри входа в туннель на коротком стенде, изготовленном из пиломатериалов 2x4. Справа от двери постройки расположен зарешеченный вход, который скрывает вытягивающий вентилятор диаметром 30". Эта вещь оказалась очень хорошим инструментом, так как эффекты миража стали проблемой.

До строительства туннельного стрельбища я разговаривал с несколькими людьми, имевшими опыт с такими стрельбищами, но никто из них не мог сказать о явлениях миража, кроме того, что он влияет почти так же плохо, как ветер. Вначале трое из нас пытались стрелять в этом стрельбище, и мы получали группы с почти четким вертикальным рассеиванием. Когда мы смотрели в прицел, то могли заметить вертикальное движение сетки вверх и вниз в пределах 0,6 дюйма для полной дистанции. Один из стрелков (Bill Minne-

man), с которыми я разговаривал, посоветовал установить вытягивающий вентилятор для уменьшения влияния миража, и я попробовал поставить вентилятор, который вытягивал воздух из дальнего конца к входу туннеля со скоростью около 7 футов в секунду. Вентилятор уменьшал эффект смещения от медленного миража приблизительно в три раза (то есть 0,2 дюйма), что было еще много для испытаний винтовки, которая стреляет в единицу или двойку (то есть от 0,1 до 0,2 дюймовые группы).



Рисунок Е-4 – График, показывающий изменение температуры стен Туннельного стрельбища для месяцев года.

Я определил, что это работает намного лучше при нагнетании воздуха в туннель, что означало герметизацию постройки. Тем временем, я измерял температуру стен туннеля (Рисунок Е-4) и определил, что если температура окружающего воздуха совпадает с температурой стен, то мираж пропадает. На теневой стороне постройки был повешен термометр для указания температуры окружающего воздуха, а рядом с ним копия Рисунка Е-4. Так как мы находимся в пустынной климатической зоне, то температура стен туннеля изменяется от зимы (49°F) к лету (80°F) го-

раздо сильнее, чем можно ожидать в других климатических зонах. Температура туннеля в основном соответствует средней дневной температуре. До включения вентилятора температура верха и низ туннеля обычно отличалась на 3°F...4°F. После получасовой работы вентилятора температура поверхности верха и низа трубы приблизительно выравнивалась. На Тихоокеанском побережье сезонные температуры изменяются не так сильно, и с миражом может быть меньше проблем. Следующим улучшением было изготовить крепление справочного прицела (Рисунок F-1), в котором закреплялся прицел, и его сетка четко фиксировалась на точке прицеливания, как на справочной. Винтовочный прицел потом наводился в ту же точку, в которую смотрел справочный прицел, которая соответствовало реальной точке прицеливания при отсутствии миража. Мой опыт показывал, что с включенным вентилятором и температурами, отличающимися в пределах 5°F, поправка на мираж была меньше 20 мил на цели при стрельбе одиночных групп. Это, похоже, решило проблему миража. Справочный прицел удерживался креплением на том же уровне, что винтовочный прицел, и был смещен на 2 дюйма влево, так что стрелок мог быстро передвигать глаз от одного прицела к другому и обратно для сравнения. Я также пытался проецировать лазерное пятно, которое имело диаметр около 0,25 дюймов, на мишень и стрелять в лазерное пятно. Тем не менее, это не принесло особого успеха, потому что пятно мерцало, как звезда, что затрудняло прицеливание. Для рэйгана, который сохраняет пристрелку между выстрелами, в применении справочного прицела нет необходимости. Тем не менее,

я обычно использую справочный прицел не только для компенсации миража, но и для проверки смещения точки прицеливания рэйлгана после выстрела.

Туннельное Стрельбище может не работать для снарядов с околозвуковыми скоростями (от 1000 до 1500 фт/сек), так как обычные ударные волны будут отражаться от стен и возвращаться к пуле. Это может приводить к нестабильности пули и большим рассеиваниям. Мы знаем, что оно не работает для пуль мало и средне больших калибров, таких как дульнозарядки и пистолеты, потому что мы наблюдали продолговатые отверстия от пуль на мишени. Тем не менее, оно может работать для .22 малокалиберных патронов, если траектория будет проходить по центру туннеля, и будут использоваться низкоскоростные матчевые боеприпасы. Калибр 22 может оказаться достаточно маленьким по сравнению с внутренним диаметром туннеля, так что ударная волна будет слишком слабой для влияния на пулю. Туннельное Стрельбище обычно не дает результата ни для чего, кроме точного оружия.

Если я буду строить другое туннельное стрельбище, единственное, что я изменил бы, это разместил бы вентилятор в центре постройки, выровняв его положение с осью туннеля. Так как вентилятор находится не по центру, он пытается генерировать завихрение потока относительно вертикальной оси внутри постройки, что может вызвать некоторое рассеивание. Я бы также посоветовал поставить вертикальную перегородку между вентилятором и задней частью стола, так как довольно холодно сидеть на потоке, когда наружная температура падает ниже 55°F. Также можно посоветовать построить маленькое строение на дальнем конце туннеля в целях безопасности. Мы вынуждены были построить стрельбище в направлении на юг, чтобы соответствовать расположению Стрельбища Зиа. К сожалению, ветер часто дует не с юга или юго-запада, и взаимодействует с потоком, производимым вентилятором. Лучше всего ориентировать туннель в направлении, параллельном преобладающим ветрам. Годовая норма осадков у нас составляет всего 8 дюймов, поэтому дренаж не является проблемой.

Я нашел Туннельное Стрельбище необходимым при проведении диагностики точности винтовки, так как оно устраняет худшую переменную величину – ветровые эффекты. Раз мы упомянули об эффектах миража, стоит отметить, что они бывают и на открытых стрельбищах, хотя стрелки часто не заботятся о них. Туннельное стрельбище увеличивает эффекты миража, но при использовании вентилятора и выравнивании температур окружающего воздуха и стен туннеля, мираж эффективно устраняется. Тем не менее, можно использовать справочный прицел для того, чтобы быть уверенным в условиях миража.

Приложение F

Рэйлган

Я изготовил приспособление для удерживания ложи спортера, показанное ранее в Главе 2 (Рисунок 2-2). Оно было не таким точным, как обычный рэйлган, но выполняло свою функцию удержания спортера с измерительными инструментами. Я решил, что мне необходим рэйлган для исследований в Туннельном стрельбище, и в результате появилось то, что показано на Рисунках F-1 и F-2. На Рисунке F-1 также показан справочный прицел и его крепление для уменьшения проблем миража. Оба прицела – Bauch and Lomb 36x.

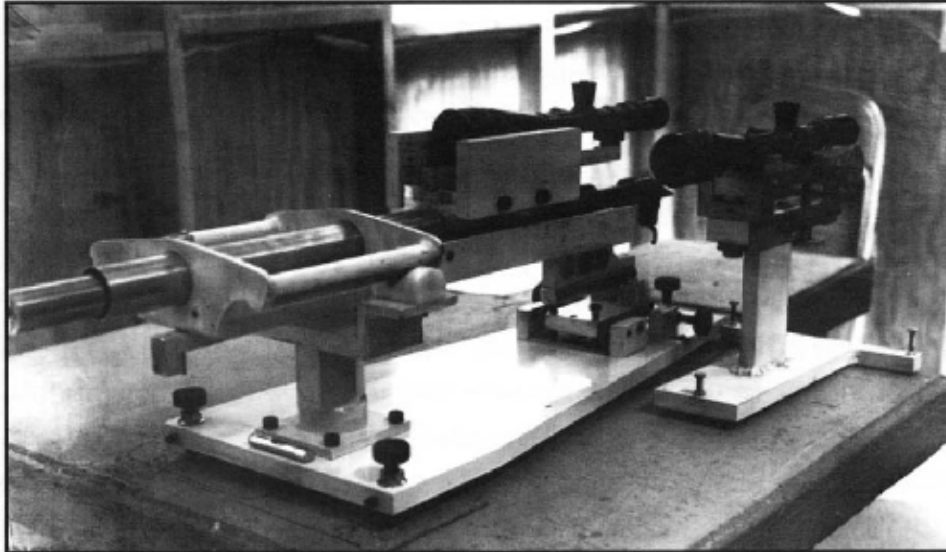


Рисунок F-1 – Фотография, показывающая левую сторону рэйлгана и миражный прицел на отдельном креплении. Обратите внимание на противовесы, закрепленные на блоке ствола.

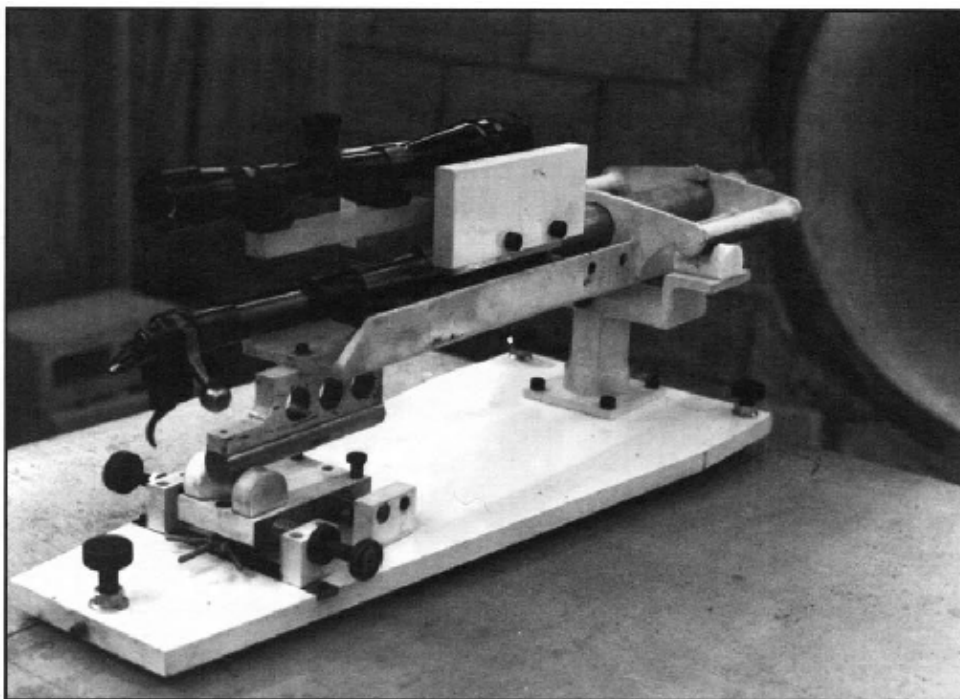


Рисунок F-2 – Фотография правой стороны рэйлгана.

Я начал с подержанного оружия для экономии времени и денег. На оригинальном оружии передний «Т»-образный подшипниковый узел был смонтирован на отдельной треноге, а заднее регулировочное крепление было на отдельной плите. Я закрепил оба из них на алюминиевой плите толщиной $\frac{3}{4}$ дюйма, что сделало винтовку намного более жесткой. Бакелитовые и Делриновые подшипники были заменены на тефлоновые, которые мне более подходящими. Измеренный коэффициент трения покоя с тефлоновыми подшипниками оказался равным 0,025, что было очень низким значением. Установочные винты имели диаметр $\frac{1}{2}$ дюйма и стопорились винтами со скрытой головкой диаметром $\frac{1}{4}$ дюйма. К нижним плоскостям установочных винтов были припаяны серебряным припоем углеродистые сердечники от бронебойных пуль 30 калибра. Эти углеродистые сердечники твердые и достаточно острые для того, чтобы врезаться в верх бетонного стола от легких ударов небольшого молотка, и хорошо там держаться. Процедура установки базы состоит в том, чтобы установить перед базы на два коротких куска дерева сечением 1x2, и двигать базу до тех пор, пока прицел не окажется направленным в точку прицеливания. Потом два передних винта выкручиваются до тех пор, пока передняя часть базы не устанавливается по уровню и выше двух деревянных кирпичиков. Далее затягиваются фиксирующие винты передних установочных винтов, которые потом забиваются молоточком в бетонный стол. Следующий шаг – затянуть фиксирующие винты, которые удерживают от смещения установочные винты. Процедура повторяется на задних установочных винтах. Направляющие очищаются и смазываются средством Pledge, мебельной полиролью или Friction Block.

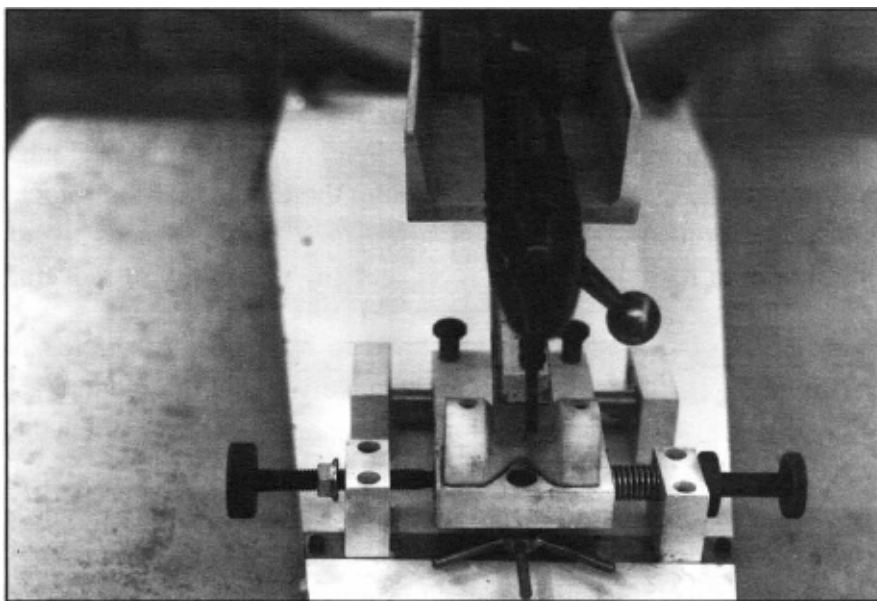


Рисунок F-3 – Фотография задней части рэйлгана, показывающая детали механизма выверки по высоте и направлению.

Оригинальные регулировки по направлению и высоте на задней части винтовки не были удовлетворительными и были модифицированы для предотвращения подвижек между выстрелами. Фото модифицированной системы регулировок показано на Рисунке F-3. Стальная регулировочная плита толщиной $\frac{3}{4}$ дюйма шарнирно закреплена на плотно пригнанном стальном стержне диаметром $\frac{3}{8}$ дюйма, находящемся внутри передней части плиты. Воротообразное колесо под низом задней части плиты обеспечивает регулировку по высоте, а два винта, расположенные по сторонам задней части плиты – регулировку по направлению. Два вертикальных болта с шестигранными головками, расположенные в передней части регулировочной плиты стабилизируют плиту и обеспечивают предварительную нагрузку. Процедура состоит в наведении винтовки в точку, расположенную на два дюйма ниже необходимой точки прицеливания, затем два шестигранных винта зажимаются от руки, и задняя часть регулировочной плиты поднимается при помощи ворота до не-

обходимого возвышения. Горизонтальная настройка осуществляется при помощи двух горизонтальных винтов, после чего оба затягиваются. Поскольку я сказал, что эта винтовка не двигается между выстрелами, уточню, что в 36х прицел видны лишь очень маленькие смещения сетки. Если вдруг кажется, что появляется какое-то движение, я проверяю эффекты миража, сравнивая изображение в миражном прицеле с положением винтовочного прицела. Таким образом, вы знаете, подвижна ли винтовка, или вы наблюдаете эффекты миража.

Я пробовал несколько конструкций блока ствола и, в конце концов, остановился на алюминиевом V-образном блоке, как на лучшем из них. Эти разные конструкции включали стальной V-образный блок, алюминиевые блоки с круглыми проточками для удержания ствола, и укладку (беддинг) на эпоксидную смолу. Нижний блок уложен на смолу Devcon F и крепится шестью болтами на 3/8 дюйма. Положение блоков регулируется прокладками до тех пор, пока лафет не будет двигаться с разбежкой не более 1 мила, измеряемой закрепленным на базе индикатором, на всей длине пробега. Шесть болтов на 3/8 дюйма крепят верхний и нижний блоки, после чего они закручиваются с моментом 50 дюйм фунтов. V-образные поверхности блоков покрываются раствором канифоли в ацетоне для предотвращения любой возможности движения.

К обеим сторонам верхнего блока ствола прикреплены стальные блоки размером 3/4x4x7 дюймов (Рисунок F-2). Это противовесы, которые противодействуют моменту отдачи, обусловленному силой отдачи, действующей на блоки. При выстреле направленная назад сила отдачи сдерживается направленной вперед инерциальной силой, действующей на лафет. Эти две силы создают пару (момент), стремящийся повернуть блоки стволов и ствол в направлении дулом вверх. Направленная вперед инерциальная сила, действующая на два противовеса, компенсирующе воздействует на момент отдачи, уменьшая момент, действующий на ствол. Это было выяснено при измерении момента, действующего на ствол, при помощи тензодатчиков прямо перед ствольными блоками. Рисунки F-4 и F-5 показывают измеренный момент с противовесами и без них.

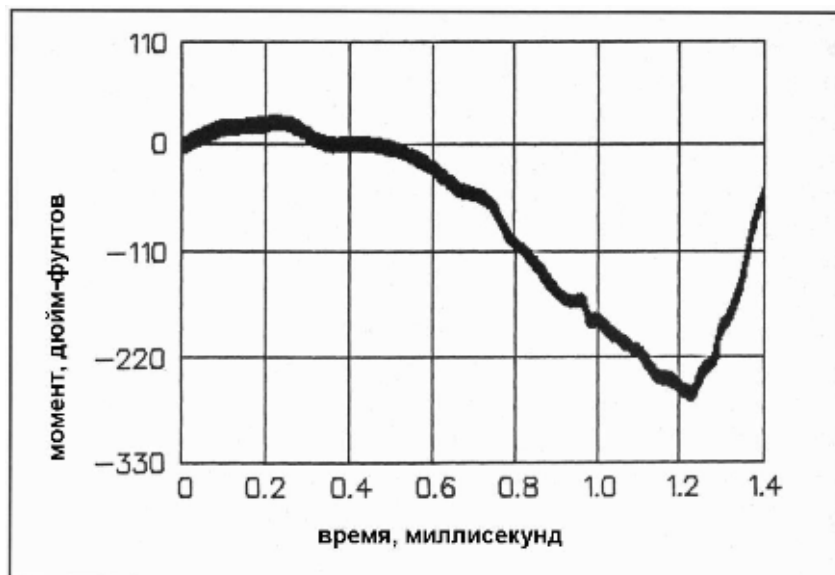


Рисунок F-4 – Отсканированная на компьютере осциллограмма момента на стволе рэйлгана без противовесов.

Вы можете видеть, что момент с противовесами уменьшается почти до нуля. Это серьезно уменьшает вертикальное растягивание, присутствующее в группах без противовесов. Обсуждение проблем высокочастотной вибрации, наблюдаемой на этой винтовке, смотри в Главе 4.

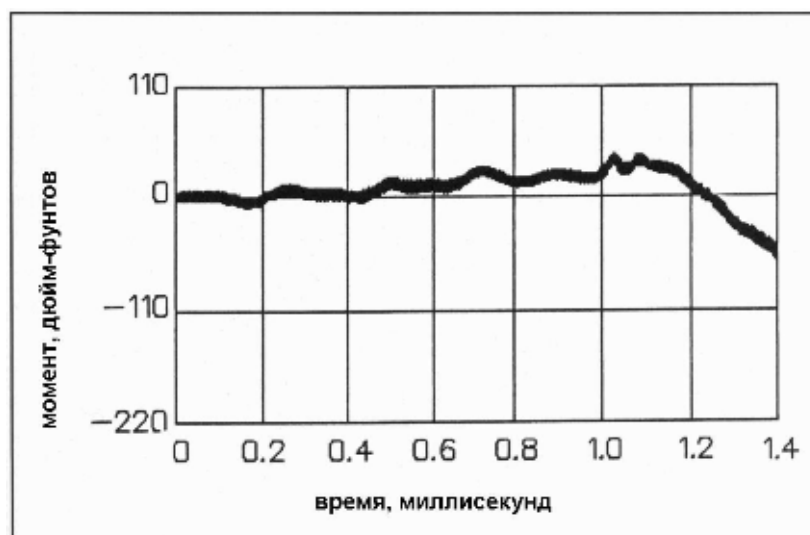


Рисунок F-5 – Отсканированная на компьютере оциллограмма момента на стволе рэйлгана с противовесами. Если сравнить с Рисунком F-4, можно увидеть, что эти противовесы серьезно уменьшают момент, действующий на ствол, то есть уменьшают вибрацию.

Алюминиевая труба наружным диаметром 1,875 дюйма покрывает ствол впереди ствольных блоков. Эта труба, которую посоветовал Фрэнк Тиррел, помогает поддерживать постоянную окружающую температуру ствола, что минимизирует температурные искажения и увод точки попадания от неравномерного охлаждения.

Пожалуй, единственной вещью, которую бы я поменял для усовершенствования этого оружия, было бы смещение лафета так, чтобы он был как можно ближе к плите основания. Этот рэйлган на поверку оказался очень удобным инструментом для определения проблем с боеприпасами. Лафет и база каждые весят приблизительно по 45 фунтов.

Если бы я начал делать рэйлган с самого начала, я бы, пожалуй, использовал гибкие элементы, такие как на Изоляторе Отдачи в Главе 4, вместо подшипников. Лафет откатывается только на 0,010 дюйма до момента вылета пули из ствола, что просто компенсировать гибкими элементами. Отдача может поглощаться регулируемым гидравлическим демпфером. Тем не менее, количество горизонтальной выверки может быть ограниченным. Я бы также попробовал сконструировать лафет таким образом, чтобы ЦТ лафета со стволом и затворной группой находился на оси канала ствола. Это должно предотвратить некоторые проблемы вибрации.

Приложение G

Тесты с теневой фотографией

Теневая фотография годами применялась при диагностическом тестировании на баллистических стрельбищах и в аэродинамических трубах. Пучок света короткой длительности и высокой интенсивности, обычно от дуговой лампы, проходит через интересующую область потока, и тень от потока отбрасывается на экран с пленкой и запечатлевается на нем. Изображение показывает существенные градиенты плотности, такие как турбулентность или ударные волны. Это дает возможность исследователю увидеть физическую картину области потока.

Я должен предупредить читателя, что высокое напряжение и энергия, возникающие в дуговом источнике света, исключительно опасны и скорее всего убьют вас, если случайно прикоснетесь к высоковольтным проводам. Это намного опаснее высокого напряжения в телевизоре из-за намного большей привлеченной энергии. Таким образом, я не советую воспроизводить данное оборудование до тех пор, пока читатель не будет иметь опыт в работе с высоким напряжением.

На Рисунке G-1 показана расстановка оборудования вместе с рэйлганом на туннельном стрельбище. Белый ящик на переднем плане содержит высоковольтный источник питания и переключающую электронику. На заднем плане с правой стороны вы можете видеть дуговую головку, помещенную в нейлоновую коробку. Нейлоновая рукоятка на правой стороне дуговой головки регулирует просвет между электродами. Возле дульного среза виден микрофон, который включает электронную схему. С левой стороны от рэйлгана можно увидеть черный экран. Литографическая пластинка размером 12x18 дюймов закрепляется на черном экране. Черное цилиндрическое приспособление перед коробкой – вариак (плавно регулируемый автотрансформатор), который регулирует линейное напряжение на входе высоковольтного источника питания. Высокое напряжение показывается микроамперметром с правой стороны ящика с электроникой.

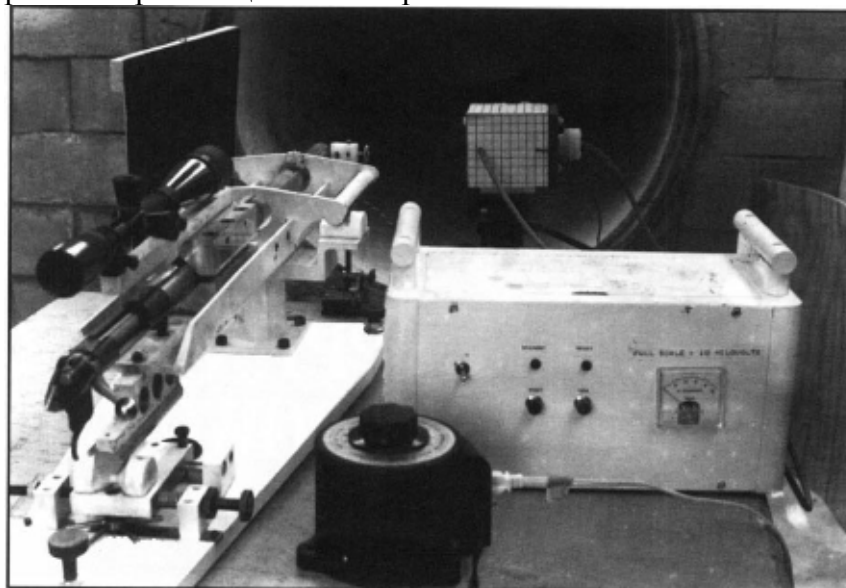


Рисунок G-1 – Фотография оборудования для теневой фотографии, установленного в туннельном стрельбище совместно с рэйлганом. Круглый объект на переднем плане – вариак, который регулирует линейное напряжение питания высоковольтного источника напряжения. Белый ящик справа содержит электронную цепь. Дуговая лампа расположена за белым ящиком. Литографическая пластинка закрепляется на черной доске слева.

Расстояние между дуговой головкой и дульным срезом составляет около 12 дюймов, а дистанция между дулом и экраном варьируется от 4 дюймов до 10 дюймов в зависимости от того, применяется ли большие литографические пластинки (12x18 дюймов, Fuji GA-100) или пленка Полароид Тип 57 размером 4x5 дюймов. Камера 4x5 дюймов, использующая пленку Полароид, устанавливается выше перед дуговой головкой. Пленка Полароид засвечивается на диафрагме f-4,5, и она очень удобна для проверки результатов, но не очень хороша для воспроизведения. Часто вы можете видеть глазом изображение достаточно для того, чтобы определить правильность установленной задержки по времени, даже без фотографирования. Литографические пластинки проявляются в проявителе Kodak Tmax в течение 7-10 минут. Фотографии, показанные в книге, были сделаны фотографированием негативов литопластинок 12x18 дюймов на фоне белого стола на пленку Tmax 100 камерой 4x5 дюймов, и потом обрабатывалась при помощи оборачивающего набора Kodak Tmax 100. Полученные негативы были напечатаны.

На Рисунке G-2 показан вид передней части установки, виден включающий микрофон возле дульного среза, предназначенный для поздних времен выстрелов. На Рисунке G-3 показано отверстие в боковой части ствола, используемое для ранних времен выстрелов. Отверстие имеет диаметр 3/16 дюйма от поверхности и последние 0,05 дюйма длины имеют диаметр 1/16 дюйма. Отверстие просверлено на расстоянии 5,5 дюйма от дульного среза.

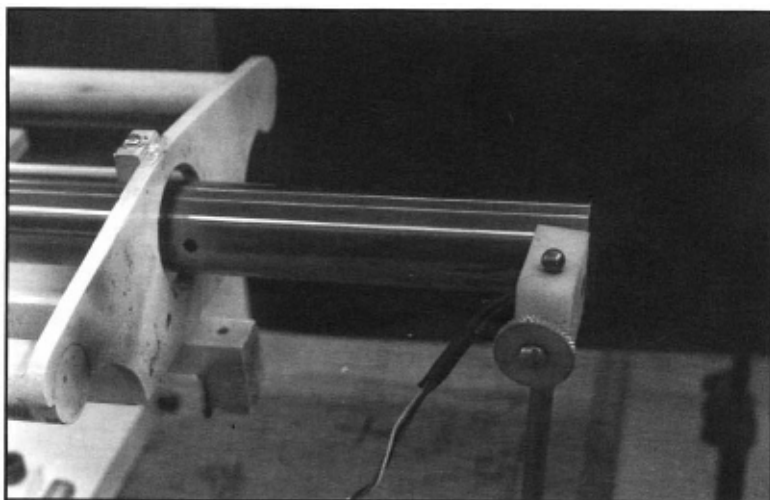


Рисунок G-2 – Вид боковой поверхности ствола, демонстрирующий микрофон на дульном срезе и отверстие сбоку для ранних времен выстрелов. Микрофон размещается возле отверстия для самых ранних времен выстрелов, и время регулируется отодвиганием микрофона от ствола для больших временных задержек.

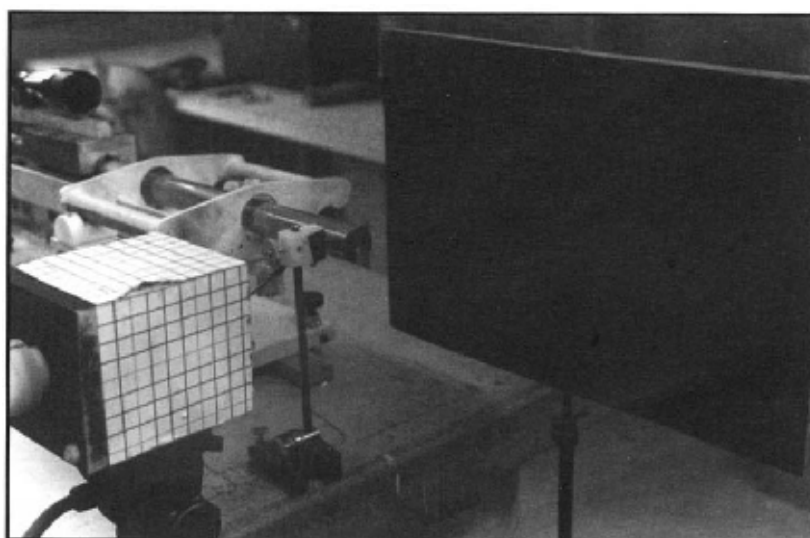


Рисунок G-3 – Вид тенеграфической установки спереди, показывающий дуговую лампу слева и экран для литографической пластинки справа. Микрофон установлен возле дульного среза для поздних временных задержек.

Вы можете заметить, как пороховой дым обесцветил белую поверхность лафета. Установите что-то наподобие экрана между отверстием в стволе и оператором для избежания поражения лица фрагментами пороха.

Полное время задержки системы в среднем составило около 0,1 мсек. Большая часть временной задержки происходит в виброреле, находящихся в триггерной цепи. Для работы необходимо нажать кнопку сброса, и красный светодиод загорится, показывая готовность установки к выстрелу. Когда микрофон принимает звуковой импульс, тот усиливается и включает триггерную цепь. Триггерная цепь управляет силовым транзистором, который, в свою очередь, управляет первичной обмоткой катушки автоматического поджига. Это поле в первичной обмотке катушки поджига индуцирует высокое напряжение во второй обмотке, которая присоединена к включающему дугу электроду в дуговой головке. Когда включающий электрод загорается, это приводит к вспышке основной дуги в результате разряда конденсаторной банки внутри дуговой головки. Когда лампа загорается, цвет свечения светодиода меняется на желтый, показывая, что прибор находится в состоянии резервного питания. Если установку оставить надолго в положении готовности, то высокий ток (3 ампера) может стать причиной перегрева силового транзистора и катушки розжига. Установка может быть спущена вручную при помощи тестовой кнопки, когда диод светится красным (состояние готовности). Микрофон – маленький, конденсаторного типа, приобретен в Radio Shack. Конструкция дуговой головки адаптирована с конструкции, использовавшейся в Национальной Лаборатории Сандия, предоставленной Др. Кеном Колумом. Коммерческая версия этого прибора продается EG&G Electro-Optics, Salem, MA (508-745-3200).

Время разряда лампы составляет около 0,5 мсек, но так как большая часть световой энергии испускается за время около $2/3$ от времени разряда, эффективный световой импульс составляет около 0,32 мсек. За это время пуля пролетает около 0,012 дюйма. Поэтому движение эффективно останавливается. Высокое напряжение в 10 кВ обеспечивается зарядом шести конденсаторов по 0,2 мФд, соединенных параллельно. **И снова, не доверяйте изоляции или заземлению для того, чтобы обезопасить эту вещь. Это смертельно опасно!!!**

ССЫЛКИ

1. "Absolute Chamber Pressure In Center Fire Rifles", 1965 by Brownell, York, Sinderman, Jacobs, and Robins. University of Michigan, Ann Arbor, Michigan
2. "Theory Of The Interior Ballistics Of Guns ", 1950 by Corner. John Wiley and Sons, New York.
3. "Gun Propulsion Technology", Vol. 109 Progress in Astronautics and Aeronautics, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, DC 20024
4. "Pressure Measurements In The Transitional Ballistics Region Of A M-16 Rifle", 1975 by Gion, BRL Report No. 1765, USA Ballistic Research Laboratories, Aberdeen Proving Ground, Maryland.
5. "The Effect Of Muzzle Jet Asymmetry On Projectile Motion", 1975 by Schmidt, BRL Report No. 1756, USA Ballistic Research Laboratories, Aberdeen Proving Ground, Maryland.
6. "The Intermediate Ballistic Environment Of The M16 Rifle", 1976 by Zoltani, BRL Report No. 1860, USA Ballistic Research Laboratories, Aberdeen Proving Ground, Maryland.
7. "Investigations Of The Transitional Ballistics In Muzzle Jet Flow Simulators", by Oertel, BRL Report No. 2686, USA Ballistic Research Laboratories, Aberdeen Proving Ground, Maryland.
8. "The Prediction Of Gun Muzzle Blast Properties Utilizing Scaling", by Fansler and Schmidt, BRL Technical Report No. ARBRL-TR-02504, USA Ballistic Research Laboratories, Aberdeen Proving Ground, Maryland.
9. "Interior Ballistics Of Guns ", 1979, Vol. 66, Progress in Astronautics and Aeronautics, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, DC 20024
10. "Advanced Gunsmithing", by W.F. Vickery, 1940, Kingsport Press, Kingsport, Tennessee.
11. "Gunsmithing", by Roy F. Dunlap, 1950, Small Arms Technical Publishing Company, Georgetown, South Carolina.
12. "Machinery's Handbook", 1975, Industrial Press, 200 Madison Ave., New York, NY 10016.
13. "Comparison Of Computed And Measured Jump Of 120mm Cannon", 1990 by Schmidt et al, Sixth USA Symposium On Gun Dynamics, Taimiment, Pennsylvania.
14. "Launch dynamics Of Fin-Stabilized Projectiles", 1989 by Schmidt et al, AIAA-89-3395, AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference, Boston, Massachusetts.
15. "Investigations On The Dynamics Of Tank Guns", 1990 by Bornstein et al, Sixth USA Symposium On Gun Dynamics, Taimiment, Pennsylvania.
16. "Flexible Projectile Modeling Using The Little Rascal Gun Dynamics Program", 1990 by Erline et al, Sixth USA Symposium On Gun Dynamics, Taimiment, Pennsylvania.
17. "The Flexure Of A Uniformly Pressurized Circular, Cylindrical Shell", by J.D. Wood, ASMR Journal Of Applied Mechanics, Dec. 1958 (p453)
18. "An Introduction To The Design And Behavior Of Bolted Joints", J.L. Bickford, 1981, Marcel Dekker Inc., New York, NY
19. "Mechanical Engineering Design", J.E. Shigley, 3rd Edition, McGraw Hill, p250-252.
20. "Numerical Investigation Of Inviscid Shock Wave Dynamics In An Expansion Tube", Keun-Shik Chang, Jong-Kwan Kim, Shock Waves (1995)5:33-45.
21. "The Bullets Flight", Dr. F.W. Mann (1856-1916), Copyright 1909. Reprinted 1980 by Wolfe Publishing Co., PO Box 30-30, Prescott, Arizona 86302.

-
22. "A Detailed Development Of The Tricyclic Theory", H.R. Vaughn, 1968, SC-M-2933, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM
 23. "Free Flight Motion Of Symmetric Missiles", C.H.Murphy, Ballistic Research Laboratories Report No. 1216, 1963, US Army Ballistics Research Laboratories, Aberdeen, Maryland.
 24. "The Aerodynamic Characteristics Of The 7.62MM Match Bullets", R.L.McCoy, Ballistics Research Laboratory Memorandum Report BRL-MR-3733, 1988, US Army Ballistics Research Laboratories, Aberdeen, Maryland.
 25. "A Magnus Theory", H.R. Vaughn and G.E.Reis, 1973 American Institute of Aerodynamics and Astronautics Paper No.73-124, AIAA 11th Aerospace Sciences Meeting, Washington, DC.
 26. "Walter Watts' Wind Machine", Walter Watts, The Rifle Magazine, July-August 1969.
 27. "Aerodynamic Data For Small Arms Projectiles", W.Braun, Ballistics Research Laboratories Report No. 1630, 1973, US Army Ballistics Research Laboratories, Aberdeen, Maryland.
 28. "Gun Tubes", US Army Material Command, AMC Pamphlet 706-252.
 29. "The Aerodynamic Characteristics Of .50 Ball, API, M8, And APIT, M20 Ammunition", R.L.McCoy, 1990, Ballistics Research Laboratories Report No.3810, US Army Ballistics Research Laboratories, Aberdeen, Maryland.
 30. "Design of Op-Amp Circuits", H.W. Berlin, Howard W. Sams and Company, 1984